

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

# **LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK**

Übungsnummer: 12

Übungstitel: 3D Kino/Polarisation (TU)

Betreuer: Matthias Stark

Gruppennummer: 42

Name: Nico Eisner

Name: Philip Waldl

Mat. Nr.: 12214121

Mat. Nr.: 12214120

Datum der Übung: 13.10.2023

WS 2021/2022

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Aufgabenstellung</b>	<b>3</b>
<b>2 Voraussetzungen &amp; Grundlagen</b>	<b>3</b>
<b>3 Versuchsanordnung</b>	<b>4</b>
<b>4 Geräteliste</b>	<b>8</b>
<b>5 Versuchsdurchführung &amp; Messergebnisse</b>	<b>8</b>
<b>6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse</b>	<b>11</b>
<b>7 Diskussion</b>	<b>13</b>
<b>8 Zusammenfassung</b>	<b>14</b>
<b>9 Anhang</b>	<b>15</b>
<b>Literatur</b>	<b>16</b>

## 1 Aufgabenstellung

Das Experiment 3D Kino/Polarisation besteht aus folgenden Aufgaben. Im ersten Teil gilt es das Gesetz von Malus zu beweisen. Die Aufgabe im zweiten Teil ist es, die Konzentration einer Zuckerlösung zu bestimmen. Anschließend wird mithilfe eines Handybildschirmes Spannungs doppelbrechungen beobachtet.

Im Teil 3D Kino wird zuerst die Orientierung der Polarisator Folien einer 3D Brille bestimmt. Anschließend wird eine 3D Projektion mit dem RealD-verfahren erzeugt.

Alle Informationen und Methodiken wurden uns von der Technischen Universität bereitgestellt [2].

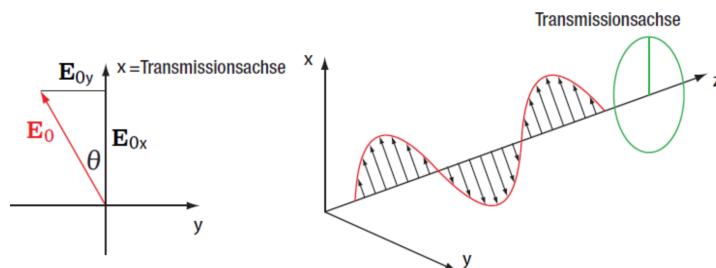
## 2 Voraussetzungen & Grundlagen

Um das Gesetz von Malus zu beweisen, gilt es erst einmal dieses zu kennen.

$$I = I_0 \cos^2(\theta) = |E_0|^2 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

Eine linear polarisierte Lichtwelle trifft auf einen Polarisator. Dabei ändert sich je nach Winkel  $\theta$ , unter dem das Licht auf den Polarisator fällt, die Intensität  $I$ . Dabei ist  $I_0$  die Intensität des Lichtes vor Durchtritt des Polarisators.

Der Vektor wird in seine Komponenten zerlegt und parallel und senkrecht in Durchlassrichtung des Polarisators verschoben.



**Abb. 1:** Aufteilung des Vektors einer linear polarisierten Lichtwelle durch den Polarisator. Entnommen aus Seite 3 Skriptum Polarisation [2]

Um die Konzentration der Zuckerlösung zu berechnen benötigt man die Länge des Zuckergefäßes, sowie den Winkel  $\varphi$ . Die Konzentration  $c$  entspricht der stärke der Zuckerlösung.

$$\varphi = \varphi_0 c L \quad (2)$$

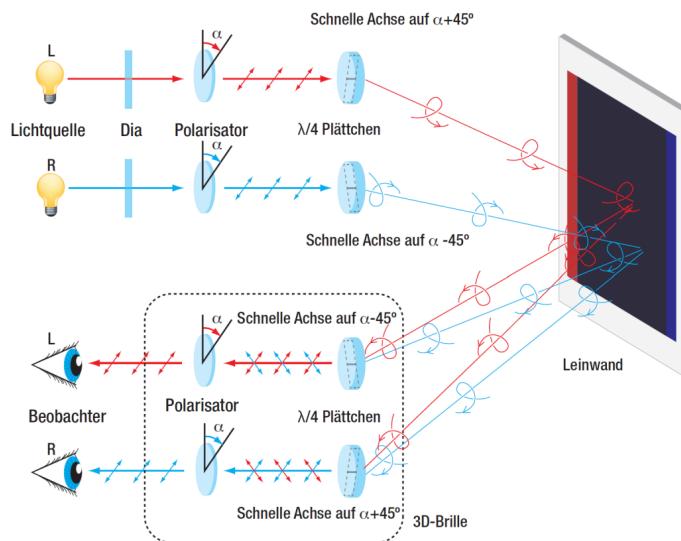
Die Zuckerlösung dreht die Polarisationsrichtung des Lichtes, da die Zuckermoleküle einen Drehsinn zeigen. Daraus folgt, zirkular polarisiertes Licht wird anders transmittiert.

Durch Druck auf isotropische Materialien lässt sich ein Effekt hervorrufen, bei dem Licht je nach Ausbreitungsrichtung unterschiedlich transmittiert wird. Daraus folgen unterschiedliche Brechungsindizes. Übt man Druck auf ein Plastikteil aus, so erkennt man eine unterschiedliche Verspannung im Material, bzw einen unterschiedlichen Brechungsindex.

Durch einen Polarisator kann dieser Effekt sichtbar gemacht werden.

Einen 3D Effekt erzeugt man, indem man aus zwei verschiedenen Perspektiven aufgenommene Bilder überlagert und in die Augen des Betrachters leitet. Dabei ist jedoch wichtig, dass jeweils nur ein Bild in ein Auge fallen darf, um einen Tiefeneindruck zu erschaffen. Das gängigste Verfahren ist das RealD-Verfahren. Hierbei werden vor dem Projektor ein linearer Polarisator und ein  $\lambda/4$  (Lambda viertel) Plättchen gestellt. Mit den richtigen Einstellungen erhält man für die Lichtwege rechtszirkulierte und für den anderen Weg linkszirkulierte Polarisation.

Die 3D-Brille reversiert den Prozess. Dort polarisiert ein  $\lambda/4$  Plättchen das Licht und trifft dann erneut auf einen Polarisator.



**Abb. 2:** Darstellung einer 3D Projektion  
Entnommen aus Seite 5 Skriptum Polarisation [2]

Für die Berechnung des Mittelwertes  $\bar{\varphi}$ , benötigt man die Anzahl der Messversuche  $N$  sowie die einzelnen Winkel  $\varphi$ .

$$\bar{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i \quad (3)$$

Mit dem nun bekannten Mittelwert  $\bar{\varphi}$  lässt sich die Standardabweichung  $\sigma_\varphi$  berechnen.

$$\sigma_\varphi = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\varphi_i - \bar{\varphi})^2} \quad (4)$$

### 3 Versuchsanordnung

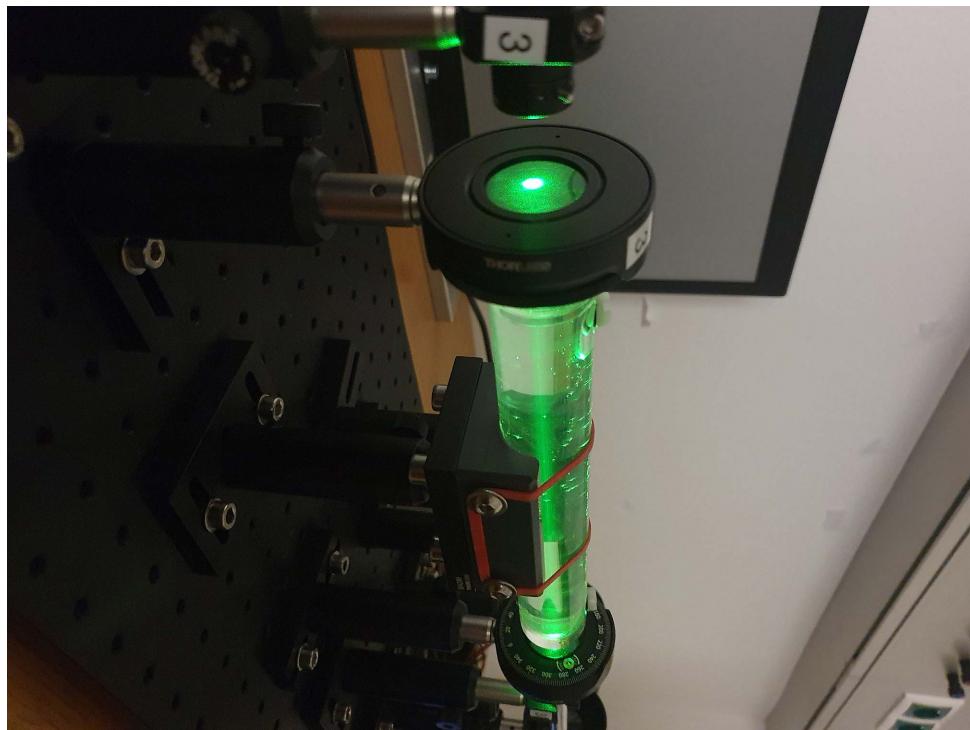
Der Versuch besteht aus verschiedenen Aufbauten. Für den ersten Teil sieht der Versuch wie folgt aus.



**Abb. 3:** Versuchsaufbau für den Beweis des Gesetzes von Malus

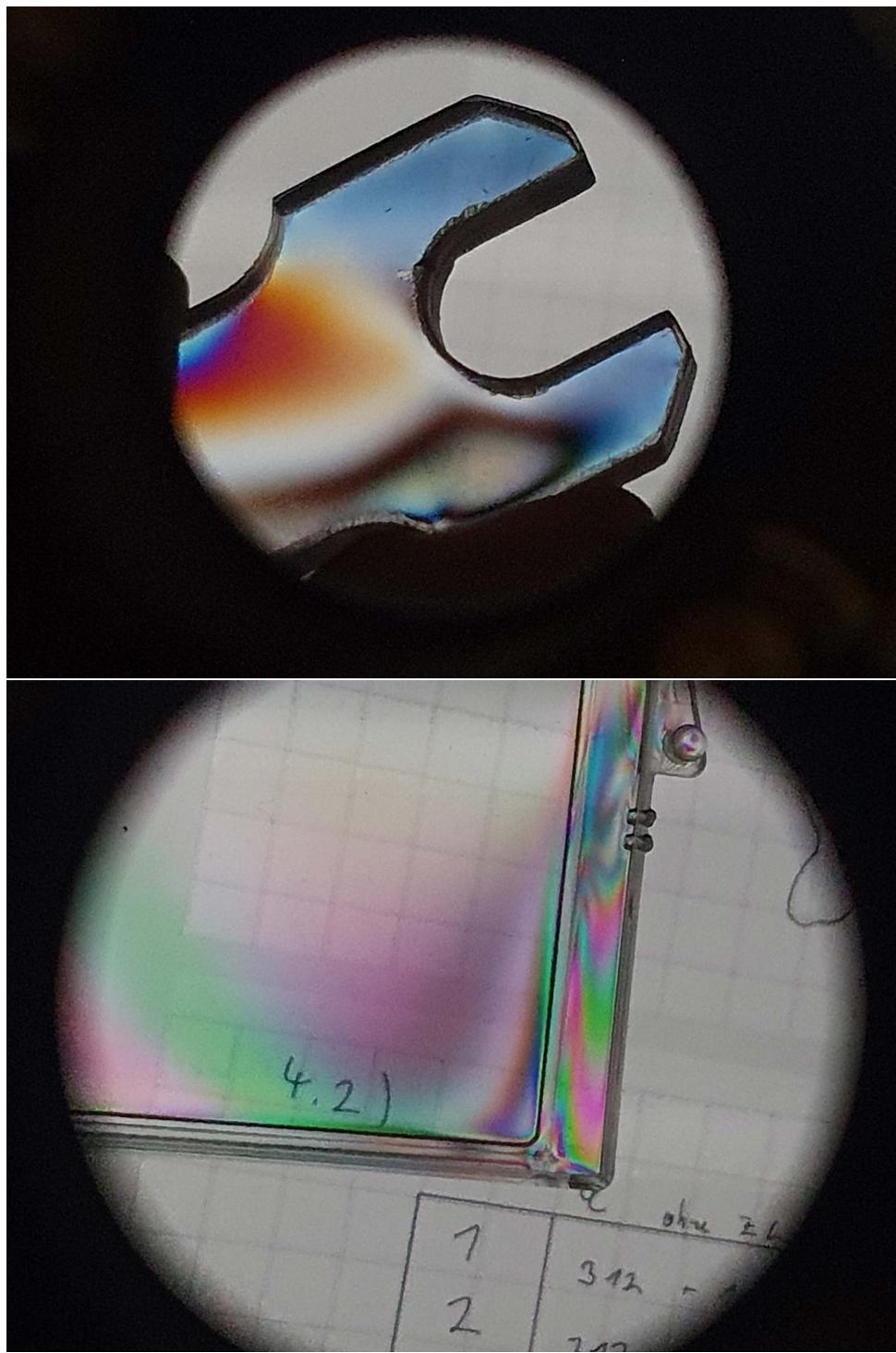
Ein Laser, welcher durch einen Polarisator verläuft, um linear Polarisiertes Licht zu erzeugen, trifft auf einen weiteren Polarisator, welcher immer um  $10^\circ$  gedreht wird. Hinter dem zweiten Polarisator befindet sich ein Photodetektor, welcher mit einem Voltmeter verbunden ist.

Im zweiten Teil wird die Konzentration einer Zuckerlösung ermittelt. Der Aufbau ist in etwa der selbe, nur dass zwischen den Polarisatoren ein Glas-Bassin mit Zuckeraufschwemmung kommt. Der Polarisator wird gedreht, bis kein Licht mehr durchfällt. Anschließend wird der Zuckertank entfernt und der Polarisator wieder soweit gedreht, bis kein Licht mehr durchfällt.



**Abb. 4:** Versuchsaufbau für den Zuckertank

Der dritte Teil besteht aus einem Polarisator, welcher vor einem Handybildschirm steht, da dieser linear polarisiertes Licht aussstrahlt. Dazwischen stellt man verschiedene Objekte, wie zum Beispiel eine Plastikbox. Man erkennt verschiedene Wellenlängen, welche die Spannungen im Material sichtbar machen.



**Abb. 5:** Versuchsaufbau für die Spannungsdoppelbrechungen

Für die Bestimmung der Orientierung der Polarisatior Folien in einer 3D-Brille wird die Brille vor einen Polarisator gestellt. Hinter der Brille ist ein weiterer Polarisator und ein Photodetektor. Durch Messungen am Photodetektor in  $10^\circ$  Schritten wird die Polarisati-

onsachse bestimmt.

Der Versuch ist für jedes Brillenglas einzeln zu machen.



**Abb. 6:** Versuchsaufbau für die 3D-Brille

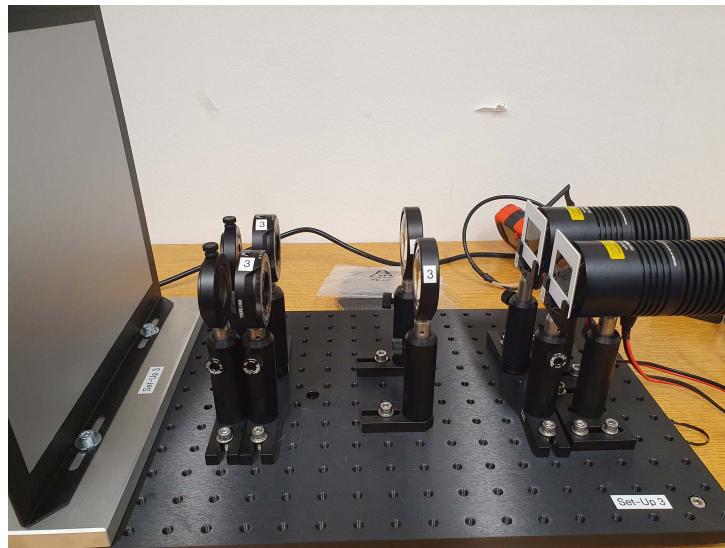
Um nun ein 3D Bild zu erzeugen, benötigt es mehrere Schritte. Im ersten Schritt müssen die Polarisatoren auf die 3D-Brille abgestimmt werden. Hierzu spannt man die Brille vor einen Laser und dreht den Polarisator hinter der Brille bis kein Licht mehr an der Leinwand ankommt. Ist dies der Fall dreht man den Polarisator um  $90^\circ$  weiter. Dies macht man für beide Brillengläser mit unterschiedlichen Polarisatoren.



**Abb. 7:** Versuchsaufbau für das 3D-Kino, einstellen des Polarisators

Für die Projektion stellt man die Dias vor die Lampen. Dahinter stellt man für jede Lampe eine Linse. Das Bild wird scharfgestellt und dann fügt man die Polarisatoren und die  $\lambda/4$  Plättchen hinzu. Die  $\lambda/4$  Plättchen müssen zuvor noch justiert werden. Dazu setzt man die 3D-Brille auf, schließt das linke Auge und schaltet die rechte Lampe aus. Das  $\lambda/4$  Plättchen wird nun soweit gedreht, bis es weitestgehend dunkel ist. Ist dies geschafft wird das zweite  $\lambda/4$  Plättchen für das andere Auge justiert. Dazu schaltet man die rechte Lampe wieder ein und die linke aus. Mit geschlossenen rechten Auge wird nun das  $\lambda/4$  Plättchen wieder soweit gedreht, bis es weitestgehend dunkel ist. Ist alles richtig

aufgebaut, so kann man das Dia mit der 3D-Brille beobachten und es sollte ein 3D-Effekt auftreten.



**Abb. 8:** Versuchsaufbau für das 3D-Kino, Anordnung der Optischen Bauteile

## 4 Geräteliste

**Tab. 1:** Im Versuch verwendete Geräte und Utensilien.

Gerät	Gerätenummer	Unsicherheit
3D-Kino Setup 3	Thorlabs MB3060/M	n.a
Polarisatoren	Thorlabs PSP1D/M	$\pm 5\text{arcmin}$
Laser	Thorlabs CPS532-C2	n.a
Photodetektor	Thorlabs n.a	n.a
Voltmeter	RSPro RS-12	$\pm(0.5\% \text{reading} + 2\text{digits})V$ [1]
Plastikproben	n.a	n.a
3D Brille	RealD	n.a
$\lambda/4$ Plättchen	Thorlabs LM1-BM	n.a
Projektoren	Thorlabs n.a	n.a
Dias	n.a	n.a
Rollmeter	n.a	$\pm 0.3\text{mm}$

## 5 Versuchsdurchführung & Messergebnisse

Für den ersten Teil wurde die Gradzahl des Polarisators auf den höchsten Wert gestellt, welcher in diesen Fall  $240^\circ$  betrug. In  $10^\circ$  Schritten wurden Messwerte aufgezeichnet. Da die Bogenminuten bei der Messung des Maximums auf 0 fielen, wurden sie nicht aufgeschrieben.

**Tab. 2:** Messdaten der Spannung  $U$  des Multimeters.

Dabei ist  $U$  der gemessene Wert und  $\bar{U}$  der Mittelwert, in der Tabelle jeweils das zweite  $U$ , da der Balken kaum sichtbar ist.

Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]	$\bar{U}$ [mV]	Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]	$\bar{U}$ [mV]
0	191 - 174	182,5	180	112 - 97	104,5
10	213 - 199	206,0	190	151 - 132	141,5
20	208 - 219	213,0	200	174 - 155	164,5
30	212 - 224	218,0	210	186 - 169	177,5
40	225 - 214	219,5	220	196 - 181	188,5
50	224 - 213	218,5	230	205 - 190	197,5
60	212 - 198	205,0	240	206 - 192	199,0
70	181 - 197	189,0	250	183 - 198	190,5
80	173 - 153	163,0	260	178 - 160	169,0
90	136 - 117	126,5	270	144 - 125	134,5
100	79 - 67	73,0	280	83 - 97	90,0
110	38 - 32	35,0	290	54 - 46	50,0
120	15 - 12	13,5	300	21 - 18	19,5
130	2 - 1	1,5	310	1 - 2	1,5
140	3 - 2	2,5	320	5 - 4	4,5
150	15 - 18	16,5	330	25 - 29	27,0
160	40 - 47	43,5	340	60 - 70	65,0
170	81 - 71	76,0	350	115 - 134	124,5

Im zweiten Teil wurden die Winkel mit und ohne Zuckerlösung insgesamt fünf mal gemessen. Die Messung erfolgte, wenn kein Licht mehr durch den Polarisator fiel.

Die Länge des Zuckerbassins beträgt  $(21.5 \pm 0.03) \text{ cm}$ , der Winkel  $\varphi_0$  beträgt laut Skriptum  $\varphi_0 = (6.65 \pm 0.05)^\circ$  [2] (Unsicherheit implizit angenommen).

**Tab. 3:** Winkel  $\varphi$  mit und ohne Zuckerlösung

Nr.	Winkel ohne ZL $\varphi$ [°]	U [mv]	Winkel mit ZL $\varphi$ [°]	U [mv]
1	312 + 10	0.5	336 + 35	1.0 - 1.2
2	312 + 30	0.5	334 + 20	0.9 - 1.0
3	312 + 35	0.5	338 + 10	0.8 - 0.7
4	312 + 15	0.5	336 + 35	1.0 - 0.9
5	312 + 15	0.5	336 + 40	1.0 - 0.9

Der dritte Teil erfolgt nur aus Beobachtung. Die Spannung in den Materialien wird nur sichtbar gemacht, nicht berechnet.

Im vierten Teil wird für eine 3D Brille die Polarisation bestimmt. Dabei ist zu beachten, jedes Auge einzeln zu vermessen. Da die Bogenminuten bei der Messung auf 0 fielen, wurden sie nicht aufgeschrieben.

**Tab. 4:** Auge 1 (rechts)

Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]	Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]
0	263	180	260
10	251	190	276
20	216	200	251
30	232	210	236
40	198	220	212
50	105	230	90
60	12	240	19
70	4	250	4
80	72	260	83
90	191	270	191
100	235	280	201
110	267	290	239
120	274	300	270
130	273	310	273
140	281	320	276
150	282	330	278
160	287	340	274
170	278	350	273

**Tab. 5:** Auge 2 (links)

Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]	Winkel $\varphi$ [°]	$U$ [mv]
0	247	180	248
10	228	190	249
20	192	200	243
30	203	210	200
40	151	220	186
50	71	230	67
60	10	240	15
70	1	250	2
80	35	260	36
90	122	270	150
100	202	280	154
110	247	290	198
120	255	300	244
130	256	310	259
140	264	320	253
150	267	330	259
160	272	340	259
170	267	350	257

Der letzte Teil erfolgt erneut nur auf Beobachtung und lokaler Justage.

## 6 Auswertung und Unsicherheitsanalyse

In der Auswertung werden zur erhöhten Genauigkeit durchgehend ungerundete Werte bis zu den Endergebnissen verwendet und nur zur Darstellung gerundet.

Zur Berechnung der Unsicherheiten wird die Größtunsicherheitsmethode verwendet.

Im ersten Teil gilt es das Gesetz von Malus zu beweisen. Aus den Messdaten der Tabelle 2 wird ein Graph erzeugt.

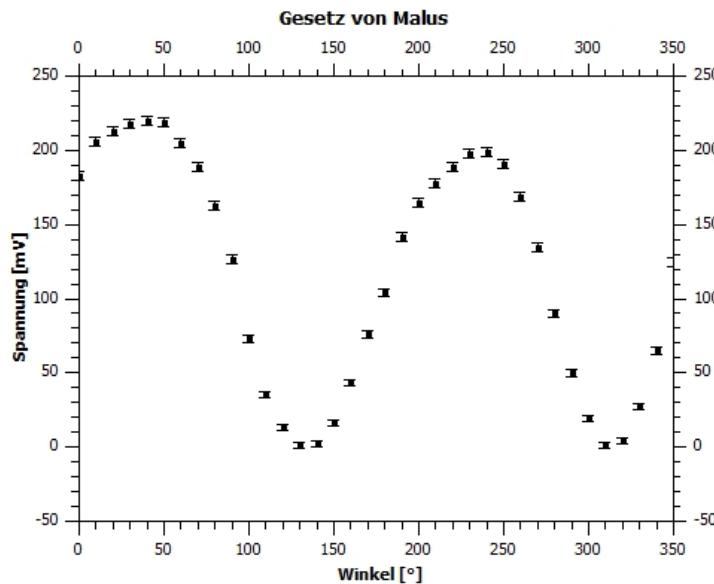


Abb. 9: Gesetz von Malus aus den Messdaten

Wie man erkennen kann, entsteht aus den Messdaten eine  $\cos^2$  Funktion, welche das Gesetz von Malus laut Gleichung 1 beschreibt.

Für die Zuckerlösung wird aus den Messdaten der Tabelle 3 der Mittelwert 3 und die Standardabweichung 4 für den Drehwinkel  $\varphi$  gebildet. Zuvor werden noch die Bogenminuten in Grad mit folgender Formel umgerechnet

$$Grad = \frac{\text{Bogenminuten}}{60} \quad (5)$$

Daraus erfolgt der Mittelwert für den Winkel ohne Zuckerlösung  $\varphi_{ohne} = (312.36)^\circ$  mit der Standardabweichung  $\sigma_{\varphi_{ohne}} = (0.17)^\circ$ . Für die Winkel mit Zuckerlösung erhält man den Mittelwert  $\varphi_{mit} = (336.48)^\circ$  mit der Standardabweichung  $\sigma_{\varphi_{mit}} = (1.23)^\circ$ .

Formt man die Gleichung 2 auf die Konzentration  $c$  um, so erhält man die Gleichung

$$c = \frac{\varphi}{\varphi_0 L} \quad (6)$$

wobei  $\varphi$  die Differenz der beiden Mittelwerte darstellt. Die Unsicherheit wird mit der Formel

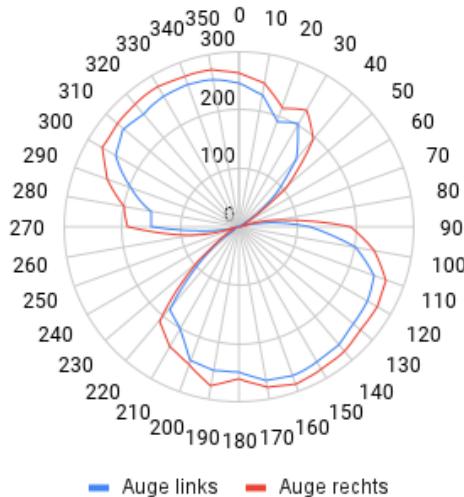
$$\Delta c = \left| \frac{\partial c}{\partial \varphi} * \Delta \varphi \right| + \left| \frac{\partial c}{\partial \varphi_0} * \Delta \varphi_0 \right| + \left| \frac{\partial c}{\partial L} * \Delta L \right| \quad (7)$$

berechnet, und man erhält für die Konzentration  $c = (0.169 \pm 0.003) \text{ cm}^{-1}$

Die Auswertung des dritten Teils erfolgt nur auf Beobachtung. Wie man in den Bildern 5 sehen kann, wird das Material verfärbt. Beim Schraubenschlüssel wird aktiv Druck ausgeübt, was eine Verspannung im Material hervorruft, und dies dann durch den Polarisator sichtbar ist. Bei der Plastikbox entsteht eine Spannung im Material um die Eckpunkte. Besonders in der Ecke lässt sich eine hohe Verspannung beobachten.

Für die Orientierung der Polarisator Folien der 3D Brille werden die Messdaten aus Tabelle 5 und Tabelle 4 in ein Polardiagramm aufgetragen. Alternativ lässt sich die Orientierung auch berechnen. Aus den Messdaten aus den zuvor genannten Tabellen kann man erkennen, dass bei  $70^\circ$  bzw.  $250^\circ$  die geringste Transmission vorherrscht. Dieser Winkel um  $90^\circ$  verschoben ist dann die Polarisationsachse. Die Polarisationsachse wäre dann laut Berechnung bei  $160^\circ$  bzw  $340^\circ$  mit den entsprechenden Unsicherheiten laut Geräteliste. Diese Berechnung stimmt mit dem Diagramm überein.

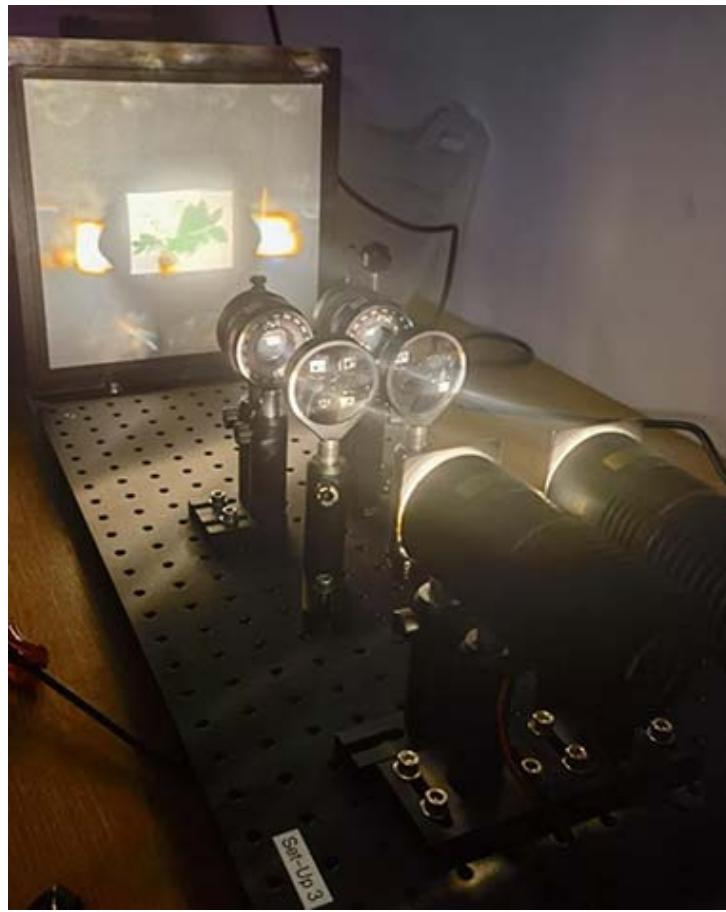
Polardiagramm 3D Brille beide Augen



**Abb. 10:** Polardiagramm für beide Augen. Der rote Graph representiert das rechte Auge und der blaue Graph das linke Auge

Wie man in diesen Graphen sehen kann, weisen beide Brillengläser die gleiche Polarisationsachse von  $(160 \pm 0.09)^\circ$  und  $(340 \pm 0.09)^\circ$  vor.

Für den letzten Teil erfolgt der Aufbau laut Abbildung 8. Zuvor werden noch die Polarisatoren auf die Polarisationsachse laut Abbildung 10 gedreht. Mit dem fertigen Aufbau kann man durch die 3D Brille ein 3D Bild erkennen.



**Abb. 11:** Finale 3D Projektion mit 3D Bild

## 7 Diskussion

Polarisation ist ein wichtiger bestandteil der Optik.

Die bestimmung der Zuckerkonzentration in einer Flüssigkeit ist ein wichtiger Teil der Industrie. Es haben sich viele verfahren dazu etabliert, unter anderem auch das im Experiment verwendete Verfahren der Saccharimetrie. Dadurch dass Zuckerkristalle die Polarisierung in unterschiedliche Richtungen drehen, kann auch die Art des Zuckers bestimmt werden. In Indructiellen Anwendungen ist jedoch kein Laser im einsatz, sondern eine Natrium Lampe, bzw. die gelbe Wellenlänge  $\lambda = 589nm$  bei Raumtemperatur [3].

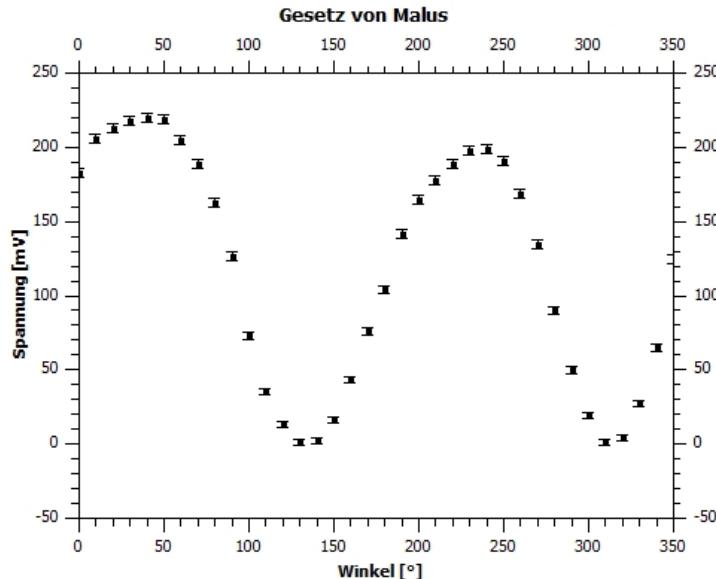
Früher kannte man 3D Filme noch mit Roter und Blauer Folie. Das Prinzip ist dabei so ähnlich. Ein Bild wird überlagert projiziert, einmal in Rot und einmal in Blau. Durch die 3D Brille wird jeweils für ein Auge eine Farbe blockiert. Das Gehirn erschafft somit einen 3D-Effekt. Solch Bilder kann man auch zuhause nachmachen. Man nimmt seine Kamera und nimmt ein Bild des Objektes auf. Mit einen kurzen Schritt nach rechts wird das Bild erneut aufgenommen. Wichtig ist jedoch die Kamera darf nicht geneigt werden und muss auf selber Höhe sein. In Photoshop werden die Bilder übereinandergelegt und das eine in eine Rot und das andere in eine Cyan Ebene konvertiert.

In modernen Kinos wird dieses Verfahren nicht mehr verwendet. Heutzutage erfolgt die 3D Projektion durch zirkular polarisiertes Licht, wie in diesen Experiment gezeigt wird.

## 8 Zusammenfassung

Hier noch einmal die gesuchten Größen der Aufgabenstellung zusammengefasst.

Gesetz von Malus

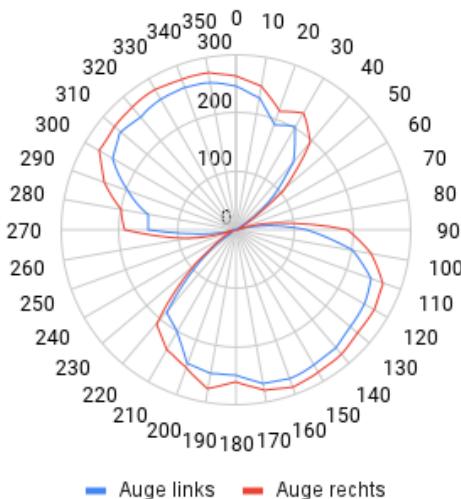


**Abb. 12:** Gesetz von Malus aus den Messdaten

Konzentration der Zuckerlösung  $c = (0.169 \pm 0.003) \text{ cm}^{-1}$

Polarisationsachse der 3D Brille

Polardiagramm 3D Brille beide Augen



**Abb. 13:** Polardiagramm für beide Augen. Der rote Graph representiert das rechte Auge und der blaue Graph das linke Auge. Die Polarisationsachse befindet sich bei  $(160 \pm 0.09)^\circ$  und  $(340 \pm 0.09)^\circ$

3D Projektion

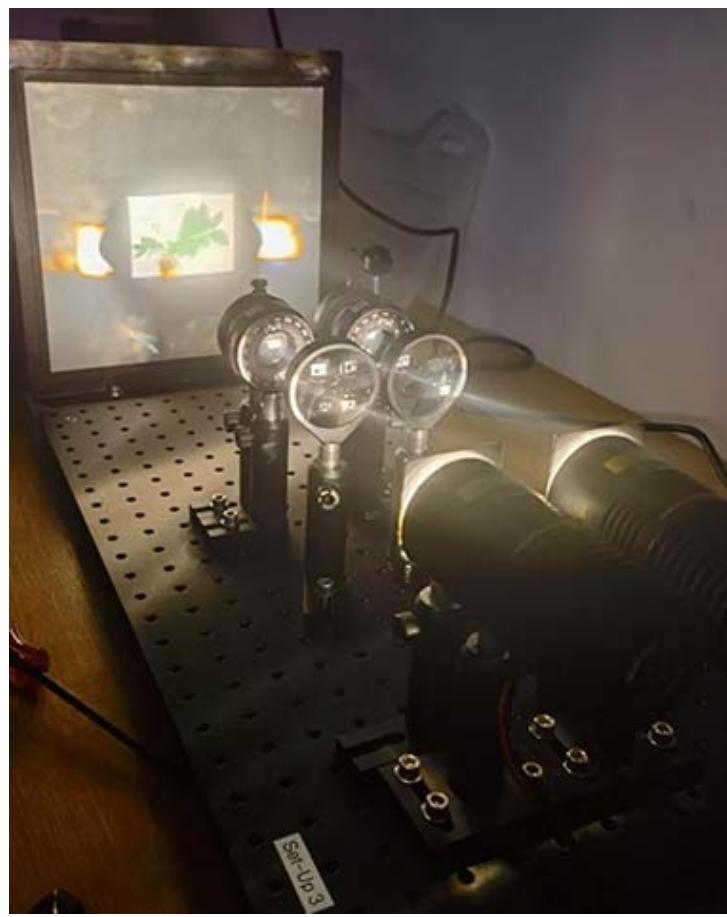


Abb. 14: Finale 3D Projektion mit 3D Bild

## 9 Anhang

Berechnung der Unsicherheit

Unsicherheit  $c$

$$\Delta \varphi = 5 \text{ Gradmax} = 0,09^\circ$$
$$\Delta \varphi_0 = 0,05^\circ$$
$$\Delta L = 0,03 \text{ cm}$$
$$\Delta c = \left| \frac{\partial}{\partial \varphi} \varphi_0 \right| + \left| \frac{\partial}{\partial \varphi_0} \varphi_0 \right| + \left| \frac{\partial}{\partial L} \Delta L \right|$$
$$= \left| \frac{1}{\varphi_0 L} \cdot 0,09 \right| + \left| \frac{-\varphi}{\varphi_0^2 \cdot L} \cdot 0,05 \right| + \left| \frac{-\varphi}{L^2 \cdot \varphi_0} \cdot 0,03 \right|$$
$$= 0,002933 = 0,003$$

Abb. 15: Unsicherheitsberechnung der Zuckerkonzentration  $c$

## Literatur

- [1] RSPro. *Datasheet RS-12*. (besucht am 21.10.2023). URL: <https://docs.rs-online.com/3261/0900766b8154fa48.pdf>.
- [2] TU Graz TeachCenter. "Laborübungen 2: Elektrizität, Magnetismus, Optik". Kurs: *PHYD30UF*. (besucht am 21.10.2023). URL: <https://tc.tugraz.at/main/course/view.php?id=796>.
- [3] Wikipedia. *Saccharimetrie*. (besucht am 21.10.2023). URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Saccharimetrie>.