

UNIVERSITÄT REGENSBURG

ANFÄNGERPRAKTIKUM B

## Versuch: Polarisation des Lichts (po)

*Fabian Tanzer*

12. Januar 2021

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
<b>2 Fragen und Antworten</b>	<b>2</b>
2.1 Voraussetzungen Maxwell Gleichungen . . . . .	2
2.2 Bedingungen ebene Welle . . . . .	2
2.3 Elektromagnetische Wellen - Transversalwellen . . . . .	3
2.4 Unpolarisiertes natürliches Licht . . . . .	4
2.5 Polarisationszustände . . . . .	4
2.6 Linearpolarisator vs. Verzögerungsplatte . . . . .	4
2.7 Eigenschaften optischer Bauteile . . . . .	4
2.8 Dicke der Verzögerungsplatten . . . . .	6
2.9 Isotrop vs. Anisotrop . . . . .	6
2.10 Berechnungen zu $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen . . . . .	7
2.11 Zwei Polarisatoren . . . . .	7
2.12 Optische Aktivität . . . . .	8
2.13 Nicol'sches Prisma . . . . .	8
2.14 Spannungsdoppelbrechung . . . . .	8
2.15 Erzeugung und Nachweis eines bestimmten Polarisationstyps . . . . .	9
<b>3 Durchführung</b>	<b>10</b>
3.1 Doppelbrechung . . . . .	10
3.2 Gesetz von Malus . . . . .	10
3.3 $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen . . . . .	12
3.4 $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen . . . . .	14
3.5 selbstgebaut . . . . .	15
3.6 Beobachtungen . . . . .	16
<b>4 Fazit</b>	<b>17</b>

# 1 Einleitung

Man spricht von polarisierten Wellen, falls der Feldvektor  $\vec{E}$  einer elektromagnetischen Welle eine wohldefinierte Richtung gegenüber dem Wellenvektor  $\vec{k}$  besitzt. Diesen Zustand kann das menschliche Auge jedoch nicht wahrnehmen. In diesem Versuch sollen die Überlegungen nachvollzogen werden, die auf die Formulierung des Ladungsquants führen und die Bewegung von geladenen Teilchen in homogenen Feldern formuliert werden. Außerdem sollen Begriffe aus der Hydrodynamik, wie die Zähigkeit oder das Stokes'sche Gesetz kennengelernt werden und das Zusammenwirken von elektrischen und mechanischen Kräften verstanden werden. Es soll auch anhand eines einfachen Experiments nachvollzogen werden, wie früher Naturkonstanten ermittelt wurden und dabei die Messfehlertoleranzen, sowie Verbesserungen, mit denen man eine Präzisionsmessung machen könnte, klar gemacht werden. Es werden also nochmal grundlegende Versuche zu Experimentalphysik 3 - Optik durchgeführt und dabei auch nochmal die Wellen Thematik durchgegangen.

## 2 Fragen und Antworten

### 2.1 Voraussetzungen Maxwell Gleichungen

Sind folgende Voraussetzungen erfüllt:

- Ladungsfreie Materialien ( $\rho = 0$ )
- Stromfreie Materialien ( $\vec{j} = 0$ )
- Das Dielektrikum ist isotrop und homogen
- Verluste, wie Absorption, sind vernachlässigbar

so gelten folgende Maxwellschen Gleichungen:

$$\nabla \cdot \vec{E} = 0 \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \vec{B} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (3)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (4)$$

### 2.2 Bedingungen ebene Welle

Formt man die Maxwellschen Gleichungen um, so kommt man auf die Wellengleichungen für elektromagnetische Wellen:

$$\Delta \vec{E} - \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} \quad (5)$$

$$\Delta \vec{B} - \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} \quad (6)$$

Für das elektrische und magnetische Feld einer ebenen, harmonischen Welle, die sich in z-Richtung ausbreitet, gilt:

$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (7)$$

$$\vec{B}(z, t) = \vec{B}_0 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (8)$$

Betrachten wir im Folgenden nur das elektrische Feld:

$$\Delta \vec{E} = -\vec{E}_0 k^2 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (9)$$

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = -\vec{E}_0 \omega^2 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (10)$$

Einsetzen in die Wellengleichung liefert:

$$-\vec{E}_0 k^2 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) = -\vec{E}_0 \omega^2 \cos(\omega t - kz + \varphi_0) \quad (11)$$

$$\Leftrightarrow \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r = \frac{1}{c^2} k^2 = \mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r \omega^2 \quad (12)$$

$$\Leftrightarrow k^2 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad (13)$$

$$\Leftrightarrow k = \frac{\omega}{c} \quad (14)$$

Die letzte Gleichung wird auch als Dispersionsrelation bezeichnet, da sie den Zusammenhang zwischen Wellenzahl und Frequenz beschreibt.

Zusammenfassend kann man also sagen, dass ebene Wellen Lösungen der Maxwellschen Gleichungen sind, falls:

- Die Dispersionsrelation  $k = \frac{\omega}{c}$  gilt
- Die gesamte Betrachtung in einem nicht-magnetischen Dielektrikum stattfindet
- Die Amplituden der elektrischen Feldstärke  $\vec{E}$  und der magnetischen Flussdichte  $\vec{B}$  konstant sind
- Die Ausbreitungsrichtung parallel zum Wellenvektor  $\vec{k}$  ist
- Die Ausbreitungsgeschwindigkeit ist gleich der Gruppengeschwindigkeit:

$$v_{gr} = c = \frac{1}{\mu_0 \mu_r \epsilon_0 \epsilon_r} \quad (15)$$

### 2.3 Elektromagnetische Wellen - Transversalwellen

Für das elektrische Feld einer ebenen, harmonischen Welle gilt allgemein:

$$\vec{E}(\vec{r}, t) = \vec{E}_0 \cos(\vec{E} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_0) \quad (16)$$

Dann:

$$\nabla \cdot \vec{E} = -\vec{E} \cdot \vec{k} \sin(\vec{E} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_0) \quad (17)$$

Und damit die Maxwellsche Gleichung (1) für alle Zeiten t erfüllt ist, muss gelten:

$$\vec{E} \cdot \vec{k} = 0 \Rightarrow \vec{E} \perp \vec{k} \quad (18)$$

Führt man das ganze noch für das magnetische Feld einer ebenen, harmonischen Welle

$$\vec{B}(\vec{r}, t) = \vec{B}_0 \cos(\vec{B} \cdot \vec{r} - \omega t + \varphi_0) \quad (19)$$

durch, so gilt:

$$\vec{B} \perp \vec{k} \quad (20)$$

Damit ist gezeigt, dass elektromagnetische Wellen Transversalwellen sind.

## 2.4 Unpolarisiertes natürliches Licht

Licht wird als Photon mit einen Drehimpuls von  $\pm \frac{\hbar}{2\pi} = \pm \hbar$  erzeugt. Ein einzelnes Photon ist also polarisiert. Für Licht (sehr viele Photonen) misst man allerdings die statistische Verteilung über alle Phasen. Die Summe der Photonen hat also keine feste Schwingungsebene mehr und somit bekommt man dann unpolarisiertes Licht.

## 2.5 Polarisationszustände

Man kann eine beliebige ebene Welle schreiben als:

$$\vec{E} = \vec{E}_x + \vec{E}_y \quad (21)$$

$$= E_{x0} \cos(\omega t - kz) + E_{y0} \cos(\omega t - kz + \psi) \quad (22)$$

Daraus ergeben sich folgende mögliche Polarisationszustände ( $n \in \mathbb{N}$ ):

- linear polarisiert:  $E_{x0} = E_{y0}$  und  $\psi = n\pi$
- zirkular polarisiert:  $E_{x0} = E_{y0}$  und  $\psi = (n + \frac{1}{2})\pi$
- elliptisch zirkular: sonst

Folgende Abbildung veranschaulicht, wie sich die jeweiligen Polarisationszustände zusammensetzen.

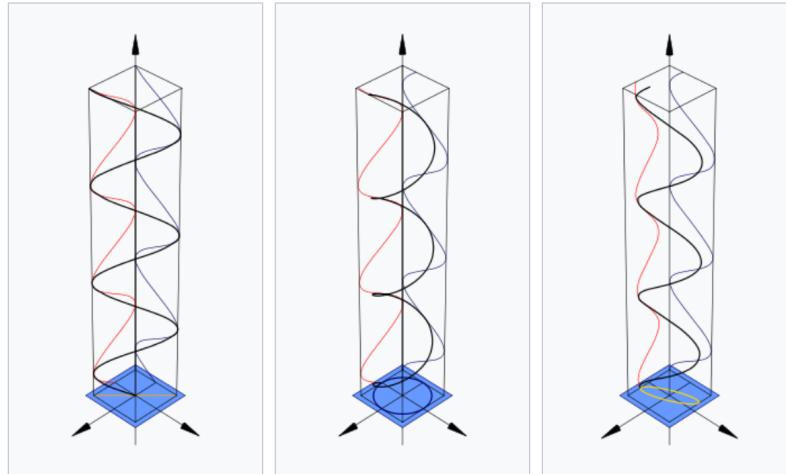


Abb. 1: Zusammensetzung einer linear, zirkular bzw. elliptisch polarisierten Welle (schwarz) aus linear polarisierten Komponenten (rot und blau) [5]

## 2.6 Linearpolarisator vs. Verzögerungsplatte

Da ein Linearpolarisator Lichtwellen mit unpassender Polarisation eliminiert, sinkt die Intensität nach dem Transmittieren des Linearpolarisators.

Eine Verzögerungsplatte verschiebt die Phase einer Komponente der Welle gegenüber der anderen. Somit bleibt die Intensität der Welle nach dem Transmittieren gleich.

## 2.7 Eigenschaften optischer Bauteile

Ein Polarisator filtert aus elektromagnetischen Wellen mit einer bestimmten Polarisation andere elektromagnetische Wellen heraus. Dies geschieht durch richtungsselektive Absorption (Dichroismus), Reflexion, Streuung, Doppelbrechung oder optischer Aktivität. Linearpolarisatoren erzeugen

linear polarisierte elektromagnetische Wellen. Anhand des Malus'schen Gesetzes

$$I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta) \quad (23)$$

erkennt man, dass die Anteile elektromagnetischer Wellen, bei denen die Durchlassrichtung senkrecht zur Polarisationsebene des einfallenden Lichts steht, eliminiert werden.

Sowohl  $\frac{\lambda}{4}$  als auch  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen beruhen auf dem Prinzip der Doppelbrechung<sup>1</sup>. Durch die aufgespalteten Strahlen kommt es zu einem Laufzeitunterschied. Dieser führt zu einer Phasendifferenz. Ein  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen verzögert also die Feldkomponente, die parallel zur optischen Achse schwingt um  $\frac{\lambda}{2}$  gegenüber der dazu senkrecht schwingenden Feldkomponente. Somit wird also die Schwingungsebene der gesamten Welle gedreht:

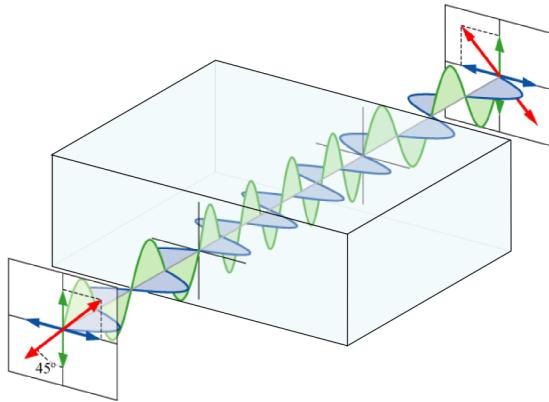


Abb. 2: Funktionsweise eines  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchens [6]

Ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen verzögert eine Komponente um  $\frac{\lambda}{4}$ . Somit entsteht aus einer linear polarisierten Welle eine zirkular polarisierte Welle und andersrum:

---

<sup>1</sup>Doppelbrechung tritt meist bei optisch anisotropen Materialien auf

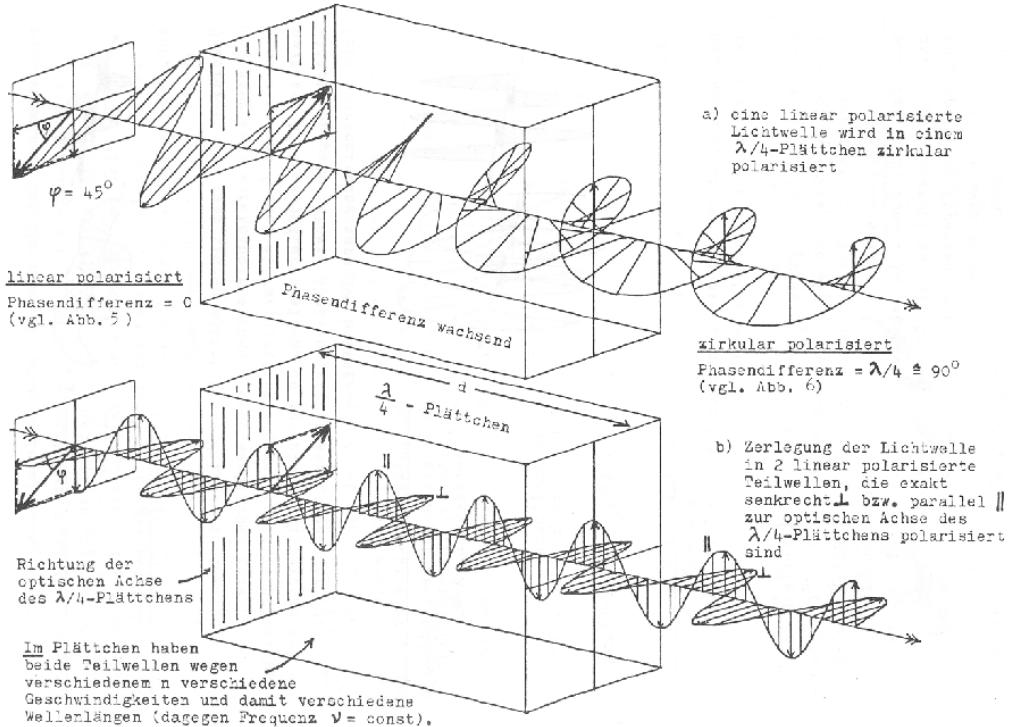


Abb. 3: Funktionsweise eines  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchens [6]

## 2.8 Dicke der Verzögerungsplatten

Bei dieser Aufgabe soll berechnet werden, wie dick ein  $\frac{\lambda}{4}$  als auch  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen sein muss, wenn die Wellenlänge des einfallenden Lichtes 589 nm ist. Laut Skript gilt für die Brechungsindizes von Glimmer:  $n_\gamma = 1,5993$ ,  $n_\beta = 1,5944$ . Durch Umformung von Skript (pl.14) ergibt sich die Formel für die Dicke:

$$\Delta\phi = d(n_\gamma - n_\beta) \Leftrightarrow d = \frac{\Delta\phi}{n_\gamma - n_\beta} \quad (24)$$

Also:

$$d_{\frac{\lambda}{4}} \approx 3,005 \cdot 10^{-5} m \quad (25)$$

$$d_{\frac{\lambda}{2}} \approx 6,010 \cdot 10^{-5} m \quad (26)$$

## 2.9 Isotrop vs. Anisotrop

Bei optisch isotropen Medien steht das elektrische Feld  $\vec{E}$  senkrecht zum Wellenvektor  $\vec{k}$ . Somit ist also bereits eine Ebene festgelegt, in der das  $\vec{E}$ -Feld schwingen kann [3]. Außerdem haben isotrope Medien einen Richtungsunabhängigen Brechungsindex. „Isotropie kommt in erster Linie in Gasen, Flüssigkeiten und amorphen Festkörper vor“[1]. Konkrete Beispiele sind Glas und Kristalle mit kubischer Gitterstruktur. Geht Licht durch optisch anisotrope Materie, so ändert sich i. A. sein Polarisationszustand. Bei anisotropen Medien wird nochmal zwischen ein- (z. B. Kalkspat und Quarz) und zweiachsig unterschieden. Anisotropie führt zu einem richtungsabhängigen Brechungsindex (ordentlicher Brechungsindex  $n_o$  und außerordentlicher Brechungsindex  $n_e$ ), was zur

Doppelbrechung führt. Zudem haben die Atome eine bevorzugte Schwingungsrichtung. Es wird also eine optische Achse<sup>2</sup>.



Abb. 4: Doppelbrechung an einem Calcitkristall [8]

## 2.10 Berechnungen zu $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen

Auf ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen fällt Licht einer Natriumlampe mit  $\lambda = 589 \text{ nm}$ . Laut einer Formelsammlung gilt für die Brechungsindizes von Quarz bei einer Wellenlänge von  $\lambda = 590 \text{ nm}$ :  $n_o = 1,544$ ,  $n_e = 1,553$ . Damit gilt:

$$d = \frac{\Delta\phi}{n_\gamma - n_\beta} \approx 1,636 \cdot 10^{-5} \text{ m} \quad (27)$$

Für die Frequenz gilt:

$$f = \frac{c}{\lambda} \approx 5,09 \cdot 10^{14} \text{ Hz} \quad (28)$$

Für die Wellenlänge gilt:

$$c_n = \frac{c_0}{n} = \frac{\lambda_0 f}{n} \quad (29)$$

$$c_n = \frac{\lambda_n}{f} \quad (30)$$

$$\Rightarrow \lambda_n = \frac{\lambda_0}{n} \quad (31)$$

Einsetzen der Brechungsindizes liefert:

$$\lambda_o = 3,81 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad (32)$$

$$\lambda_e = 3,79 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad (33)$$

Der ordentliche Strahl schwingt parallel zur optischen Achse, der außerordentliche senkrecht.

## 2.11 Zwei Polarisatoren

Die Durchlassrichtung von zwei hintereinander stehenden, idealen Polarisatoren sind um den Winkel  $\alpha_1 = 30^\circ$  gegeneinander verdreht. Auf die Anordnung fällt Licht, dessen Schwingungsrichtung den Winkel  $\alpha_2 = 15^\circ$  zur Durchlassrichtung des ersten Polarisators bildet. Wie groß ist der Transmissionsgrad dieser Anordnung? Mit dem Malus'schen Gesetz folgt:

$$I_1 = I_0 \cos^2(\alpha_1) \quad (34)$$

$$I_2 = I_1 \cos^2(\alpha_2) \quad (35)$$

$$\Rightarrow I_2 = I_0 \cos^2(\alpha_1) \cos^2(\alpha_2) \approx 0,70 I_0 \quad (36)$$

<sup>2</sup>Entlang der o. A. (optische Achse) erfährt jede Polarisationskomponente eines Lichtstrahls den gleichen Brechungsindex.

## 2.12 Optische Aktivität

Unter optischer Aktivität versteht man die Fähigkeit einer Verbindung, die Ebene linear polarisierten Lichts um einen bestimmten Winkel  $\alpha$  zu drehen [3]. Sie tritt bei anisotropen Medien sowie makroskopisch isotropen Medien (z. B. Flüssigkeiten) auf. Optisch aktive Medien drehen also die Schwingungsebene von linear polarisiertem Licht um den Winkel

$$\alpha = [\alpha]cd \quad (37)$$

wobei folgende Größen verwendet wurden:

$[\alpha]$ : spezifische Drehung (der auf eine bestimmte Konzentration  $c$  und Schichtdicke  $d$  bezogene Drehwert; Materialkonstante)

$c$ : Konzentration

$d$ : Schichtdicke des durchlaufenen Mediums

Lässt man die Absorption der Strahlung durch die optisch aktive Substanz außer Betracht, so ändert sich die Intensität des transmittierenden Lichts nicht.

Oft benutzt man die optische Aktivität zur Bestimmung der Konzentration von Zuckerlösungen. „Auch Zuckermoleküle können rechts oder linksdrehend sein. Eine 50%ige Mischung beider heißt 'raze-misch'“[7].

## 2.13 Nicol'sches Prisma

Ein Nicol'sches Prisma besteht aus zwei doppelbrechenden Kalkspat-Prismen:

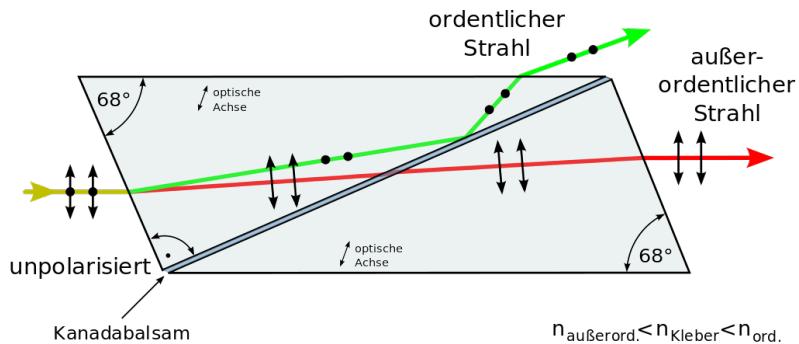


Abb. 5: Strahlverlauf im Nicolschen Prisma; optische Achse liegt in Zeichnungsebene; außerordentliche Strahl hat Polarisationsrichtung parallel zur o. A.; ordentliche Strahl hat Polarisierung senkrecht dazu [4]

Dringt unpolarisiertes Licht in den ersten Kalkspat ein, so wird es in ordentlichen und außerordentlichen Strahl zerlegt. Diese sind jeweils senkrecht zueinander polarisiert. Der außerordentliche Strahl wird „normal“ (also nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz) an den Kanten gebrochen. Dahingegen wird der ordentliche Strahl beim Eintritt in den ersten Kalkspat abgelenkt, sodass er unter einem so flachen Winkel auf den zweiten Kalkspat trifft, dass er eine Totalreflexion erfährt und somit den ersten Kalkspat wieder verlässt.

## 2.14 Spannungs-doppelbrechung

Ein isotropes Medium kann durch von außen angelegte mechanische Spannung so deformiert werden, dass sich Doppelbrechung beobachten lässt:

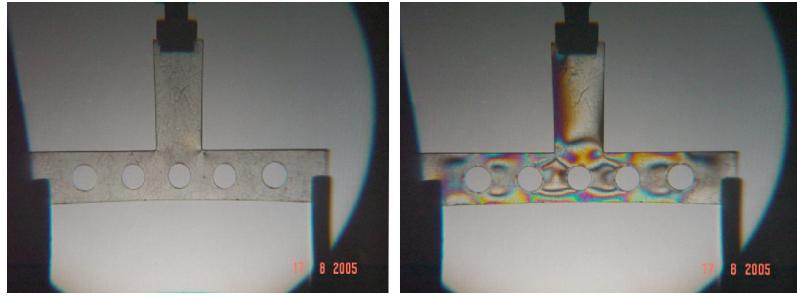


Abb. 6: links: T-Stück mit Löcher (undeformiert), rechts: T-Stück mit Löcher (deformiert) [2]

Dieses Phänomen wird als Spannungsdoppelbrechung bezeichnet.

## 2.15 Erzeugung und Nachweis eines bestimmten Polarisationstyps

### Linear polarisiertes Licht:

Kann durch Linearpolarisatoren (muss dann in entsprechenden Winkel gedreht werden) oder Ni-colsches Prisma erzeugt werden.

Der Nachweis erfolgt durch Hintereinanderschaltung von zwei Linearpolarisatoren, die gegeneinander um  $90^\circ$  gedreht sind. Dadurch wird nach dem Malus'schen Gesetz das linear polarisierte Licht komplett absorbiert und ist somit hinter dem zweiten Linearpolarisator nicht mehr nachweisbar:

$$I_2 = I_1 \cos^2(90^\circ) = 0 \quad (38)$$

### Zirkular polarisiertes Licht:

Tritt linear polarisiertes Licht in ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen, so entsteht zirkular polarisiertes Licht (s. Abb. 3).

Nachgewiesen werden kann es, wenn man die Intensität nach dem Durchgang durch einen Linearpolarisator in verschiedenen Orientierungen misst. Es handelt sich dann um zirkular polarisiertes Licht, wenn die Lichtintensität nach dem Durchgang von der Orientierung des Linearpolarisators unabhängig ist.

### Elliptisch polarisiertes Licht:

Kann durch Überlagerung von linear polarisiertem und zirkular polarisiertem Licht erzeugt werden (s. Abb. 1).

Der Nachweis erfolgt analog zu dem von linear polarisiertem Licht: Durch Intensitätsmessung nach dem Durchgang von zwei Linearpolarisatoren. Anders als bei Linear polarisiertem Licht wird hier die Intensität aber nicht null, sondern es besteht lediglich eine Abhängigkeit von der Orientierung.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Doppelbrechung

Bei diesem Versuch wird der Kalkspat-Kristall (Versuchsanleitung:  $n_o = 1,658$ ,  $n_e = 1,486$ ), dessen optische Achse unter dem Winkel  $\alpha = 45,39^\circ$  austritt, auf Millimeterpapier mit farbigen Kreuz gelegt. Dann wird durch drehen des Kristalls die Strahlverschiebung  $s$  bestimmt:

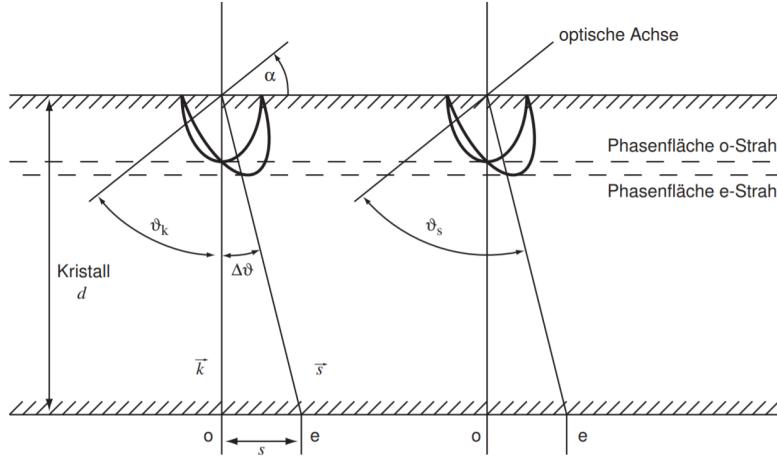


Abb. 7: ordentlicher und außerordentlicher Strahl im Kalkspat [3]

Laut Versuchsanleitung gilt:

$$\frac{\tan(\theta_s)}{\tan(\theta_k)} = \frac{n_o^2}{n_e^2} \quad (39)$$

$$\theta_k = 90^\circ - \alpha \quad (40)$$

Damit

$$s = d \tan(\Delta\theta) \quad (41)$$

$$= d \tan(\theta_s - \theta_k) \quad (42)$$

$$= d \tan \left[ \arctan \left( \frac{n_o^2}{n_e^2} \tan \theta_k \right) - (90^\circ - \alpha) \right] \quad (43)$$

$$\approx d \cdot 0,1092 \quad (44)$$

Wir messen die Dicke des Kalkspats  $d = 16 \text{ mm}$ .

$$\Rightarrow s \approx 1,75 \text{ mm} \quad (45)$$

Der gemessene Wert beträgt  $s = 2 \text{ mm}$ .

Da wir am Millimeterpapier nur in Millimeterabständen ablesen konnten, stimmt also unsere Messung im Rahmen der Messgenauigkeit mit dem theoretischen Wert überein.

#### 3.2 Gesetz von Malus

Hält man den Polarisationsfilter vor die Leuchtstoffröhre an der Decke, so sieht man auch bei mehrmaligen Drehen ungehindert hindurch. Dieses Licht ist also unpolarisiert.

Hält man den Polarisationsfilter dagegen vor dem Bildschirm des Computers, so sieht man beim

Drehen des Polarisators, dass die Intensität winkelabhängig ist. Steht der Polarisator senkrecht zum E-Vektor, so wird das linear polarisierte Licht ausgelöscht.

Nun werden Polarisator und Analysator mit Winkelmessvorrichtung in den Strahlengang gestellt:

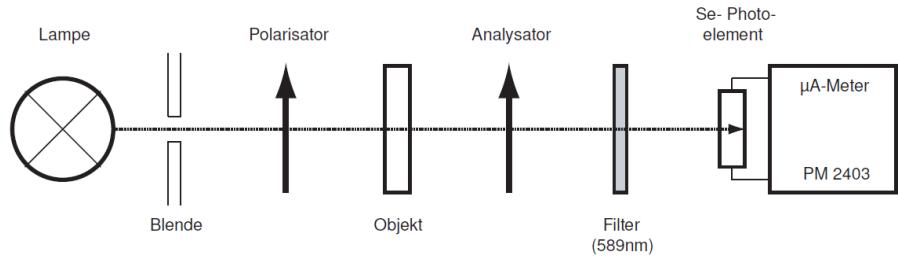


Abb. 8: Aufbau der Polarisationsmessungen [3]

Es ergeben sich folgende Messwerte:

Winkel	Spannung U [mV]	Winkel	Spannung U [mV]
-90°	1,7	0°	11,4
-80°	2,0	10°	11,0
-70°	2,6	20°	9,8
-60°	3,7	30°	8,5
-50°	5,2	40°	6,8
-40°	7,0	50°	5,4
-30°	8,6	60°	4,0
-20°	9,9	70°	2,8
-10°	11,2	80°	2,0
		90°	1,6

Damit ergibt sich folgende graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier:

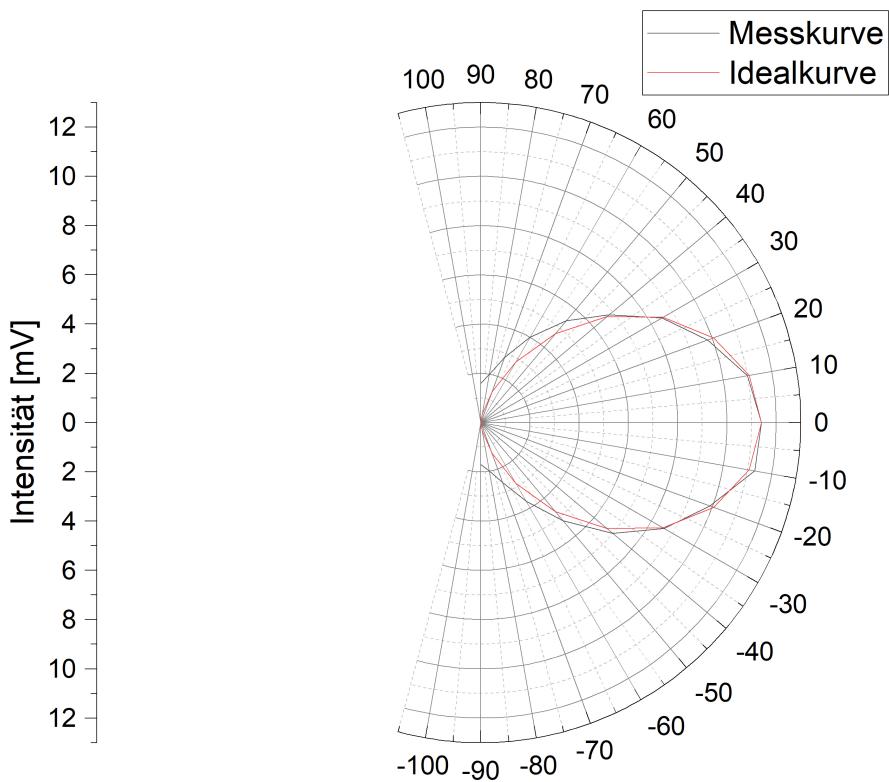


Abb. 9: Graphische Darstellung der Polarisationsmessungen auf Polarkoordinatenpapier

### 3.3 $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen

Nun wird ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen zwischen den Polarisator und Analysator gestellt. Anschließend wird das  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen orientiert, das heißt so eingestellt, dass die Intensität bzw. Spannung maximal wird. Um elliptisch polarisiertes Licht zu erzeugen, dreht man das  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen um  $30^\circ$ . Dann ergeben sich folgende Messwerte:

Winkel	Spannung U [mV]	Winkel	Spannung U [mV]
$-90^\circ$	2,1	$0^\circ$	5,2
$-80^\circ$	2,7	$10^\circ$	4,5
$-70^\circ$	3,5	$20^\circ$	3,8
$-60^\circ$	4,2	$30^\circ$	3,0
$-50^\circ$	4,8	$40^\circ$	2,4
$-40^\circ$	5,4	$50^\circ$	1,9
$-30^\circ$	5,7	$60^\circ$	1,6
$-20^\circ$	5,8	$70^\circ$	1,5
$-10^\circ$	5,6	$80^\circ$	1,7
		$90^\circ$	2,1

Damit ergibt sich folgende graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier:

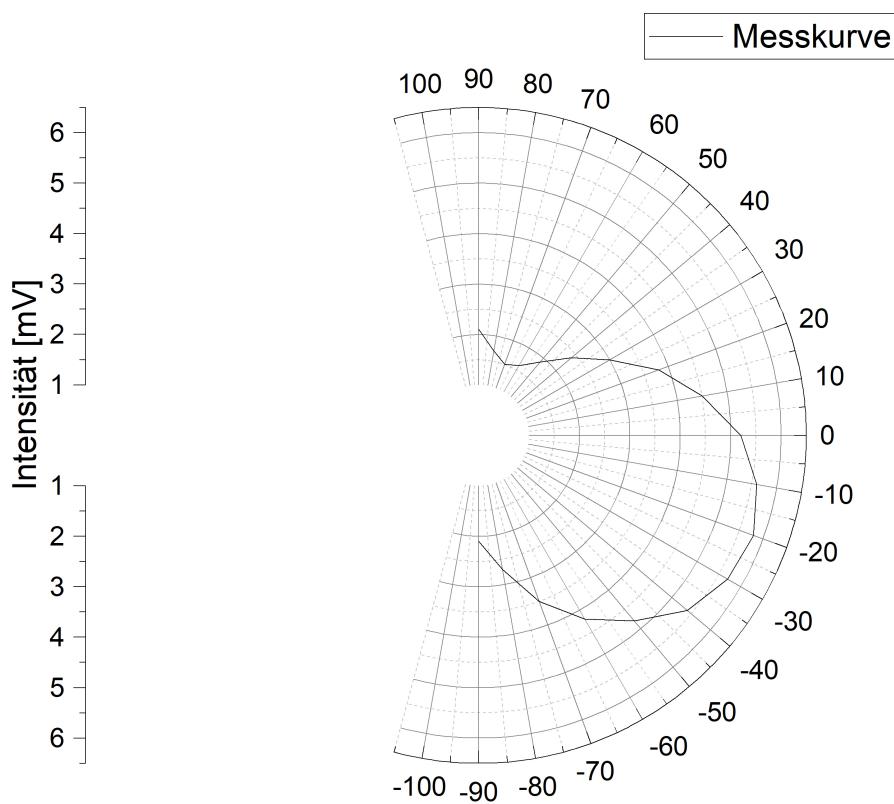


Abb. 10: Graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier

Um zirkular polarisiertes Licht zu erzeugen, dreht man das  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen um  $45^\circ$ . Damit ergibt sich folgende graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier:

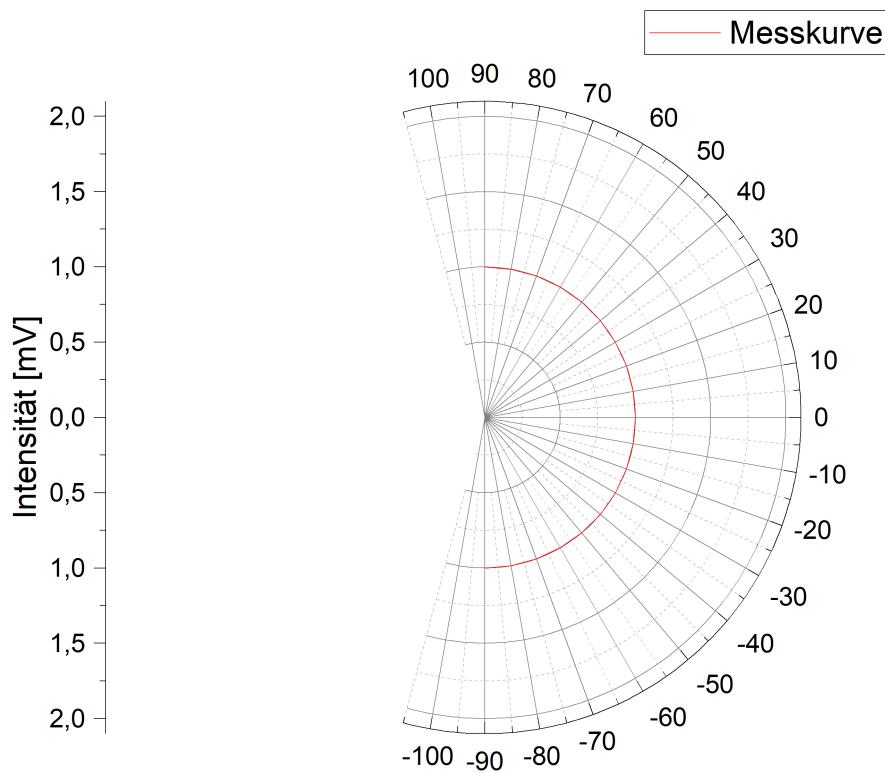


Abb. 11: Graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier

Es ergibt sich also nahezu ein Kreis. Dies liegt daran, weil zirkular polarisiertes Licht orientierungsunabhängig ist (s. Aufgabe 2.15).

### 3.4 $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen

Nun wird das  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen durch ein  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen ausgetauscht und orientiert. Anschließend wird es um  $20^\circ$  gedreht. Dann ergeben sich folgende Messwerte:

Winkel	Spannung U [mV]	Winkel	Spannung U [mV]
$-90^\circ$	4,0	$0^\circ$	4,9
$-80^\circ$	3,1	$10^\circ$	6,0
$-70^\circ$	2,3	$20^\circ$	6,8
$-60^\circ$	1,8	$30^\circ$	7,3
$-50^\circ$	1,6	$40^\circ$	7,5
$-40^\circ$	1,8	$50^\circ$	7,3
$-30^\circ$	2,3	$60^\circ$	6,7
$-20^\circ$	3,1	$70^\circ$	6,0
$-10^\circ$	4,0	$80^\circ$	5,1
		$90^\circ$	3,9

Damit ergibt sich folgende graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier:

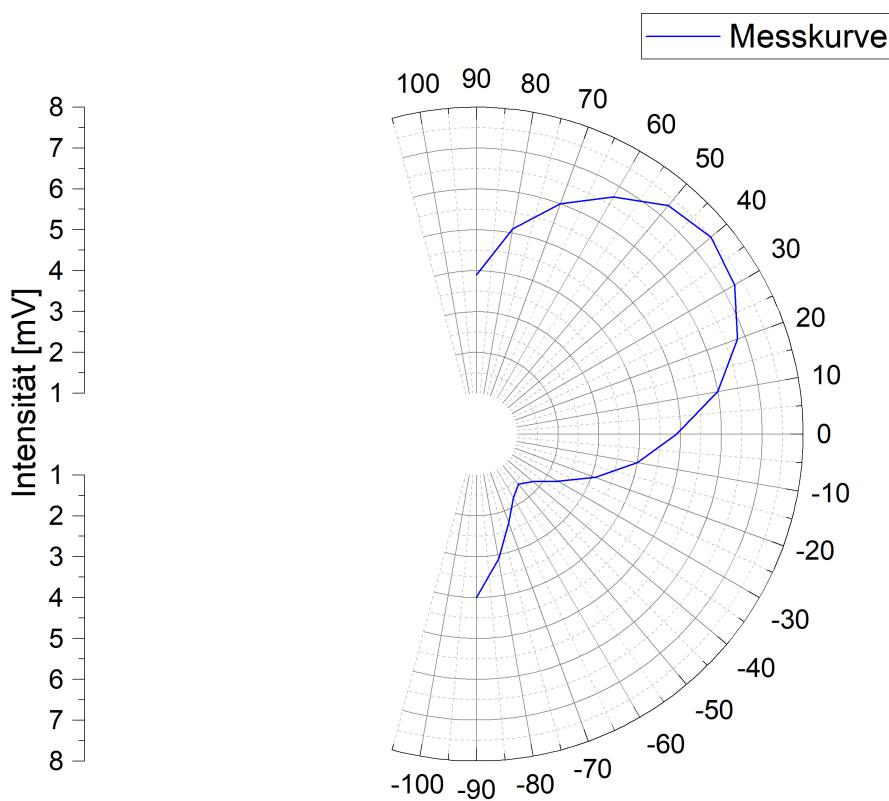


Abb. 12: Graphische Darstellung auf Polarkoordinatenpapier

Es ergibt sich also ein Maximum bei  $2 \cdot 20^\circ = 40^\circ$ .

### 3.5 selbstgebaut

Nun werden die vorherigen zwei Aufgaben noch mit „selbstgebauten“ Plättchen wiederholt. Dazu werden Glimmer eingesetzt und anhand der Messdaten kann dann abgelesen werden, ob es sich bei dem Glimmer um ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen oder  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen handelt.

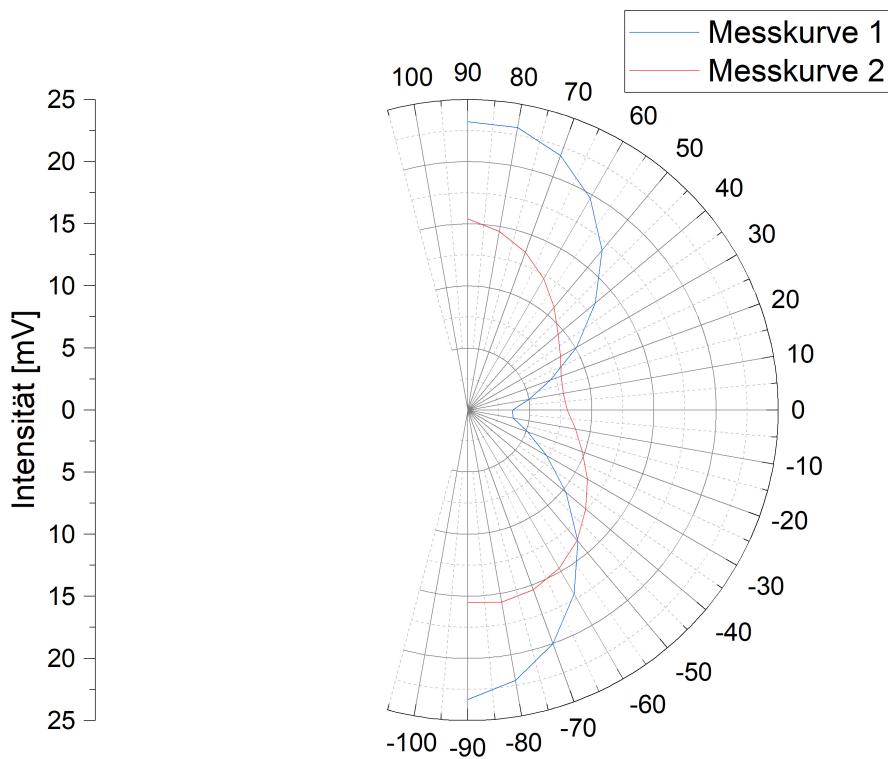


Abb. 13: Winkelabhängigkeit der Intensität bei selbstgebauten Plättchen

Es handelt sich also vermutlich bei Messkurve 1 um ein  $\frac{\lambda}{2}$ -Plättchen und bei Messkurve 2 um ein  $\frac{\lambda}{4}$ -Plättchen. Es ist aber ganz klar zu sehen, dass diese „selbstgebauten“ Plättchen schlechtere Plots liefern als die dafür vorgesehenen.

### 3.6 Beobachtungen

Hält man den rechten Winkel aus Glas zwischen zwei Polarisatoren, so sieht man den Winkel normal ohne besondere Effekte. Übt man aber Spannung auf den rechten Winkel aus (z. B. durch Zusammendrücken) und beobachtet man ihn zwischen zwei Polarisatoren, so sieht man Polarisationseffekte. Dies wird als Spannungsdoppelbrechung bezeichnet.

## 4 Fazit

Leider hatten wir bei manchen Versuchen vergessen, das Licht auszuschalten, wodurch es zu Stör-effekten kam. Dennoch haben wir im Großen und Ganzen gute Ergebnisse bekommen.

Dieser Versuch gab mir einen interessanten Einblick in die Optik. Ich konnte damit nochmal die Kenntnisse der Experimentalphysik 3 auffrischen und auch sämtliche neuen Dinge dazu lernen. Ich habe jedoch auch bemerkt, dass es deutlich anspruchsvoller ist, die Geräte selbst korrekt einzustellen und dass man dabei auch noch einmal viele Dinge gedanklich wiederholt und lernt. Insgesamt hat mir dieser Versuch also Spaß gemacht.

## Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/isotropie/7595>.
- [2] <http://vorsam.uni-ulm.de>.
- [3] S. Giglberger, Zweck. *Versuchsanleitung: "pl": Polarisation des Lichts*, volume 6. Auflage. 2019.
- [4] <https://de.wikipedia.org/wiki/NicolschesPrisma>.
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Polarisation>.
- [6] <https://de.wikipedia.org/wiki/Verzögerungsplatte>.
- [7] Pohl. *Pohls Einführung in die Physik, Band 2: Elektrizitätslehre und Optik*, volume 24. Auflage. 2018.
- [8] Zinth. *Optik, Lichtstrahlen-Wellen-Photonen*, volume 4. Auflage. 2013.