

VERSUCHSBERICHT ZU

O3 – POLARISATION

Gruppe Mi 11

Alex Oster(a\_oste16@uni-muenster.de)  
Jonathan Sigrist(j\_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 13.06.2018  
betreut von Dennis Mallach

18. Juni 2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Untersuchung von Polarisation</b>	<b>2</b>
2.1	Allgemeines zu dem Aufbau . . . . .	2
2.1.1	Versuchsmaterialien . . . . .	2
2.1.2	Polarisation von Licht . . . . .	3
2.2	Teilversuch 1: Gesetz von Malus . . . . .	4
2.3	Teilversuch 2: $\lambda/2$ -Plättchen . . . . .	7
2.4	Teilversuch 3: Brewsterwinkel . . . . .	10
2.5	Teilversuch 4: Strahlenversatz . . . . .	11
2.6	Teilversuch 5: Kristallpolarisation . . . . .	12
<b>3</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>13</b>
<b>4</b>	<b>Anhang</b>	<b>14</b>
4.1	Unsicherheiten . . . . .	14
	<b>Literatur</b>	<b>16</b>

## 1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung von Polarisation bzw. genauer mit der Wechselwirkung von polarisiertem Licht mit Materie.

## 2 Untersuchung von Polarisation

### 2.1 Allgemeines zu dem Aufbau

#### 2.1.1 Versuchsmaterialien



Abbildung 1: Für den Versuch verwendete Materialien.[2]

Die für diesen Versuch verwendeten Materialien sind in Abb. 1 dargestellt. Bei diesen handelt es sich um

1. eine Photodiode zur Erzeugung von Photostrom durch das einfallende Laserlicht nach der Polarisation
2. zwei Polarisatoren zum Polarisieren des Laserlichts
3. eine Glasplatte zur Untersuchung ihres Reflexionsvermögens
4. ein Messgerät um die Intensität des Lichts dem Photostrom zu entnehmen
5. ein Kalkspat zur Untersuchung von Polarisation an Kristallen
6. ein  $\lambda/2$ -Plättchen zur Drehung der Polarisationssebene

7. ein Laser zur Erzeugung von Licht, welches polarisiert werden soll
8. einige Röhren, die mit Zuckerlösungen unterschiedlicher Konzentration befüllt sind, welche zur Untersuchung des Strahlenversatzes in Abhängigkeit der Konzentration dienen.

Für die verschiedenen Teilversuche werden jeweils nur einige dieser Materialien verwendet. Da der Photostrom sehr gering ist, wird die dazu proportionale Spannung, welche ebenso proportional zu der Intensität ist, an der Photodiode gemessen. Die Betrachtung der Unsicherheiten, die bei den Materialien auftreten und den Rechnungen auftauchen sind im Anhang 4 aufgeführt.

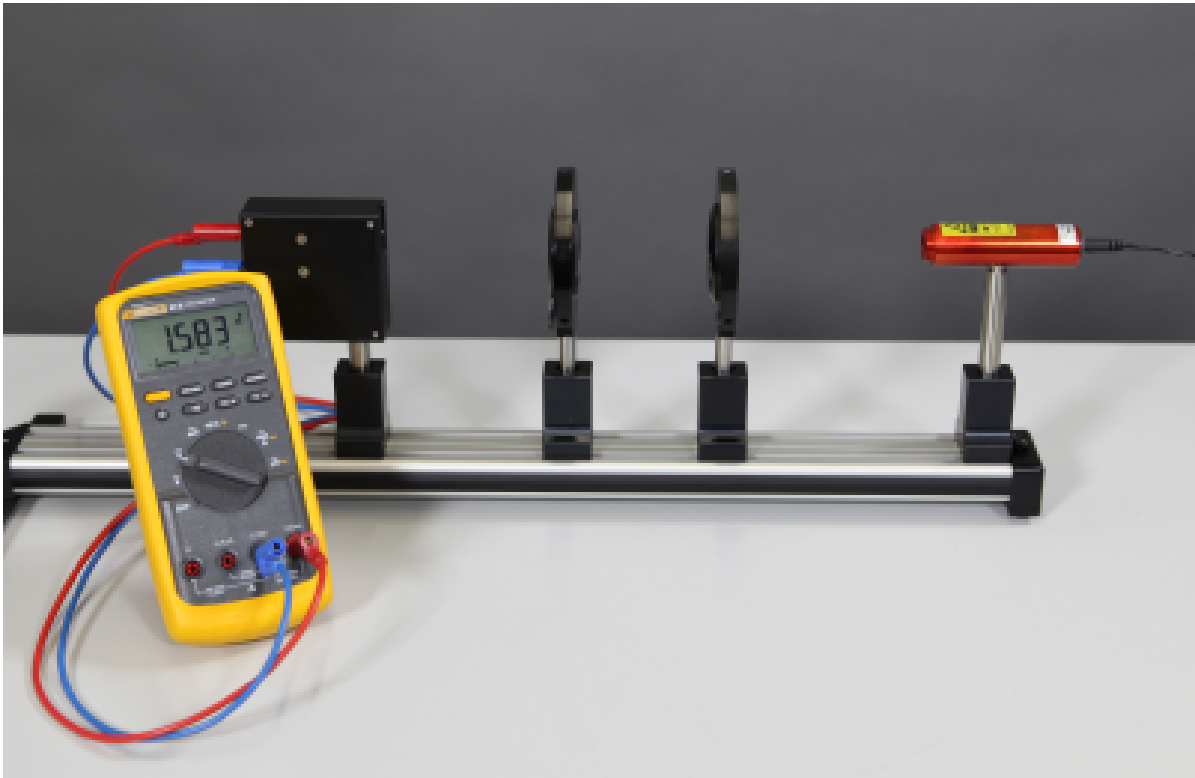
### 2.1.2 Polarisation von Licht

Licht, welches im Wesentlichen eine elektromagnetische Welle mit hoher Frequenz ist, breitet sich als Transversalwelle aus. Das bedeutet, dass der elektrische Feldvektor senkrecht zur Ausbreitungsrichtung schwingt. Polarisation beschreibt die Änderung der Schwingungsrichtung des E-Feldvektors. Bei einem Laser tritt das Licht unpolarisiert, bzw. eigentlich in alle Richtungen polarisiert, aus. Polarisatoren dienen dazu nur in bestimmte Richtungen polarisiertes Licht durchzulassen. Das von ihnen ausgehende Licht wird dann linear polarisiert genannt.

Der Laser und die beiden Polarisatoren werden für alle Teilversuche verwendet.

## 2.2 Teilversuch 1: Gesetz von Malus

### Methoden



**Abbildung 2:** Aufbau des ersten Teilversuches[2]

Der Aufbau des ersten Teilversuches ist in Abb. 2 dargestellt. Zunächst soll jedoch nur einer der Polarisatoren zwischen dem Laser und der Photodiode stehen. Diese soll so gedreht werden, dass die gemessene Spannung maximal ist. Dann soll der zweite Polarisator hinzugefügt werden und ausgehend von dem gleichen Winkel wie bei dem ersten in  $10^\circ$  Schritten bis  $\pm 90^\circ$  von dem Ausgangswinkel die Spannung gemessen werden. Dies dient zu der Überprüfung des Gesetzes von Malus, welches sich wie folgt definiert:

$$I = I_0 \cos^2 \phi. \quad (2.1)$$

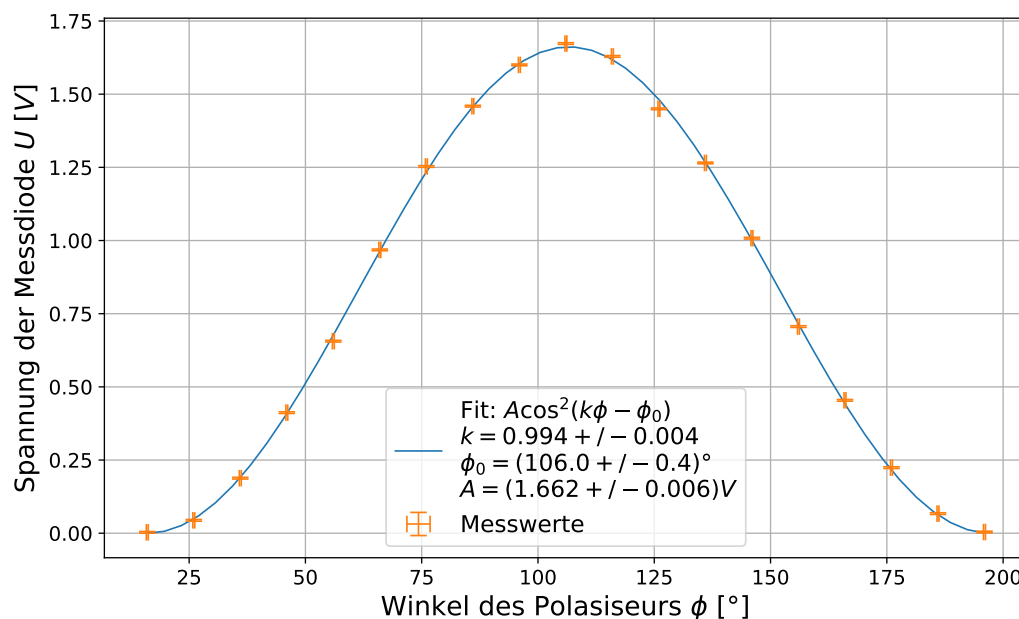
Dabei ist  $I$  die gemessene Intensität,  $I_0$  die Ausgangsintensität und  $\phi$  der Winkel um den der zweite Polarisator gedreht sein soll. Da jedoch Spannung betrachtet werden sollen,

werden statt  $I$  und  $I_0$  gerade  $U$  und  $U_0$  betrachtet, was aufgrund der Proportionalität von  $I$  und  $U$  ebenfalls dem Gesetz von Malus genügen sollte.

### Durchführung

Der Winkel, bei dem die gemessene Spannung bei nur einem Polarisator maximal war, belief sich auf  $\phi_0 = (106,0 \pm 0,4)^\circ$ . So wurden nach dem Einfügen des zweiten Polarisators die Spannungen für die Winkel  $\phi = (16,0 \pm 0,4)^\circ$  bis  $(196,0 \pm 0,4)^\circ$  gemessen. Hierbei ließ sich beobachten, dass ausgehend von  $\phi_0$  bei zunehmendem und abnehmendem Winkel die Intensität kleiner wurde. Zudem wurden die Minima an den beiden Enden der Messungen verzeichnet. Abb. 3 beinhaltet die gemessenen Werte.

### Datenanalyse



**Abbildung 3:** Messpunkte für die Polarisation und  $\cos^2$ -Fit zur Überprüfung des Gesetzes von Malus.

Über die Messpunkte in Abb. 3 wurde zusätzlich ein  $\cos^2$ -Fit gelegt, um die Form des Gesetzes von Malus zu überprüfen. Der Fit verläuft dabei durch jeden Messpunkt

bzw. einer Unsicherheit dieser Punkte. Für  $U_0$  steht an der Stelle in dem Fit  $A = (1,662 \pm 0,006)$  V, für den Ausgangswinkel wie zuvor  $\phi_0 = (106,0 \pm 0,4)^\circ$ . Hinzu kommt der Faktor  $k = 0,994 + -0,004$  vor der Drehung um den Winkel  $\phi$ , da auch ohne Einstrahlung des Laserlichts von außen eine geringfügige Spannung von  $(3,00 \pm 0,21)$  mV durch das Licht in dem Raum aufgenommen wurde.

### **Diskussion**

Nun zu der Überprüfung der Hypothese, dass die Ergebnisse dieses Teilversuches mit dem Gesetz von Malus übereinstimmen. Da die Messpunkte alle auf dem  $\cos^2$ -Fit liegen und die Intensität  $I$  proportional zu der gemessenen Spannung  $U$  ist, lässt sich die Hypothese bestätigen.



## 2.3 Teilversuch 2: $\lambda/2$ -Plättchen

### Methoden



**Abbildung 4:** Aufbau des zweiten Teilversuches[2]

Der Aufbau des zweiten Teilversuches ist in Abb. 4 dargestellt. Dieser Teilversuch verläuft analog zu dem ersten, nur dass hier zusätzlich das  $\lambda/2$ -Plättchen zwischen den beiden Polarisatoren platziert wird.

Beim Eintritt in das Plättchen sind der parallele und der orthogonale Teil des E-Feld Vektors in Phase. Nach dem Durchlaufen des doppelbrechenden Plättchens ( $n_1, n_2$ ) ist aufgrund der unterschiedlichen Laufzeiten der beiden Komponenten eine Phasendifferenz  $\Delta\phi$  zwischen ihnen entstanden.

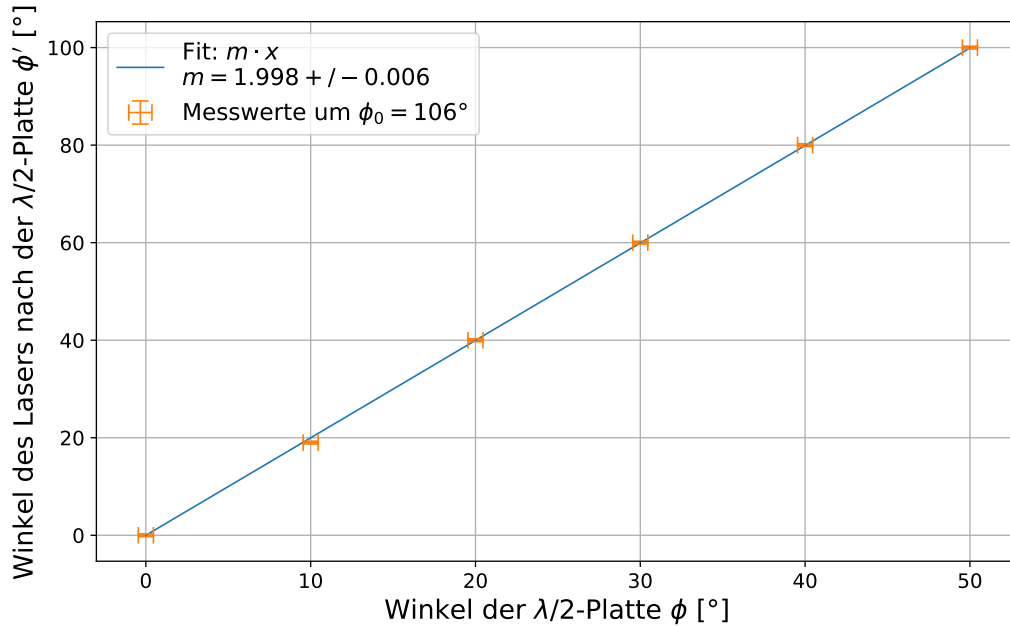
Gilt für die Dicke  $d$  des Plättchens  $d \cdot (n_2 - n_1) = \lambda/2$ , so wird  $\Delta\phi = \pi$  und der E-Feld Vektor dreht sich um den Winkel  $\Delta\alpha = 2\phi$ . Drehen des  $\lambda/2$ -Plättchens um einen Winkel  $\phi$  führt zu einer Drehung der Polarisationssebene um den doppelten Winkel  $2\phi$ .

Für diesen Versuch soll das  $\lambda/2$ -Plättchen gedreht werden und beobachtet werden um welchen Winkel sich das Maximum über Drehung des zweiten Polarisators verschoben hat.

## Durchführung

Wie auch bei dem ersten Teilversuch war die gemessene Spannung für die Polarisatoren bei  $\phi_{0,\text{pol}} = (106,0 \pm 0,4)^\circ$  maximal. Zunächst wurde gesucht, bei welchem Winkel des  $\lambda/2$ -Plättchens das Maximum bei dem hinteren Polarisator gleich bleibt. Dies war bei  $\phi_{0,\lambda/2} = (108,0 \pm 0,8)^\circ$  der Fall. Zur Überprüfung, ob sich der Polarisatorwinkel für das Maximum um das Doppelte des Drehwinkels  $\phi_{\lambda/2}$  verschiebt, wurde letzterer auf  $(152,0 \pm 0,8)^\circ$  gesetzt. Daraufhin ließ sich das Maximum an dem zweiten Polarisator bei  $\phi_{\text{pol}} = (196,0 \pm 0,4)^\circ$  finden. Für  $\Delta\phi_{\lambda/2} = 44^\circ (\approx 45^\circ \text{ in seiner Unsicherheit})$  ändert sich findet an dem Polarisator eine Änderung von  $\Delta\phi_{\text{pol}} = 90^\circ$  statt. Für fünf weitere Winkel  $\phi_{\lambda/2}$ , ausgehend von dem ursprünglichen Maximum in  $10^\circ$  Schritten, wurden die Winkel bei denen Maxima bei dem Polarisator auftraten aufgezeichnet.

## Datenanalyse



**Abbildung 5:** Messpunkte und linearer Fit für das Verhältnis der Winkel  $\phi_{\lambda/2} = \phi$  und  $\phi_{\text{pol}} = \phi'$

Aus den Messpunkten ließ sich das Verhältnis der beiden Winkel  $\phi_{\lambda/2}$  und  $\phi_{pol}$  genauer bestimmen. Da der lineare Faktor zwei zu erwarten war, wurde an dieser Stelle ein linearer Fit verwendet. Abb. 5 stellt diesen Verlauf und die Messpunkte dar. Dabei entsprechen  $\phi = \phi_{\lambda/2}$  und  $\phi' = \phi_{pol}$ . Die Steigung des Fits beträgt  $1,998 \pm 0,006$ , 2 liegt somit innerhalb einer Unsicherheit.

### **Diskussion**

Das Ergebnis dieses Teilversuches, dass das Verhältnis zwischen den Winkeln  $\phi_{\lambda/2}$  und  $\phi_{pol}$  gerade  $1,998 \pm 0,006$  entspricht, deutet auf eine Übereinstimmung mit der Hypothese, dass dieses Verhältnis zwei entspricht, da er sich innerhalb der Unsicherheiten des Ergebnisses befindet.

## 2.4 Teilversuch 3: Brewsterwinkel

### Methoden

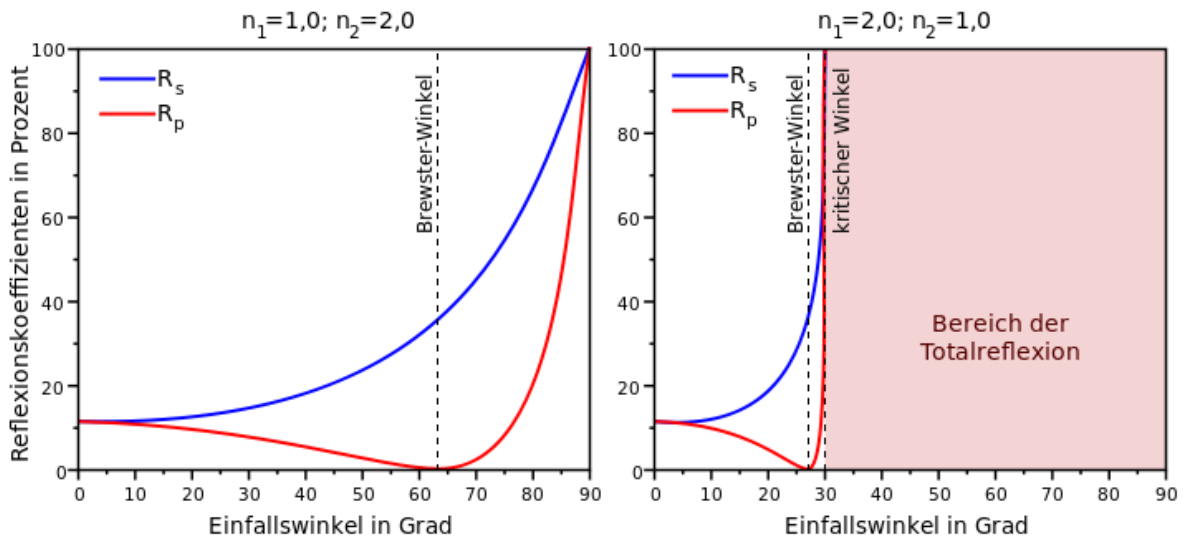


Abbildung 6: Theoretische Kurve des parallel polarisierten Anteils (rot, links) bei  $n_2 = 2$ . [1]

### Durchführung

### Datenanalyse

### Diskussion

## **2.5 Teilversuch 4: Strahlenversatz**

**Methoden**

**Durchführung**

**Datenanalyse**

**Diskussion**

## **2.6 Teilversuch 5: Kristallpolarisation**

**Methoden**

**Durchführung**

**Datenanalyse**

**Diskussion**

## 3 Schlussfolgerung

## 4 Anhang

### 4.1 Unsicherheiten

Jegliche Unsicherheiten werden nach GUM bestimmt und berechnet. Die Gleichungen dazu finden sich in 7 und 8. Für die Unsicherheitsrechnungen wurde die Python Bibliothek „uncertainties“ herangezogen, welche den Richtlinien des GUM folgt. Alle konkreten Unsicherheitsformeln stehen weiter unten. Für Unsicherheiten in graphischen Fits wurden die  $y$ -Unsicherheiten beachtet und die Methode der kleinsten Quadrate angewandt. Dafür steht in der Bibliothek die Methode „`scipy.optimize.curve_fit()`“ zur Verfügung.

Für digitale Messungen wird eine Unsicherheit von  $u(X) = \frac{\Delta X}{2\sqrt{3}}$  angenommen, bei analogen eine von  $u(X) = \frac{\Delta X}{2\sqrt{6}}$ .

**Spannung** Es wird einheitlich im Bereich bis 20 V gemessen. Das Voltmeter hatte eine digitale Anzeigegenauigkeit von  $\Delta U = 0,01$  V.

**Polariseur** Beide Polariseure hatten angegebene analoge Gradstriche mit  $\Delta\phi = 1^\circ$ .

**Standbein** Das Standbein auf welchem der Spiegel gedreht wurde, hatte ebenfalls eine Schrittweite von  $\Delta\Theta = 1^\circ$  und konnte analog abgelesen werden.

**$\lambda/2$ -Platte** Die Winkelmarkierungen auf der  $\lambda/2$ -Platte waren in einem Abstand von  $\Delta\varphi_{\lambda/2} = 2^\circ$  analog abzulesen.

**Brewster-Winkel** Der Reflektionswinkel mit minimalem parallelen Anteil wurde aus der Abb. ?? abgelesen. Dabei kann der Wert auf ein Intervall der Breite  $\Delta\varphi_B = 10^\circ$  abgeschätzt werden. Anhand der theoretischen Vorhersage nach Abb. 6 kann er als analog angesehen werden.

$$x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad u(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(x_i)^2}$$

**Abbildung 7:** Formel für kombinierte Unsicherheiten des selben Typs nach GUM.



$$f = f(x_1, \dots, x_N); \quad u(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

**Abbildung 8:** Formel für sich fortpflanzende Unsicherheiten nach GUM.

$$n = \arctan(\varphi_B); \quad u(n) = \frac{u(\varphi_B)}{1 + \varphi_B^2}$$

**Abbildung 9:** Unsicherheitsformel für den Brechungsindex des Glases.

$$\rho = \frac{U - b}{m}; \quad u(\rho) = \rho \sqrt{\frac{u^2(U) + u^2(b)}{(U - b)^2} + \frac{u^2(m)}{m^2}}$$

**Abbildung 10:** Unsicherheitsformel für die Konzentration der unbekannten Zuckerlösung.  $m, b$  sind dabei die Fitparameter der Geraden aus Abb. ??.

## Literatur

- [1] Cepheiden(<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:Cepheiden>). *Brewster-Winkel*. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Brewster-Winkel#/media/File:Frensel-Reflexionskoeffizienten\\_vs\\_Winkel\\_DE.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Brewster-Winkel#/media/File:Frensel-Reflexionskoeffizienten_vs_Winkel_DE.svg) (besucht am 17.06.2018).
- [2] WWU Münster. *03 - Polarisation*. URL: <https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/course/view.php?id=28561&section=21> (besucht am 18.06.2018).