

# **Physikalisches Praktikum B**

## **Sommersemester 2021**

---

### **Polarisation des Lichtes, Lichtstreuung**

#### **Versuch Pol**

---

Gruppe: 6

Versuchstag: 19.05.2021

Betreuer: Moritz Heindl

Auswerteperson

Messperson

Protokollperson

---

**Paul Schwanitz   Dominik Müller   Anna-Maria Pleyer**



**UNIVERSITÄT  
BAYREUTH**



# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2 Fragen zur Vorbereitung</b>	<b>5</b>
2.1 Polarisation . . . . .	5
2.1.1 Polarisationsgrad . . . . .	5
2.1.2 Polarisation durch Reflexion und Brechung . . . . .	5
2.1.3 Polarisation durch Doppelbrechung . . . . .	5
2.1.4 Polarisation durch Streuung . . . . .	6
2.1.5 Polarisationsfilter . . . . .	6
2.2 Intensität und elektrisches Feld . . . . .	6
2.3 Fresnelsche Formeln und Brewster Gesetz . . . . .	7
2.3.1 Phasensprung bei Reflexion . . . . .	7
2.3.2 Brewster Gesetz . . . . .	7
2.3.3 Reflexion und Transmission in abh. von $\varphi$ . . . . .	8
2.4 Streuung . . . . .	9
2.5 Rayleigh-Streuung . . . . .	9
2.6 Miestreueung . . . . .	11
<b>3 Auswertung</b>	<b>13</b>
3.1 Fresnelsche Formeln . . . . .	13
3.1.1 Bestimmung des Brechungsindex von Glas . . . . .	13
3.1.2 Überprüfung der Fresnelschen Formeln . . . . .	14
3.2 Miestreuung an kugelförmigen Polystyrol-Teilchen in Wasser . . . . .	19
<b>4 Fazit</b>	<b>26</b>
<b>A Messprotokoll</b>	<b>27</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>39</b>

# 1 Einleitung

Es ist im Allgemeinen bekannt, das Licht sich als elektromagnetische Welle beschreiben lässt. Diese Verhalten hat jedoch Konsequenzen.

Zum einen können elektromagnetische Wellen polarisiert werden. Diese Eigenschaft wird unter anderem bei Sonnenbrillen und bei der Untersuchung von Spannungen in durchsichtigen Festkörpern ausgenutzt. Des Weiteren ermöglicht diese Eigenschaft auch 3D-Filme in Kinos.

Außerdem können elektromagnetische Wellen, Dipole zur Schwingung anregen, diese Strahlen dann wiederum elektromagnetische Wellen in spezieller Weise ab. Da Atome oder mikroskopische Partikel als Dipole fungieren können, entsteht Streuung. Mit dem Phänomen der Streuung lassen sich zahlreiche Erscheinungen in der Atmosphäre erklären, wie z.B. das Abendrot oder warum der Himmel blau erscheint. Auch lässt sich die Größe von Partikeln in einem Medium durch Streuexperimente ermitteln, dies ist auch Bestandteil dieses Versuchs.

Alles im allem ist nun klar, dass die Phänomene, Polarisation und Streuung, einen wesentlichen Einfluss auf unsere Umwelt haben. Dieser Versuch soll nun beitragen ein besseres Verständnis für diese wichtigen Effekte zu entwickeln.

## 2 Fragen zur Vorbereitung

### 2.1 Polarisation

Erklären Sie, wie durch Reflexion, Brechung, Doppelbrechung und Streuung Licht polarisiert werden kann! Wie funktioniert ein Polarisationsfilter? Was versteht man unter dem Polarisationsgrad?

#### 2.1.1 Polarisationsgrad

Zuerst soll der Polarisationsgrad ( $PG$ ) definiert werden:

$$PG = \frac{I_{\parallel} - I_{\perp}}{I_{\parallel} + I_{\perp}} \quad (2.1)$$

Wobei  $I_{\parallel}$  bzw.  $I_{\perp}$  die Intensität des Lichtes mit  $\vec{E}$  parallel bzw. senkrecht zu einer bestimmten Richtung beschreibt (vgl. Demtröder, 2017, S. 237). Der Polarisationsgrad gibt also an, welcher Anteil der Intensität polarisiert ist.

#### 2.1.2 Polarisation durch Reflexion und Brechung

Auf atomarer Ebene werden die Elektronen der Atome, der reflektierenden Oberfläche, durch die einfallenden elektromagnetische Wellen zur Schwingung gezwungen. Diese in Schwingung versetzten elektrischen Dipole strahlen nun wieder elektromagnetische Wellen der gleichen Frequenz ab. Die Überlagerung der abgestrahlten Wellen der Dipole ergeben nun den reflektierten sowie transmittierenden Strahl. Da ein Dipol nicht in Richtung seiner Schwingungssachse abstrahlen kann, beeinflusst dies die Polarisation des abgestrahlten Lichtes (vgl. Eichler *et al.*, 2006, S. 425f.).

#### 2.1.3 Polarisation durch Doppelbrechung

Anisotrope Materialien weisen für unterschiedliche Schwingungsrichtungen verschiedene Brechzahlen auf. Somit können sie benutzt werden, ähnlich wie bei einem Prisma, um das Licht nach der Polarisation aufzuspalten. Diese anisotrope Eigenschaft haben beispielsweise nicht kubische Kristall oder amorphe Stoffe wie Glas wenn sie mechanisch gespannt werden (vgl. Eichler *et al.*, 2006, S. 427).

## 2 Fragen zur Vorbereitung

### 2.1.4 Polarisation durch Streuung

Fällt ein Lichtstrahl bsw. in eine Küvette, die Partikel enthält mit ( $d \ll \lambda$ ), so werden die Moleküle der Partikel zur Schwingung gezwungen. Somit strahlen sie wiederum Licht der gleichen Frequenz ab, jedoch kann ein Dipol nicht in Schwingungsrichtung abstrahlen, weshalb das Licht, welches  $90^\circ$  zum einfallenden Licht steht, linear polarisiert ist (vgl. Eichler *et al.*, 2006, S. 428f.).

### 2.1.5 Polarisationsfilter

Als Polarisationsfilter werden unter anderem auch Folien eingesetzt, in die kleine Nadel-förmige Kristalle eingesetzt sind. Da die Kristalle unterschiedliche richtungsabhängige Rückstellkräfte für die zur Schwingung angeregten Teilchen haben wird nun Licht mit bestimmten Polarisationsrichtungen heraus gefiltert (vgl. Demtröder, 2017, S. 237).

Des Weiteren kann man natürlich auch Polarisationsfilter mit dem Phänomen der Doppelbrechung realisieren.

## 2.2 Intensität und elektrisches Feld

**Wie hängt die Lichtintensität  $I$  mit dem elektrischen Feld  $\vec{E}$  zusammen?**  
**Welches von beiden ist hier im Versuch die Messgröße?**

In diesem Versuch wird die Intensität mit einer Photodiode gemessen.

Die Intensität  $I$  skaliert mit dem zeitlichen Mittelwert des Feldsräkenquadrat.

$$I \sim \bar{E}^2 \quad (2.2)$$

(vgl. Eichler *et al.*, 2006, S. 423)

## 2.3 Fresnelsche Formeln und Brewster Gesetz

Diskutieren Sie die Fresnelschen Formeln für die Spezialfälle  $\varphi = 0$  und  $\varphi + \psi = 90^\circ$ ! Erklären Sie anschaulich das Brewstersche Gesetz aus der Abstrahlcharakteristik der atomaren Dipole. Wozu kann man Brewsterflächen verwenden?

Wie hängen reflektierte und transmittierte Intensität für die beiden Polarisationsrichtungen  $E_{\parallel}$  und  $E_{\perp}$  vom Einfallswinkel  $\varphi$  für  $n_2 < n_1$  und  $n_1 < n_2$  ab? Skizzen!

### 2.3.1 Phasensprung bei Reflexion

Für den Spezialfall eines Einfallwinkels von  $\varphi = 0$  gilt:

$$\psi = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{E_{r,\parallel}}{E_{e,\parallel}} = \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \quad (2.4)$$

$$\frac{E_{r,\perp}}{E_{e,\perp}} = \frac{n_1 - n_2}{n_2 + n_1} \quad (2.5)$$

$$\frac{E_{t,\parallel}}{E_{e,\parallel}} = \frac{2n_1}{n_2 + n_1} \quad (2.6)$$

$$\frac{E_{t,\perp}}{E_{e,\perp}} = \frac{2n_1}{n_2 + n_1} \quad (2.7)$$

Zuerst fällt auf, dass die Polarisation bei der Transmission außer acht gelassen werden kann. Bei der Reflexion ist das Vorzeichen, bei den unterschiedlichen Polarisationen, jedoch vertauscht. Nimmt man nun  $n_2 > n_1$  (o.B.d.A) an, somit gilt:

$$\frac{E_{r,\perp}}{E_{e,\perp}} < 0 \quad (2.8)$$

Das heißt es gibt einen Phasensprung um  $\pi$  bei Reflexion am optisch dichteren Medium (vgl. Köhler, WS 2020/21).

### 2.3.2 Brewster Gesetz

Für den anderen Spezialfall  $\varphi + \psi = 90^\circ$  fällt auf das das Reflektionsvermögen für parallel polarisierte Wellen null wird:

$$\frac{E_{r,\parallel}}{E_{e,\parallel}} = 0 \quad (2.9)$$

Den Einfallswinkel, für den dieser Spezialfall auftritt nennt man Brewsterwinkel:

$$\varphi_B = \arctan \left( \frac{n_2}{n_1} \right) \quad (2.10)$$

## 2 Fragen zur Vorbereitung

Um dieses Phänomen zu erklären ist es sinnvoll die Elektronen der Atome in der Grenzschicht wieder als Dipole zu verstehen. Diese werden nun durch die elektromagnetischen Welle zur Schwingung parallel der Richtung des E-Vektors angeregt. Da Dipole jedoch bevorzugt senkrecht zu ihrer Schwingungssachse und nicht parallel dazu abstrahlen wird keine Leistung in die Richtung abgestrahlt, die senkrecht zum transmittierten Strahl liegt. Somit ist es möglich Licht ohne Reflexionsverluste durch Medien transmittieren zu lassen. Anwendung findet dies beispielsweise bei Gaslaser, um das Entladungsrohr abzuschließen ohne dabei Reflexionsverluste in Kauf nehmen zu müssen (vgl. Demtröder, 2017, S. 224f.).

### 2.3.3 Reflexion und Transmission in abh. von $\varphi$

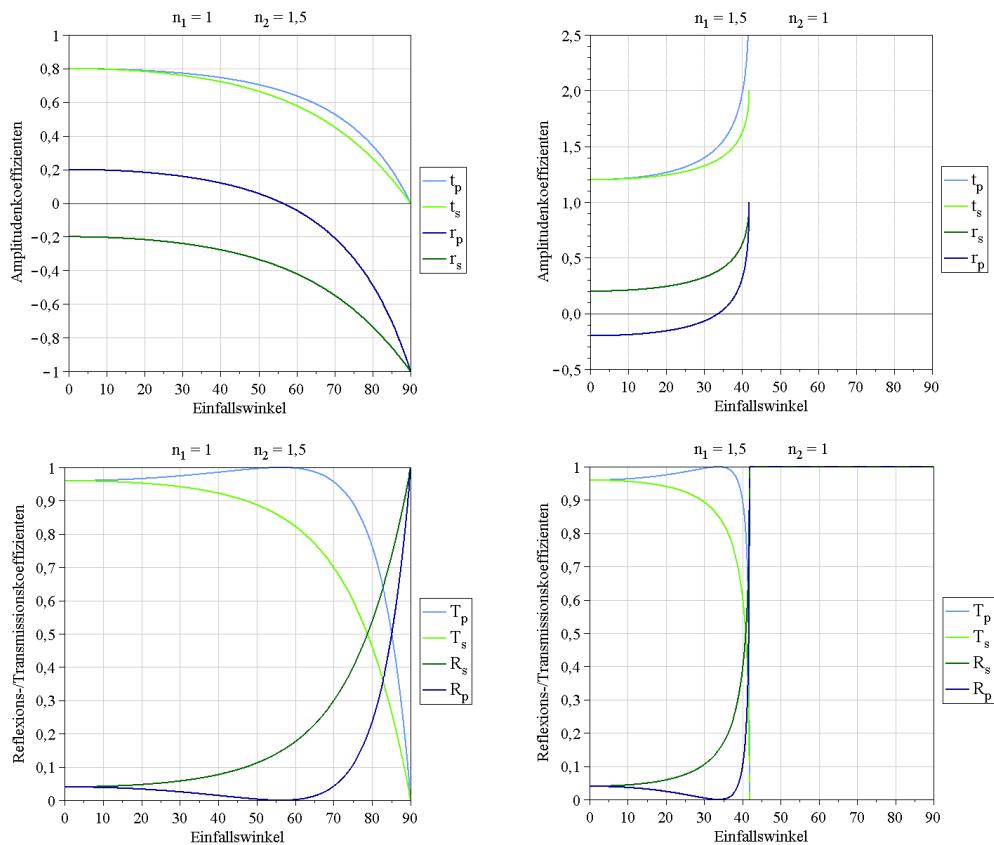


Abbildung 2.1: Amplitudenkoeffizienten und Reflexion-/Transmissionskoeffizienten in Abh. des Einfallsinkel für verschiedene Brechungszahlen. Bildquelle: wikipedia.org/wiki/Fresnelsche\_Formeln (Zugriffsdatum: 24.05.2021)

In diesem Bild ist das Verhalten von transmittierten bzw. reflektierten Licht, im speziellen auch der Brewsterwinkel bei  $56,3^\circ$ , gut zu erkennen.

## 2.4 Streuung

Wie hängt die Intensität der Streustrahlung von der Frequenz und vom induzierten Dipolmoment ab? Warum erscheint der Himmel in Beobachtungsrichtungen, aus denen kein direktes Licht kommt, hellblau?

Die Intensität des Streulichtes der Rayleighstreuung nimmt mit zunehmender Wellenlänge ab:  $I \propto \frac{1}{\lambda^4}$  (vgl. Vollmer, 2002, S. 2).

Das heißt die Intensität skaliert mit der Frequenz:  $I \propto f^4$ .

Ein Dipol strahlt nicht parallel zu seiner Schwingungsrichtung ab sondern bevorzugt die Senkrechte. Für die Energiestromdichte gilt:

$$S \propto \sin^2 \vartheta \quad (2.11)$$

Wobei  $\vartheta$  den Winkel zur Schwingungsachse darstellt (vgl. Demtröder, 2017, S. 176f.).

Da die Streuintensität also für Licht mit höherer Frequenz (blaues Licht) größer ist erscheint der Himmel blau (vgl. Vollmer, 2002, S. 2).

## 2.5 Rayleigh-Streuung

Diskutieren Sie die Winkelabhängigkeit der Intensität der Rayleigh–Streustrahlung anhand von Gl. (7) für die Fälle, dass die Polarisation des einfallenden Lichtes parallel bzw. senkrecht zur Streuebene ist! Zeichnen Sie das zugehörige Polardiagramm. Wie verhält sich die Rückwärts- zur Vorwärtsstreuung?

Zeigen Sie, dass dieses Ergebnis bis auf  $F(\Phi)$  mit den Gln. (8) und (9) identisch ist!

Gl. (7) aus der Versuchsanleitung:

$$S(\delta) = AI_0 \sin^2 \delta \quad (2.12)$$

Beim betrachten der Gleichung wird schnell klar, dass dies einem Hertzschen-Dipol entspricht. Die bevorzugte Abstrahlrichtung befindet sich senkrecht zur Schwingungsrichtung, wohingegen in paralleler Schwingungsrichtung nicht abgestrahlt wird. Ausgehend von dieser Gleichung und mit folgender Gleichung:

$$A = N\sigma(\omega) \quad (2.13)$$

## 2 Fragen zur Vorbereitung

Ergibt sich für den parallelen Fall ( $\delta = \frac{\pi}{2} - \Phi$ ):

$$I(\Phi) = I_{0,\parallel} \cos^2(\Phi) \quad (2.14)$$

Und für den senkrechten Fall:

$$I\left(\delta = \frac{\pi}{2}\right) = I_{0,\perp} \quad (2.15)$$

Somit ist gezeigt, dass sich das Ergebnis nur um  $F(\Phi)$  unterscheidet.

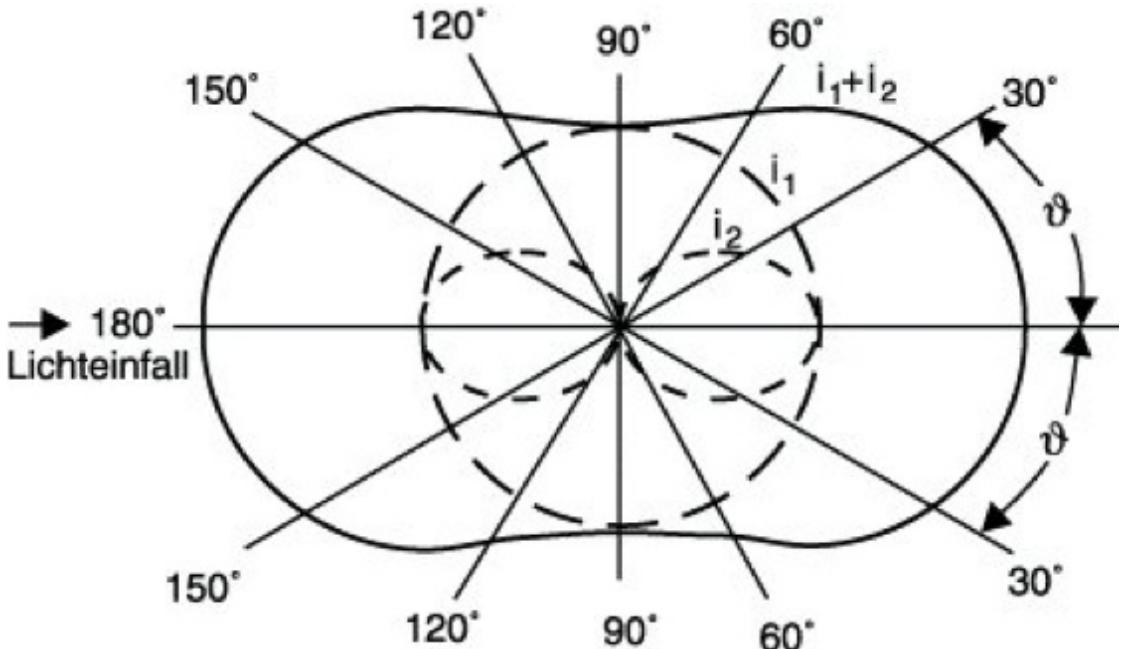


Abbildung 2.2: Abstrahlung des Dipols in Abh. des Winkels  $\delta$  zur Schwingungsachse. (Bildquelle: [www.spektrum.de/lexikon/optik/rayleigh-streuung/2774](http://www.spektrum.de/lexikon/optik/rayleigh-streuung/2774) Zugriffsdatum: 24.5.2021)

Ist das einfallende Licht nun parallel zur Streuebene polarisiert, dann wird bevorzugt senkrecht zur Streuebene abgestrahlt. Wenn das einfallendes Licht nun senkrecht zur Streuebene polarisiert ist, dann wird bevorzugt entlang der Streuebene abgestrahlt.

Aufgrund der Symmetrie des Polardiagramms ist klar ersichtlich, dass Rückwärtsstreuung und Vorwärtsstreuung identisch sind.

## 2.6 Miestreuung

Erklären Sie das Zustandekommen der starken Vorwärtsstreuung bei der Miestreuung! Berechnen Sie hierzu den Gangunterschied  $\Delta$  (für Vorwärts- und Rückwärtsstreuung) zweier interferierender Streuwellen, die von 2 Atomen im Abstand  $D$  abgestrahlt werden, wenn die Einstrahlrichtung entlang der Verbindungsgeraden der beiden Atome liegt. Diskutieren Sie ihr Ergebnis für  $D \ll \lambda$  und  $D \approx \lambda$  und zeichnen Sie ein Polardiagramm!

Für den Gangunterschied  $\Delta$  gilt:

$$\Delta = (1 - \cos \vartheta)D \quad (2.16)$$

Dadurch ergibt sich ein Phasenunterschied von:

$$\varphi = \frac{2\pi D}{\lambda} |1 - \cos \vartheta| \quad (2.17)$$

Und somit eine Intensitätenverteilung von:

$$I = I_0 \cos^2 \left( \frac{\pi D}{\lambda} |1 - \cos \vartheta| \right) \quad (2.18)$$

Der hergeleitete Term beschreibt nun die Mie-Streuung stark vereinfacht. In der Realität ist diese jedoch wesentlich komplexer, weshalb auf eine andere Grafik zurückgegriffen wird.

Für  $D \ll \lambda$  ergibt sich somit die Rayleighstreuung und für  $D \approx \lambda$  bildet sich eine Starke Vorwärtsstreuung aus.

## 2 Fragen zur Vorbereitung

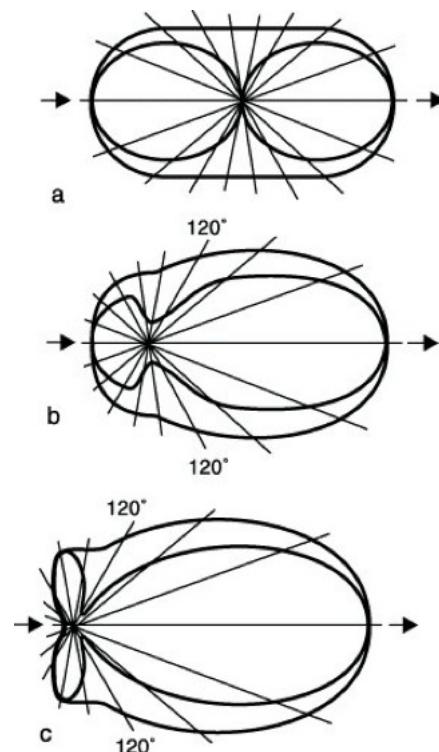


Abbildung 2.3: Poldiagramme für goldkugelchen. a) $d \ll \lambda$ , b) $R = 0,08 \mu\text{m}$ , c) $R = 0,09 \mu\text{m}$ . (Bildquelle: [spektrum.de/lexikon/optik/mie-streuung/2019](https://spektrum.de/lexikon/optik/mie-streuung/2019) Zugriffsdatum: 24.05.2021)

# 3 Auswertung

## 3.1 Fresnelsche Formeln

### 3.1.1 Bestimmung des Brechungsindex von Glas

Während dem Versuch wurde das Minimum der Intensität gemessen, um den Brewster Winkel zu bestimmen. Während dieser gesamten Messung war eine konstante Verstärkung von 100 eingestellt.

Das gemessene Minimum liegt bei  $\psi = 32^\circ$ .

Mit dem Ablesefehler von  $\pm 1^\circ$  liegt, unser gemessener Brewster Winkel bei:

$$\Rightarrow \varphi_B = 90^\circ - \psi = 90^\circ - 32^\circ = (58 \pm 1)^\circ \quad (3.1)$$

Die Spannung für die der Brewster Winkel bestimmt wurde beträgt:  $U_B = 8 \text{ mV}$

Der Fehler dieser beträgt:

$$s_{U_B} = \sqrt{s_a^2 + s_r^2} = \sqrt{(0,0005V)^2 + ((0,02\% \cdot U_B + 0,004)V)^2} = 4,03 \text{ mV} \quad (3.2)$$

$$\Rightarrow U_B = (8 \pm 4) \text{ mV} \quad (3.3)$$

Während dem letzten Semester haben wir in der Vorlesung von Prof. Köhler den Brewster Winkel von Glas und Luft schon einmal bestimmt. Hier wurde allerdings mit einem  $n_2 = 1,4$  gerechnet und der Brewster Winkel beträgt somit  $\varphi = 56^\circ$ . Somit liegt unser Brewster Winkel in der richtigen Größenordnung.

Als nächstes soll der Brechungsindex vom verwendeten Glas berechnet werden.

Die Formel für den Brewster Winkel lautet:

$$\frac{n_2}{n_1} = \tan(\varphi_B) \quad (3.4)$$

Wobei der Brechungsindex für Luft als  $n_1 = 1$  angenommen wird. Dementsprechend ändert sich die Formel zu:

$$\Rightarrow n_2 \approx \tan(\varphi_B) = 1,600334 \quad (3.5)$$

Der Fehler für  $n_2$  beträgt somit:

$$s_{n_2} = \frac{s_{\varphi_B}}{\cos^2(\varphi_B)} = \frac{\frac{1^\circ \cdot \pi}{180^\circ}}{\cos^2(58^\circ)} = 0,0623 \quad (3.6)$$

### 3 Auswertung

Somit ergibt sich für den gesuchten Brechungsindex des verwendeten Glases:

$$\Rightarrow n_2 = 1,60 \pm 0,06 \quad (3.7)$$

Der Brechungsindex für Glas ist ziemlich breit gefächert. Es existiert nicht nur ein bestimmter Brechungsindex für Glas, da es sehr viele unterschiedliche Glasarten gibt. Grob kann man sagen, dass Glas einen Brechungsindex im Bereich von 1,45 - 2,14 hat (vgl. Studyflix, 2021). Unser Wert liegt mit  $n_2 = 1,6$  in der Mitte dieses Bereiches, wenn man nun genauer Wissen möchte, welches Glas bei dem Versuch verwendet wurde, kommt man mit dem bestimmten Wert auf Flintglas (vlg. Universität-Wien, 2021).

#### 3.1.2 Überprüfung der Fresnelschen Formeln

Zuerst werden die theoretischen Werte für die Fresnelschen Formeln berechnet, indem man die Formeln aus dem Skript (Gleichung (1) und (2)) verwendet:

$$\frac{E_{r,\parallel}}{E_{e,\parallel}} = \frac{n^2 \cos(\varphi) - \sqrt{n^2 - \sin^2(\varphi)}}{n^2 \cos(\varphi) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\varphi)}} \quad (3.8)$$

$$\frac{E_{r,\perp}}{E_{e,\perp}} = \frac{\cos(\varphi) - \sqrt{n^2 - \sin^2(\varphi)}}{\cos(\varphi) + \sqrt{n^2 - \sin^2(\varphi)}} \quad (3.9)$$

Als nächstes sollen die theoretischen Werte, mit denen im Experiment bestimmten, verglichen werden.

Hierzu ist die folgende Näherung hilfreich  $I \sim U$ . Im Folgenden werden die Begriffe für die Intensität mit der gemessenen Spannung für die Verhältnisse 'gleichgesetzt', da festgestellt wird das gilt:

$$\frac{U}{U_e} = \frac{I_r}{I_e} \quad (3.10)$$

$$\frac{I_r}{I_e} = \frac{E_r^2}{E_e^2} \quad (3.11)$$

$$\Rightarrow \frac{E_r}{E_e} = \sqrt{\frac{I_r}{I_e}} \quad (3.12)$$

Diese Formel kann sowohl für die parallele als auch für die senkrechte Komponente verwendet werden.

Der Fehler beträgt somit:

$$s_{\frac{E_r}{E_e}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{s_{I_r}^2}{I_e \cdot I_r} + \frac{I_r \cdot s_{I_e}^2}{I_e^3}} \quad (3.13)$$

Der Fehler für die theoretischen Werten von  $\frac{E_{r,\parallel, theo}}{E_{e,\parallel, theo}}$  ist vernachlässigbar klein und wird nicht mit aufgeführt.

### 3.1 Fresnelsche Formeln

Für die einfallende Spannung, also die Spannung, die ohne Glasscheibe gemessen wurde, sind dem Protokoll folgende Werte zu entnehmen:

$$\text{Für die parallele Komponente: } U_{e,\parallel} = (5,74 \pm 0,01) \text{ V} \quad (3.14)$$

$$\text{Für die senkrechte Komponente: } U_{e,\perp} = (3,62 \pm 0,01) \text{ V} \quad (3.15)$$

Wobei der Fehler für die Eingangsspannung lautet:

$$s_{U_e} = \sqrt{0,01^2 + (0,02\% \cdot U_e + 0,004)^2} \quad (3.16)$$

Es ergeben sich die folgende Werte:

$\varphi$ in $^\circ$	$U_{r,\parallel}$ in V	$s_{U_{r,\parallel}}$ in V	$\frac{I_{r,\parallel}}{I_{e,\parallel}}$	$\frac{E_{r,\parallel}}{E_{e,\parallel}}$	$s_{\frac{E_{r,\parallel}}{E_{e,\parallel}}}$	$\frac{E_{r,\parallel, theo}}{E_{e,\parallel, theo}}$
90	5,730	0,0112	0,9983	0,9991	0,00928	1,00000
85	5,720	0,0112	0,9965	0,9983	0,00927	0,69750
80	5,330	0,0112	0,9286	0,9636	0,00896	0,47872
75	2,230	0,0109	0,3885	0,6233	0,00596	0,31627
70	0,900	0,0108	0,1568	0,3960	0,00437	0,19323
65	0,260	0,0108	0,0453	0,2128	0,00483	0,09859
60	0,030	0,0108	0,0052	0,0723	0,01300	0,02490
59	0,013	0,0040	0,0023	0,0476	0,00740	0,01218
58	0,008	0,0040	0,0014	0,0373	0,00942	0,00006
57	0,012	0,0040	0,0021	0,0457	0,00770	0,01150
56	0,025	0,0040	0,0044	0,0660	0,00536	0,02252
55	0,020	0,0108	0,0035	0,0590	0,01591	0,03305
50	0,210	0,0108	0,0366	0,1913	0,00522	0,07896
45	0,250	0,0108	0,0436	0,2087	0,00490	0,11552
40	0,410	0,0108	0,0714	0,2673	0,00430	0,14473
35	0,580	0,0108	0,1010	0,3179	0,00417	0,16804
30	0,710	0,0108	0,1237	0,3517	0,00421	0,18656
25	0,820	0,0108	0,1429	0,3780	0,00429	0,20111
20	0,900	0,0108	0,1568	0,3960	0,00437	0,21231
15	1,010	0,0108	0,1760	0,4195	0,00448	0,22061

Tabelle 3.1: Werte für die parallele Komponente

### 3 Auswertung

Mit diesen Werten ergibt sich das folgende Diagramm:

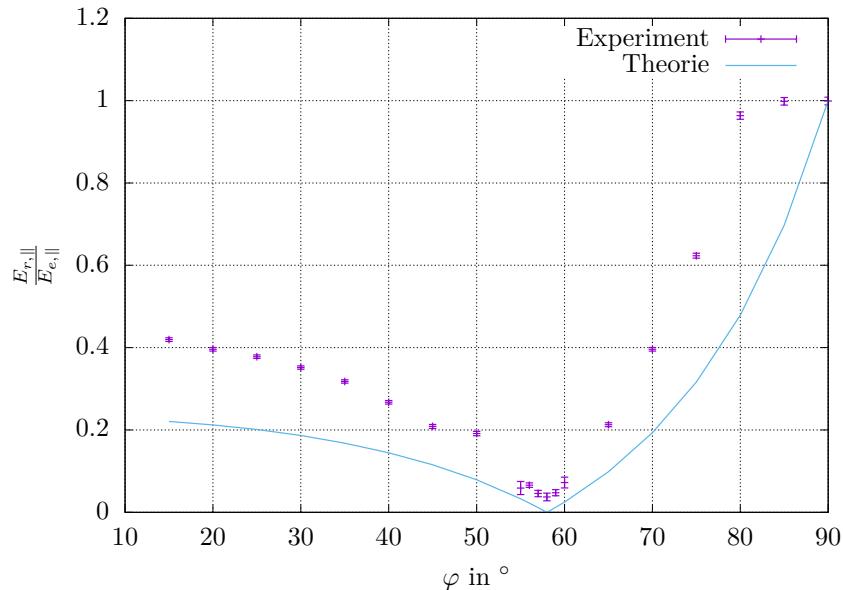


Abbildung 3.1: Experimentelle und theoretische Werte der parallelen Komponente

Wie im Plot zu erkennen ist, stimmt der qualitative Verlauf der experimentell bestimmten Werte mit den theoretischen Werten überein. Allerdings ist auch eine Abweichung feststellbar. Die meisten experimentell bestimmten Werte, weichen um den Faktor  $\frac{1}{2}$  von den theoretischen Werten ab.

Ein Grund hierfür könnte die konstante 'Lichtverschmutzung' während dem Versuch gewesen sein. Das Notlicht war während dem Versuch an und beleuchtete direkt den Versuchsplatz. Es kam deshalb zu unterschiedlichen Schattenwürfen bei verschiedenen Einfallswinkeln ( $\varphi$ ), da sich die Messperson gezwungener Maßen bewegen musste.

Damit verbunden ist natürlich auch der Parallaxenfehler, dadurch dass es dennoch dunkel im Raum war, war es schwierig den genauen Wert einzustellen bzw. den bestimmten Wert abzulesen. Zudem ist es schwierig gewesen den Polarisationsfilter einzustellen, da dieser einen hohen Spielraum hatte, dieser könnte somit auch eine Fehlerquelle sein.

Wie man aus der Tabelle und dem Diagramm herauslesen kann wurden Winkel kleiner als  $\varphi = 15^\circ$  nicht mehr gemessen, da dort die Fotodiode den Laser verdeckte und somit keine Messungen mehr möglich waren.

Zudem waren die Winkel in der Nähe von  $\varphi = 90^\circ$  schwierig zu messen, da das dünne Glas schwierig war mit dem Laserstrahl zu treffen und dann das reflektierte Maximum mit der Fotodiode zu bestimmen. Aus diesem Grund weichen die letzten Werte stärker von den theoretischen Werten ab.

### 3.1 Fresnelsche Formeln

Die folgenden Werte sind die Messwerte der senkrechten Komponente:

$\varphi$ in °	$U_{r,\perp}$ in V	$U_{I_{r,\perp}}$ in V	$\frac{I_{r,\perp}}{I_{e,\perp}}$	$\frac{E_{r,\perp}}{E_{e,\perp}}$	$s \frac{E_{r,\perp}}{E_{e,\perp}}$	$\frac{E_{r,\perp,theo}}{E_{e,\perp,theo}}$
90	1,26	0,0109	0,34807	0,58997	0,0089393	1,00000
85	2,35	0,0110	0,64917	0,80571	0,0118531	0,86984
80	1,62	0,0109	0,44751	0,66896	0,009974	0,75792
75	1,17	0,0109	0,32320	0,56851	0,0086691	0,66263
70	0,92	0,0108	0,25414	0,50413	0,0079021	0,58214
65	0,71	0,0108	0,19613	0,44287	0,0072648	0,51456
60	0,55	0,0108	0,15193	0,38979	0,0068362	0,45810
55	0,42	0,0108	0,11602	0,34062	0,006608	0,41111
50	0,33	0,0108	0,09116	0,30193	0,0066046	0,37212
45	0,28	0,0108	0,07735	0,27812	0,0067113	0,33989
40	0,23	0,0108	0,06354	0,25206	0,0069532	0,31335
35	0,20	0,0108	0,05525	0,23505	0,0071988	0,29164
30	0,18	0,0108	0,04972	0,22299	0,0074235	0,27405
25	0,16	0,0108	0,04420	0,21024	0,007714	0,26000
20	0,14	0,0108	0,03867	0,19666	0,0080927	0,24906
15	0,14	0,0108	0,03867	0,19666	0,0080927	0,24088

Tabelle 3.2: Werte für die senkrechte Komponente

Nun werden auch diese Werte in ein Diagramm geplottet:

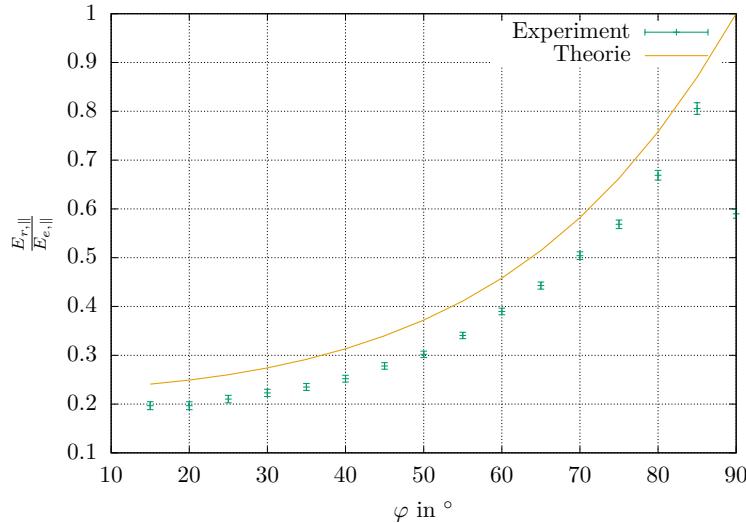


Abbildung 3.2: Experimentelle und theoretische Werte der senkrechten Komponente

### *3 Auswertung*

Auch hier stimmt der qualitative Verlauf der experimentellen mit den theoretischen Werte überein. Allerdings ist hier auch eine Abweichung vorhanden. Die experimentell bestimmten Werte sind beinahe konstant nach 'unten' verschoben gegenüber den theoretischen Werten. Dies lässt auf einen systematischen/kostanten Fehler schließen. Auch hier könnte man als Grund für die Verschiebung, die Lichtverschmutzung während dem Versuch anführen, sowie der Ablesefehler des Winkels und die oben genannten Fehler, bei der Messung zuvor.

Auch hier wurden kleinere Winkel als  $15^\circ$  nicht mehr gemessen da auch hier die Fotodiode eine Messung verhinderte.

### 3.2 Miesteuung an kugelförmigen Polystyrol-Teilchen in Wasser

Mit dem im zweiten Versuchsteil gewonnenen Daten (Vorgehensweise siehe Protokoll) wurden folgende Werte berechnet:

$$\Delta S_{1,\perp} = (S_{P1} - S_{leer})_{\perp} \quad (3.17)$$

$$\Delta S_{2,\perp} = (S_{P2} - S_{leer})_{\perp} \quad (3.18)$$

$$\Delta S_{1,\parallel} = (S_{P1} - S_{leer})_{\parallel} \quad (3.19)$$

$$\Delta S_{2,\parallel} = (S_{P2} - S_{leer})_{\parallel} \quad (3.20)$$

Die Fehler sind mit der Fehlerfortpflanzungsformel für Differenzen bzw. Summen berechnet worden.

Die Daten werden gegen  $\Phi$  aufgetragen:

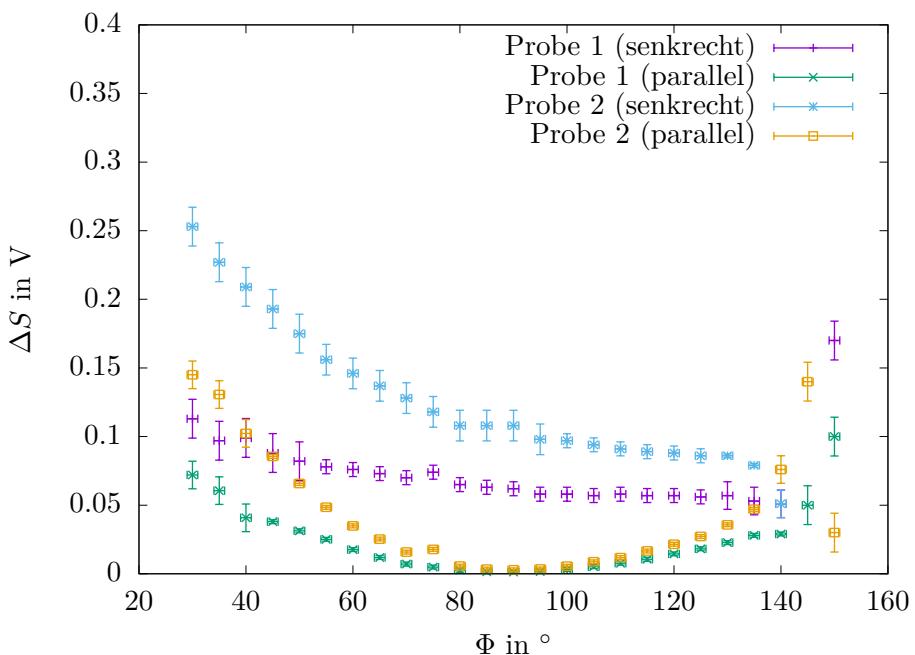


Abbildung 3.3:  $\Delta S_{1,\perp}$ ,  $\Delta S_{2,\perp}$ ,  $\Delta S_{1,\parallel}$ ,  $\Delta S_{2,\parallel}$  gegen den Winkel  $\Phi$  aufgetragen.

Die Kurve ähnelt wie erwartet einem U, dies ergibt sich aus den Charakteristiken der Miestreuung. Aus den Charakteristiken der Miestreuung geht auch eine Vorwärtsstreuung und damit eine Asymmetrie hervor, welche auch hier gut zu sehen ist.

### 3 Auswertung

Des weiteren soll der Polarisationsgrad mit folgender Formel berechnet werden.

$$P = \frac{\Delta S_{\perp} - \Delta S_{\parallel}}{\Delta S_{\perp} + \Delta S_{\parallel}} \quad (3.21)$$

Für den Fehler gilt:

$$s_P = \frac{2}{(\Delta S_{\perp} + \Delta S_{\parallel})^2} \sqrt{\Delta S_{\parallel}^2 s_{\Delta S_{\perp}} + \Delta S_{\perp}^2 s_{\Delta S_{\parallel}}} \quad (3.22)$$

Den Polarisationsgrad gegen  $\Phi$  aufgetragen:

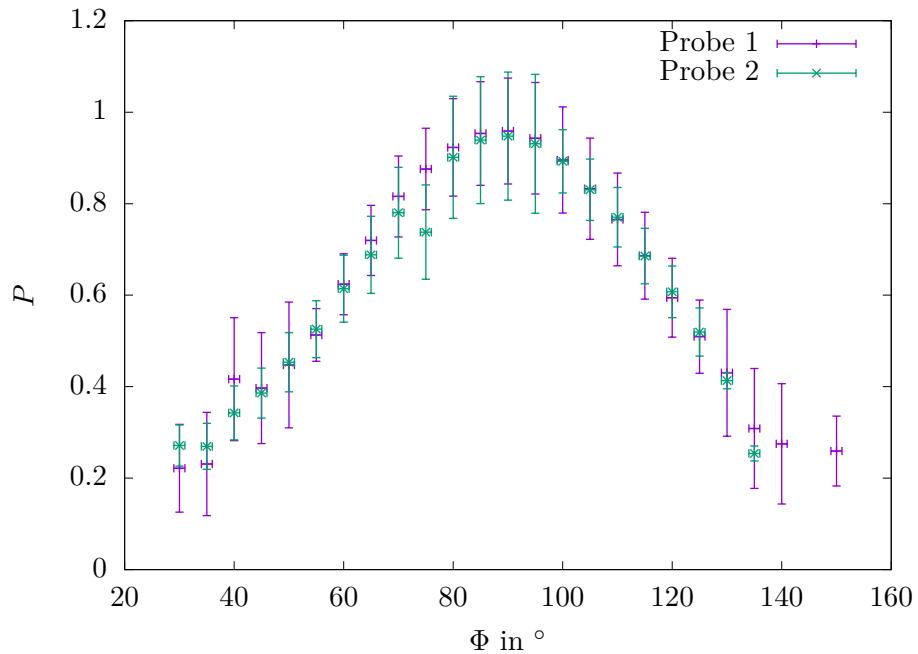


Abbildung 3.4: Polarisationsgrad gegen den Winkel  $\Phi$  aufgetragen.

Die Kurve ähnelt, unseren Erwartungen entsprechend, einer nach unten gerichteten Glocke mit Hochpunkt bei  $\Phi = 90^\circ$ . Demzufolge ist das Licht bei  $\Phi = 90^\circ$  nahezu komplett linear polarisiert. Dies ergibt sich aus den Charakteristiken der Miesteuung. Zur Rayleighstreuung fallen kaum Unterschiede auf, bei genauerer Betrachtung fällt jedoch eine gewisse Asymmetrie auf. Dies ist jedoch sehr geringfügig, außerdem kann auch nicht eindeutig ausgeschlossen werden ob diese aufgrund der Messgenauigkeit verursacht wird. Des Weiteren scheint die Abflachung früher einzusetzen, was aber auch die Folge von Messgenauigkeiten sein kann. Da am Rand des Messbereichs die Messung sehr schwierig war, sind diese Werte kritisch zu betrachten. Des Weiteren fällt auf das die Kurven nahezu deckungsgleich sind.

### 3.2 Miesteuung an kugelförmigen Polystyrol-Teilchen in Wasser

Um die Teilchengröße zu ermitteln wir zuerst der Asymmetriefaktor der Probe für  $\Phi = 45^\circ$ .

Für den Asymmetriefaktor gilt:

$$X = \frac{\Delta S(\Phi)}{\Delta S(180^\circ - \Phi)} \quad (3.23)$$

Der Fehler ergibt sich:

$$s_X = \frac{1}{\Delta S(180^\circ - \Phi)} \sqrt{s_{\Delta S(\Phi)}^2 + \left( \frac{\Delta S(\Phi)s_{\Delta S(180^\circ - \Phi)}}{\Delta S(180^\circ - \Phi)} \right)^2} \quad (3.24)$$

Somit ergibt sich:

$$X_1 = (1,3 \pm 0,7) \quad (3.25)$$

$$X_2 = (1,5 \pm 0,2) \quad (3.26)$$

Somit kann mittels der Tabelle aus der Versuchsanleitung die Partikelgröße bestimmt werden. Des weiteren gilt:  $\lambda_M = \frac{632,8\text{nm}}{1,33} = 475,8 \text{ nm}$ .

Für Probe 1 gilt:

$$0,22 = \frac{D}{\lambda_M} \Rightarrow D = 0,22 \cdot \lambda_M = 105 \text{ nm} \quad (3.27)$$

Für Probe 2 gilt:

$$0,28 = \frac{D}{\lambda_M} \Rightarrow D = 0,28 \cdot \lambda_M = 133 \text{ nm} \quad (3.28)$$

Diese Werte entsprechen der Erwarteten Größenordnung. Es wurde auch beobachtet, dass Probe 2 milchiger erscheint als Probe 1, was sich nun mit unserer Messung deckt.

### 3 Auswertung

Anbei noch die zugehörigen Daten:

$\Phi / ^\circ$	$s_\Phi / ^\circ$	$\Delta S_{1,\perp} / \text{V}$	$s_{\Delta S_{1,\perp}} / \text{V}$	$\Delta S_{2,\perp} / \text{V}$	$s_{\Delta S_{2,\perp}} / \text{V}$
150	1	0,170	0,0141421356	-0,030	0,0141421356
145	1	-0,010	0,0141421356	-0,070	0,0141421356
140	1	0,051	0,0100498756	0,051	0,0100498756
135	1	0,053	0,0100498756	0,079	0,0014142136
130	1	0,057	0,0100498756	0,086	0,0014142136
125	1	0,056	0,0050990195	0,086	0,0050990195
120	1	0,057	0,0050990195	0,088	0,0050990195
115	1	0,057	0,0050990195	0,089	0,0050990195
110	1	0,058	0,0050990195	0,091	0,0050990195
105	1	0,057	0,0050990195	0,094	0,0050990195
100	1	0,058	0,0050990195	0,097	0,0050990195
95	1	0,058	0,0050990195	0,098	0,0111803399
90	1	0,062	0,0050990195	0,108	0,0111803399
85	1	0,063	0,0050990195	0,108	0,0111803399
80	1	0,065	0,0050990195	0,108	0,0111803399
75	1	0,074	0,0050990195	0,118	0,0111803399
70	1	0,070	0,0050990195	0,128	0,0111803399
65	1	0,073	0,0050990195	0,137	0,0111803399
60	1	0,076	0,0050990195	0,146	0,0111803399
55	1	0,078	0,0050990195	0,156	0,0111803399
50	1	0,082	0,0141421356	0,175	0,0141421356
45	1	0,088	0,0141421356	0,193	0,0141421356
40	1	0,099	0,0141421356	0,209	0,0141421356
35	1	0,097	0,0141421356	0,227	0,0141421356
30	1	0,113	0,0141421356	0,253	0,0141421356

Tabelle 3.3:  $\Delta S_{\perp}$  beider Proben in Abh. von  $\Phi$

### 3.2 Miesteuung an kugelförmigen Polystyrol-Teilchen in Wasser

$\Phi / ^\circ$	$s_\Phi / ^\circ$	$\Delta S_{1,\parallel} / \text{V}$	$s_{\Delta S_{1,\parallel}} / \text{V}$	$\Delta S_{2,\parallel} / \text{V}$	$s_{\Delta S_{2,\parallel}} / \text{V}$
150	1	0,1000	0,01414214	0,0300	0,01414214
145	1	0,0500	0,01414214	0,1400	0,01414214
140	1	0,0290	0,00141421	0,0760	0,01004988
135	1	0,0280	0,00141421	0,0470	0,00141421
130	1	0,0227	0,00141421	0,0357	0,00141421
125	1	0,0182	0,00141421	0,0272	0,00141421
120	1	0,0145	0,00141421	0,0215	0,00141421
115	1	0,0106	0,00141421	0,0166	0,00141421
110	1	0,0077	0,00141421	0,0118	0,00141421
105	1	0,0052	0,00141421	0,0087	0,00141421
100	1	0,0032	0,00141421	0,0055	0,00141421
95	1	0,0017	0,00141421	0,0035	0,00141421
90	1	0,0013	0,00141421	0,0029	0,00141421
85	1	0,0015	0,00141421	0,0034	0,00141421
80	1	0,0026	0,00141421	0,0056	0,00141421
75	1	0,0049	0,00141421	0,0178	0,00141421
70	1	0,0071	0,00141421	0,0158	0,00141421
65	1	-0,0003	0,00141421	0,0253	0,00141421
60	1	0,0176	0,00141421	0,0349	0,00141421
55	1	0,0251	0,00141421	0,0485	0,00141421
50	1	0,0313	0,00141421	0,0658	0,00141421
45	1	0,0380	0,00141421	0,0855	0,00141421
40	1	0,0408	0,01004988	0,1023	0,01004988
35	1	0,0606	0,01004988	0,1306	0,01004988
30	1	0,0720	0,01004988	0,1450	0,01004988

Tabelle 3.4:  $\Delta S_{\parallel}$  beider Proben in Abh. von  $\Phi$

### 3 Auswertung

$\Phi / {}^\circ$	$s_\Phi / {}^\circ$	$P_1$	$s_{P_1}$	$P_2$	$s_{P_2}$
150	1	0,25925926	0,076523049	-	-
145	1	-1,5	0,901387819	-3	0,90350790
140	1	0,275	0,131570665	-0,1968504	0,11405846
135	1	0,308641975	0,131127017	0,25396825	0,01637692
130	1	0,430363864	0,138630409	0,41331142	0,01778221
125	1	0,509433962	0,080034669	0,51943463	0,05267473
120	1	0,594405594	0,086094004	0,60730594	0,05653770
115	1	0,686390533	0,094941947	0,68560606	0,06075499
110	1	0,765601218	0,101434366	0,77042802	0,06497855
105	1	0,832797428	0,110710253	0,83057449	0,06697815
100	1	0,895424837	0,116059088	0,89268293	0,06920142
95	1	0,943048576	0,121831563	0,93103448	0,15170072
90	1	0,958925750	0,115817378	0,94770063	0,14000193
85	1	0,953488372	0,113354352	0,93895871	0,13876672
80	1	0,923076923	0,106527353	0,90140845	0,13355710
75	1	0,875792142	0,089150082	0,73784978	0,10313002
70	1	0,815823606	0,088573915	0,78025035	0,09940145
65	1	1,009358657	0,103473895	0,68823167	0,08429123
60	1	0,623931624	0,066634590	0,61415146	0,07310700
55	1	0,513094083	0,057685635	0,52567237	0,06225730
50	1	0,447484554	0,137429594	0,45348837	0,06480823
45	1	0,396825397	0,121355674	0,38599641	0,05470276
40	1	0,416309013	0,134425931	0,34275618	0,05891479
35	1	0,230964467	0,112982783	0,26957494	0,05024802
30	1	0,221621622	0,096055736	0,27135678	0,04516774

Tabelle 3.5: Der Polarisationsgrad beider Proben in Abh. von  $\Phi$

### *3.2 Miesteuung an kugelförmigen Polystyrol-Teilchen in Wasser*

In Tabelle 3.3 ist ein klarer Messfehler bei  $\Phi = 145^\circ$  zu erkennen, was möglicherweise auf unterschiedliche Umgebungslichtverhältnisse während der Messung zurückzuführen ist. Dieser Fehler hat selbsverständlich Auswirkungen auf die aus ihm berechneten Werte, was in den ersten Zeilen der Tabelle 3.5 zeigt. Die Messungen am Rande müssen allgemein kritischer betrachtet werden, da sie nicht einfach zu messen waren und deshalb grobe Messfehler nicht auszuschließen sind.

## **4 Fazit**

Zusammenfassend haben wir in diesem Versuch die Richtigkeit der Fresnelschen Formeln und die mit der Reflexion einhergehenden Polarisation untersucht. Außerdem haben wir, die Partikelgröße von in Wasser befindlichen Polystyrolteilchen, mit Hilfe der Miestreuung, bestimmt.

Durch das Arbeiten bzw. Ausnutzen dieser Phänomene, war es uns möglich ein tieferes Verständnis für diese zu erlangen. Das diese Effekte auf keinen Fall trivial oder unwichtig sind wurde bereits in der Einleitung hinreichend klar gestellt.

Abschließend ist zu sagen, dass aufgrund der neu gesammelten Erfahrungen durch diesen Versuch, dieser als Erfolg zu verbuchen ist.

## A Messprotokoll

Versuch: Polarisation

1. Allgemeines

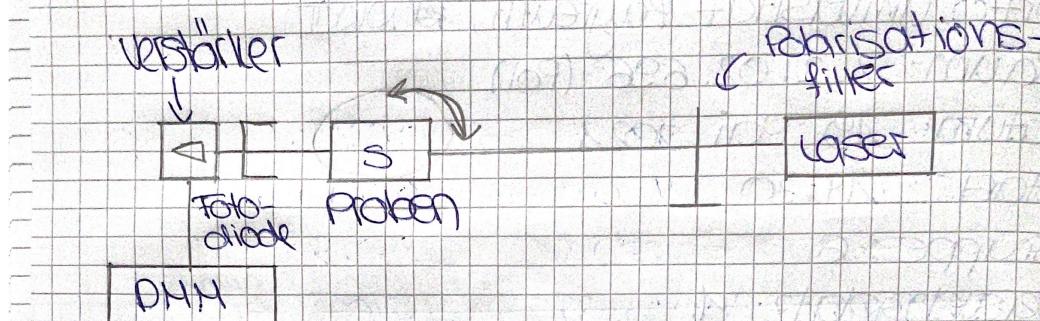
- Ort: Universität Bayreuth, NW II
- Raum: 2.2.02.696 (Pol)
- Datum: 19. Mai 2021
- Start: 14:30
- Gruppe: 6
- Versuchsplatz: 1

②	700 nm
①	400 nm

- Laser wurde um 14.15 eingeschalten

## 2 Fehler und Messgeräte

### 2.1 Aufbau



### 2.2 Geräte und Fehler

#### i) Laser: Helium- Neon

Inventarnr.: 94935

Serie: Ty

Modell: 1508 P-2

B Strahl durchmesser.: 1.7 mm bei 0.48 mm

Maximales Rauschen: (30 Hz bis 10 MHz):

⊗ rms  $\hat{=}$  Quadrat. Mittel : 1% rms\*

Wellenlänge: 633 nm

Strahl- Abweichung: 1.7 m rad

Maximale- Abweichung der Leistung:  $\pm 2,5\%$

iii) ~~Digitalmultimeter~~: Agilent U3401A  
Seriennummer: ~~DEUT~~ MY 56180167

DC-Spannung:

500 mV	10µV	0,02% + 4
5V	100µV	0,02% + 4
50V	1 mV	0,02% + 4
500 V	10 mV	0,02% + 4
1000 V	100mV	0,02% + 4
Bereich	Auflösung	Präzision

### 3. Fresnelsche Formeln

Der Laser wurde um 14.15 eingeschalten.  
Nach 30 min wurde mit der Messung  
begonnen.

Zuerst wurde vor der Messung der  $0^\circ$ -  
Punkt der Winkelskala für  $\psi$  durch  
Rückreflexion an der Glasplatte über-  
prüft. Dabei kann wurde ein neuer  
 $0^\circ$ -Punkt festgelegt:

$$\text{Nullpunkt } (\psi): (37 \pm 0,5)^\circ$$

Der Fehler wurde von der Messperson  
abgeschätzt.

~~Hierbei reflektiert die Glasplatte~~

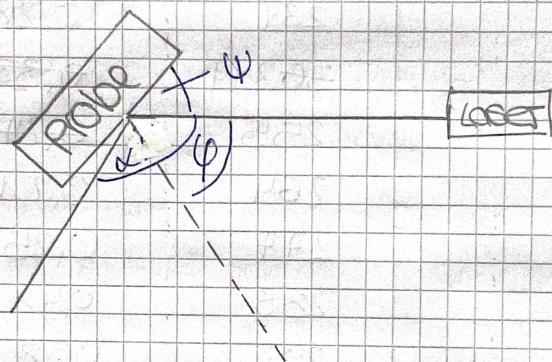
Der Polarisator, wurde auf  $90^\circ$  eingestellt  
somit ergibt sich (ohne Glasplatte) eine  
Intensität von  $5,74 \text{ V} \pm 10 \text{ mV}$ . Absehbar  
Nun wird die Glasplatte auf den  $\alpha$   
Drehsteller gestellt, ein Winkel  $\psi$  (der  
Glasplatte) eingestellt und mit der  
Diode ein Winkel  $\alpha$  eingestellt, bei dem  
der das Maximum des  $\alpha$  reflektierten  
Strahls liegt.

Bei einer Probmessung wurde der Absehfehler  
der Intensität auf  $\pm 5 \text{ mV}$  abgeschätzt.  
(Spannung)  $\pm 10 \text{ mV}$

$\Psi$ (Glasplatte in Grad)	$\alpha_{\max}$ in Grad	$I_n(\Psi)$ in V
0	180	5,73
5	193	2,18 5,72
10	203	5,33
15	215	2,23
20	224	0,90 <del>ab hier Fehler von + 1 mV</del>
25	234	0,26
30	244	0,33 - 0,03
35	255	0,24 0,02
40	264	0,21
45	274	0,25
50	283	0,41
55	293	0,58
60	302	0,71
65	312	0,82
70	321	0,90
75	332	1,01
80	ab hier kei Verdeckt die Fotodiode den einfallenden Strahl	Erwartung: Intensität SOLLE Weiter Steigen
85		
90		
95		
100		
105		
110		
115		
120	auf	
Die Verstärkung war auf 100 eingestellt.		

~~$\psi$  (Glast) in Grad       $\alpha_{\max}$  in Grad~~ (nicht blockieren)

Hierbei wurde unser  $\psi$  so gewählt,  
dass gilt:  $\psi = 30^\circ - \varphi$  gemeint  
wobei hier das  $\varphi$  aus dem Skript ist  
siehe Abbildung Skizze:



Wir vermuten den Brewster Winkel bei  $\psi = 35^\circ$   
Hier wird nochmal genauer gemessen:

$\psi$ in Grad	$\alpha_{\max}$ in Grad	$I_{\parallel}(\psi)$ in V
32	249	$0,0080 \pm 0,0005$
33	252	$0,0120 \pm 0,0005$
34	255	$0,0250 \pm 0,0005$
31	247	$0,0130 \pm 0,0005$

Am Ende wurde die Polarisierung leicht  
verändert, dass führte allerdings zu  
einer Erhöhung.

Der Ablesefehler bei den Messungen wurde  
auf  $\pm 10^\circ$  geschätzt (von  $\psi, \alpha$ )

Spannung /

zuerst wurde wieder die Intensität ohne  
Glasplatte gemessen, diese beläuft  
sich auf  $4,44 \text{ V} \pm 10 \text{ mV}$ .  ~~$5,68 \text{ V} \pm 10 \text{ mV}$~~   
 $\psi, \alpha, I_{\perp}(\psi)$  werden wie bei paralleler  
Polarisation bestimmt. Verstärkung: 10

$\varphi$ in Grad	$x_{\max}$ in Grad	$I_{\perp}(\psi)$ in V
0	180	1,26
5	193	2,35
10	206	1,62
15	217	1,17
20	226	0,92
25	233	0,71
30	243	0,55
35	254	0,42
40	264	0,33
45	272	0,28
50	282	0,23
55	291	0,20
60	303	0,18
65	312	0,16
70	322	0,14
75	334	0,14
80	Fotodiode wieder im Weg	

Der Ablesefehler des DMM:  $\pm 10 \text{ mV}$

Ablesefehler  $\psi, \alpha \approx \pm 1^\circ$

#### 4. Mie-Streuung

Der Versuchsaufbau wurde vom Betreuer nach Versuchsanleitung aufgebaut.

Die Proben sind diese der Gruppe A.  
(Block)

Zuerst werden alle Proben

- Probe 1 : Polystryrol-Wasser-Gemisch
- Probe 2 : wobei  $P_2$  "mächtiger" als  $P_1$  war
- Probe 3 : Leerprobe

für senkrechte Polarisation gemessen.

Hierbei wird mit Probe 3 angefangen, um eine Nullpunktkorrektur durchzuführen.

Der Winkelbereich der Messung wird ist von  $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ .

Zusätzlich wurde die Kollimatorhülse vor der Fotodiode geschraubt.

Verstärkung: 10000

Fehler:  $\pm 10\text{ mV}$  bis nichts anders angegeben

Fehler:

Ablesefehler:  $\pm 1^\circ$  (von 2)

$\alpha$ in °	I in V Probe 1	I in V Probe 2	I Probe 3 in V
30	0,69	0,49	0,52
35	0,26	0,20	0,27
40	0,10	0,10	0,049 $\otimes$ abh. Fühler $\pm 1\text{mV}$
45	0,065	0,091 $\otimes$	0,012
50	0,062	0,091	0,005
55	0,060 $\otimes$	0,090	0,004 abh. $\otimes \pm 5\text{mV}$
60	0,060	0,091	0,003
65	0,060	0,092	0,003
70	0,060	0,093	0,002
75	0,059	0,096	0,002
80	0,060	0,095	0,002
85	0,060	0,10 $\otimes$	0,002
90	0,064	0,11	0,002
95	0,065	0,11	0,002
100	0,067	0,11	0,002
105	0,076	0,12	0,002
110	0,072	0,13	0,002
115	0,076	0,14	0,003
120	0,080	0,15	0,004
125	0,082	0,16	0,004 abh.
130	0,087 $\otimes$	0,18	0,005 $\otimes \pm 10\text{mV}$
135	0,095	0,20	0,007
140	0,111	0,22	0,011
145	0,11	0,24	0,013
147-150	0,13	0,27	0,017

Als nächstes wurde dasselbe nochmal in paralleler  
Stellung gemessen. Polarisator:  $90^\circ$   
Verstärkung:  $10^4$  Hervierung s. Vordere Seite

$\alpha$ in Grad	$I_{p1}$ in V	$I_{p2}$ in V	$I_{p3}$ in V
30	0,40	0,33	0,30 <del>(*)</del>
35	0,18	0,27	0,13
40	0,063 <del>(*)</del>	0,11	0,034 <del>(*)</del>
45	0,033	0,052 <del>(*)</del>	0,005
50	0,025	0,038 <del>(*)</del>	0,0023
55	0,020	0,029	0,0018
60	0,016	0,023	0,0015
65	0,012	0,018	0,0014
70	0,0089	0,013	0,0012
75	0,0064	0,0099	0,0012
80	0,0043	0,0066	0,0011
85	0,0028	0,0046	0,0011
90	0,0024	0,0040	0,0011
95	0,0026	0,0045	0,0011
100	0,0038	0,0068	0,0012
105	0,0061	0,0119	0,0012
110	0,0085	0,0172	0,0014
115	0,0136	0,027	0,0017
120	0,0191	0,037	0,0021
125	0,0276	0,051	0,0025
130	0,0345	0,069	0,0032
135	0,0435	0,091	0,0055
140	0,0485 <del>(*)</del>	0,11 <del>(*)</del>	0,0077
145	0,070	0,14	0,0094
150	0,083	0,16	0,0150

Hier wurde auch wieder die Leersprobe zuerst gemessen.

Falls nichts anders angegeben, beläuft sich der Fehler auf  $\pm 10\text{mV}$  (X)

(\*) ab hier  $\pm 1\text{mV}$

(\*\*) ab hier  $\pm 5\text{mV}$

der Ablesefehler von  $\alpha$  ist  $\pm 1^\circ$

## 5. Unterschriften

Paul Schwanz  
AUS: Paul Schwanz

Dominik Mülle  
MES: Dominik Mülle

Anna-Maria Pleyer  
Prof.: Anna-Maria Pleyer

# Literaturverzeichnis

- DEMTRÖDER, W. 2017 *Experimentalphysik 2*, 7. Auflage. Berlin: Springer.
- EICHLER, H. J., KRONFELDT, H.-D. & SAHM, J. 2006 *Das Neue Physikalische Grundpraktikum*, 2. Auflage. Berlin: Springer.
- KÖHLER, J. WS 2020/21 Vorlesung EPB1, Universität Bayreuth.
- STUDYFLIX 2021 Brechungsindex. URL <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/brechungsindex-2343> – Zugriffsdatum: 25.05.2021.
- UNIVERSITÄT-WIEN 2021 Strahlenoptik - lichtbrechung. URL [https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1\\_grundlagen/optik/strahlenoptik/2\\_lichtbrechung.htm](https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/strahlenoptik/2_lichtbrechung.htm) – Zugriffsdatum: 25.05.2021.
- VOLLMER, M. 2002 Über die farben der sonne und des himmels: Rayligh- und mie-streuung in der atmosphäre. Physikalische Ingenieurwissenschaften, Fachhochschule Brandenburg.

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Amplitudenkoeffizienten und Reflexion-/Transmissionkoeffizienten in Abh. des Einfallswinkel für verschiedene Brechungszahlen. Bildquelle: wikipedia.org/wiki/Fresnelsche_Formeln (Zugriffsdatum: 24.05.2021) . . . . .	8
2.2	Abstrahlung des Dipols in Abh. des Winkels $\delta$ zur Schwingungsachse. (Bildquelle: www.spektrum.de/lexikon/optik/rayleigh-streuung/2774 Zugriffsdatum: 24.5.2021) . . . . .	10
2.3	Poldiagramme für goldkügelchen. a)d $\ll \lambda$ , b) $R = 0,08 \mu\text{m}$ , c) $R = 0,09 \mu\text{m}$ . (Bildquelle: spektrum.de/lexikon/optik/mie-streuung/2019 Zugriffsdatum: 24.05.2021) . . . . .	12
3.1	Experimentelle und theoretische Werte der parallelen Komponente . . . . .	16
3.2	Experimentelle und theoretische Werte der senkrechten Komponente . . . . .	17
3.3	$\Delta S_{1,\perp}$ , $\Delta S_{2,\perp}$ , $\Delta S_{1,\parallel}$ , $\Delta S_{2,\parallel}$ gegen den Winkel $\Phi$ aufgetragen. . . . .	19
3.4	Polarisationsgrad gegen den Winkel $\Phi$ aufgetragen. . . . .	20

# Tabellenverzeichnis

3.1	Werte für die parallele Komponente . . . . .	15
3.2	Werte für die senkrechte Komponente . . . . .	17
3.3	$\Delta S_{\perp}$ beider Proben in Abh. von $\Phi$ . . . . .	22
3.4	$\Delta S_{\parallel}$ beider Proben in Abh. von $\Phi$ . . . . .	23
3.5	Der Polarisationsgrad beider Proben in Abh. von $\Phi$ . . . . .	24