Versuche P2-11

# Polarisation und Doppelbrechung Versuchsauswertung

Marco A. Harrendorf und Thomas Keck, Gruppe: Mo-3 Karlsruhe Institut für Technologie, Bachelor Physik

Versuchstag: 04.07.2011

## Inhaltsverzeichnis

1	Vorversuch: Polarisation durch Streuung	3		
2	Versuch 1: Licht mit besonderen Polarisationseigenschaften	4		
3	Versuch 2: Bestimmung der Differenz der Brechungsindizes	9		
4	Versuch 3: Demonstrationsversuch zur Farbanderung von Klebefilmbildern	10		
5	Versuch 4: Demonstrationsversuch zur Spannungsdoppelbrechung	12		
Lit	Literatur			

## **1** Vorversuch: Polarisation durch Streuung

In diesem Versuch wurde ein mit Wasser gefülltes Becherglas in den Lichtstrahl einer Lampe gestellt und im senkrechten Winkel zur Strahlrichtung der Lichtstrahl im Becherglas betrachtet, wobei ein Polarisationsfilter unter verschiedenen Ausrichtungswinkeln vor das Auge gehalten wurde. Weiterhin wurde ein Farbfilter für rotes Licht in den Strahlengang eingebracht, das aber für die weitere Beschreibung des beobachteten Effekts unerheblich ist.

Beobachtet wurde, dass die Helligkeit des gestreuten Lichts abhängig von der Orientierung des Polarisationsfilters und von der – zur Ausbreitungsrichtung senkrechten – Blickrichtung auf das Becherglas ist, d.h. es konnte beobachtet werden, dass das senkrecht gestreute Licht teilweise polarisiert ist.

Erklären lässt sich die Polarisation des Lichts wie folgt: Der ursprünglich von der Lampe kommende, unpolarisierte Lichtstrahl besteht aus einem elektromagnetischen Wellenzug, der senkrecht zur Ausbreitungsrichtung ausgerichtet ist. Im Becherglas können durch die Wechselwirkung von Licht mit Wassermolekülen die Wassermoleküle zu Schwingungen, die senkrecht zur ursprünglichen Ausbreitungsrichtung verlaufen, angeregt werden, wodurch Licht bzw. elektromagnetische Wellen abgestrahlt werden. Allerdings können sich die abgestrahlten elektromagnetischen Wellen nicht in Richtung der Dipolschwingung ausbreiten, sondern nur senkrecht dazu. Das gestreute Licht weist daher eine Polarisation auf und die Polarisationsrichtung des gestreuten Lichts ist abhängig vom Winkel unter dem das Becherglas von der Seite betrachtet wird.

#### 2 Versuch 1: Licht mit besonderen Polarisationseigenschaften

In diesem Versuch wurde Licht mit besonderen Polarisationseigenschaften hergestellt, indem der Versuch entsprechend der Abbildung 3 aus der Versuchsvorbereitung aufgebaut wurde: Für den Versuch wurde das weiße Licht einer Lampe zunächst durch ein Farbfilter für rotes Licht (Wellenlänge  $\lambda = 635 nm$ ) gefiltert und gelangte anschließend zum ersten Polarisationsfilter (Polarisator).

Zu unterscheiden sind nun zwei Versuchsteile:

- Bei der Messung von linear polarisiertem Licht befand sich zwischen erstem und zweitem Polarisationsfilter (Polarisator und Analysator) kein optischer Gegenstand.
- Bei den anderen Versuchsteilchen befand sich jeweils ein Glimmerplättchen der Dicke d zwischen den beiden Filtern. Weiterhin befanden sich die beiden Polarisationsfilter zunächst in gekreuzter Stellung, sodass durch Drehen des Glimmerplättchens und unter Beobachtung der durch eine Photodiode gemessenen Lichtintensität die Ausrichtung des Glimmerplättchens bestimmt werden konnte, bei der ein Intensitätsminimum auftrat. Anschließend wurde der Polarisator um 45 Grad gedreht, damit sich eine größtmögliche Intensität nach dem Analysator ergab.

Anschließend konnte durch Drehen des zweiten Polarisationsfilter (Analysator) und unter Zuhilfenahme der Photodiode in beiden Versuchsteilen die Intensität in Abhängigkeit vom Drehwinkel des Polarisators bestimmt werden.

**Intensitätsverteilung für linear polarisiertes Licht** In der Abbildung 1 ist die Intensität in mV in Abhängigkeit vom Drehwinkel (Raster in 30 Grad Schritten) für linear polarisiertes Licht dargestellt.

Es ist deutlich ersichtlich, dass bei Parallel- oder Antiparallelstellung von Polarisator und Analysator die gemessene Intensität maximal ist, während sie bei gekreuzter Stellung nahezu auf Null abfällt.

**Intensitätsverteilung für das 15**  $\mu m$  **Plättchen** In der Abbildung 2 ist die Intensität in mV in Abhängigkeit vom Drehwinkel (Raster in 30 Grad Schritten) für das 15  $\mu m$  Plättchen dargestellt.

Es ist aus der Darstellung ersichtlich, dass das Licht elliptisch polarisiert ist, wobei die Intensität des gemessenen Lichts stark von der Stellung des Analysators abhängt.

Der Phasenunterschied  $\Delta \phi$  zwischen den beiden Polarisationsrichtungen des Lichts beträgt hierbei:

$$\Delta \phi = \frac{d}{\lambda}$$
$$= \frac{15 \ \mu m}{635 \ nm}$$
$$= 7.5 \ \pi$$



Abbildung 1: Darstellung der Intensitätsverteilung für linear polarisiertes Licht: Intensität in mV und Raster in 30 Gradschritten



Abbildung 2: Darstellung der Intensitätsverteilung für das 15  $\mu$ m Plättchen: Intensität in mV und Raster in 30 Gradschritten

**Intensitätsverteilung für das 50**  $\mu m$  **Plättchen** In der Abbildung 3 ist die Intensität in mV in Abhängigkeit vom Drehwinkel (Raster in 30 Grad Schritten) für das 50  $\mu m$  Plättchen dargestellt.

Es ist aus der Darstellung ersichtlich, dass das Licht elliptisch polarisiert ist, wobei die Intensität des gemessenen Lichts ziemlich stark von der Stellung des Analysators abhängt.

Der Phasenunterschied  $\Delta \phi$  zwischen den beiden Polarisationsrichtungen des Lichts beträgt hierbei:

$$\Delta \phi = \frac{d}{\lambda}$$
$$= \frac{50 \ \mu m}{635 \ nm}$$
$$= 2.5 \ \pi$$



Abbildung 3: Darstellung der Intensitätsverteilung für das 50  $\mu$ m Plättchen: Intensität in mV und Raster in 30 Gradschritten

**Intensitätsverteilung für das 170**  $\mu m$  **Plättchen** In der Abbildung 4 ist die Intensität in mV in Abhängigkeit vom Drehwinkel (Raster in 30 Grad Schritten) für das 170  $\mu m$  Plättchen dargestellt.

Es ist aus der Darstellung ersichtlich, dass das Licht elliptisch polarisiert ist, wobei die Intensität des gemessenen Lichts – im Gegensatz zu den beiden anderen Plättchen – nur gering von der Stellung des Analysators abhängt.

Der Phasenunterschied  $\Delta \phi$  zwischen den beiden Polarisationsrichtungen des Lichts beträgt hier-

bei:

$$\Delta \phi = \frac{d}{\lambda}$$
$$= \frac{170 \ \mu m}{635 \ nm}$$
$$= 85.2 \ \pi$$



Abbildung 4: Darstellung der Intensitätsverteilung für das 170  $\mu$ m Plättchen: Intensität in mV und Raster in 30 Gradschritten

**Intensitätsverteilung für das**  $\frac{\lambda}{4}$  **Plättchen** In der Abbildung 5 ist die Intensität in mV in Abhängigkeit vom Drehwinkel (Raster in 30 Grad Schritten) für das  $\frac{\lambda}{4}$  Plättchen dargestellt. Es ist aus der Darstellung ersichtlich, dass das Licht zirkular polarisiert ist. Bei ungefähr 255° ergibt sich ein kleiner Einbruch der Intensität, der vermutlich auf einen Fettfleck auf einem der beiden Polarisatoren zurückzuführen ist, wodurch die Aussendung von Licht in dieser Polarisationsrichtung geschwächt wird.



Abbildung 5: Darstellung der Intensitätsverteilung für das  $\frac{\lambda}{4}$  Plättchen: Intensität in mV und Raster in 30 Gradschritten

#### 3 Versuch 2: Bestimmung der Differenz der Brechungsindizes

Die Formeln für die Bestimmung der Differenz der Brechungsindizes der verwendeten Glimmerplättchen wurden bereits in der Vorbereitung hergeleitet bzw. begründet: Für zirkulär polarisiertes Licht ergibt sich:

$$(n_1 - n_2) = \Delta n = \frac{\lambda}{4 \cdot d} \tag{1}$$

Der zirkuläre Fall konnte im Versuch leider nicht beobachtet werden, weshalb hier nur eine Auswertung der elliptischen Fälle stattfindet. Für elliptisch polarisiertes Licht ergibt sich:

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi \cdot d} \cdot \arcsin\left(\sqrt{\frac{L}{T}}\right) \tag{2}$$

$$\Delta n = \frac{\lambda}{2\pi \cdot d} \cdot \arctan\left(\sqrt{\frac{L}{T}}\right) \tag{3}$$

Beide Formeln sind im Rahmen ihres jeweiligen Definitionsbereiches gleichwertig, Formel 2 ist dabei jedoch eine Kleinwinkelnäherung von 3. Zur Auswertung wird die Formel 3 verwendet, da 2 für die entsprechenden Werte nicht definiert ist. Der Faktor  $\frac{L}{T}$  entspricht dabei dem jeweiligen maximalen Spannungswert der Messreihe durch den minimalen Spannungswert unter der Annahme, dass Spannung und Lichtintensität proportional zueinander sind. Die Wellenlänge wurde im Versuchsaufbau durch den Interferenzfilter zu  $\lambda = 630$ nm bestimmt.

Dicke $d$ in $\mu m$	$U_{max}$ in mV	$U_{min}$ in mV	$\frac{L}{T}$	$\Delta n$ nach 3
$15\mu m$	$31.83 \mathrm{mV}$	$4.31 \mathrm{mV}$	7.385	$8.14 \cdot 10^{-3}$
$50 \mu { m m}$	$6.54 \mathrm{mV}$	$1.30\mathrm{mV}$	5.031	$2.30 \cdot 10^{-3}$
$170 \mu m$	$3.78 \mathrm{mV}$	$2.89\mathrm{mV}$	1.308	$0.50 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 1: Messresultate

Die Messwerte für  $\Delta n$  sind für die verschiedenen Dicken nicht konstant, wie es eigentlich zu erwarten gewesen wäre. Eine mögliche Fehlerquelle könnte die Auswerteformel 3 sein, welche unter anderem aus dem Musterprotokoll entnommen ist.

#### 4 Versuch 3: Demonstrationsversuch zur Farbanderung von Klebefilmbildern

Wie in der Aufgabenstellung verlangt und in der Vorbereitung beschrieben wurde dieser Versuch durchgeführt. Eigene Klebefilmbilder wurden nicht entworfen. Die drei zur Verfügung stehenden Klebefilmbilder wurden mit weißem polarisierten Licht beleuchtet und unter verschiedenen Stellungen des Analysators betrachtet. Dabei konnte jeweils ein Farbwechsel zwischen zwei Einstellungen beobachtet werden. Die beiden Einstellungen für die drei verschiedenen Klebefilmbilder sind in Abbildung 6, 7 und 8 wiedergegeben.



Abbildung 6: Klebefilmbild "Katze" unter zwei verschiedener Stellungen des Analysators



Abbildung 7: Klebefilmbild "Kirchenfenster" unter zwei verschiedener Stellungen des Analysators



Abbildung 8: Klebefilmbild "Vulkanausbruch" unter zwei verschiedener Stellungen des Analysators

## 5 Versuch 4: Demonstrationsversuch zur Spannungsdoppelbrechung

Der Versuch wurde wie in der Vorbereitung und der Aufgabenstellung beschrieben durchgeführt. Alle verfügbaren Plexiglasformen wurden dabei in die dafür vorgesehene Halterung eingespannt. In Abbildung 9, 10, 11, 12 und 13 werden die Plexiglasformen ohne und mit mechanischer Belastung gezeigt.

Im Versuch konnte man erkennen dass vor allem die Ecken der Formen starken Belastungen ausgesetzt waren. Obwohl die mechanische Spannung auf die verschiedenen Formen nicht immer die gleiche war, können aus den entstandenen Aufnahmen einfache Schlussfolgerungen gezogen werden.



(a) Unbelastete Plexiglasform

(b) Belastete Plexiglasform

Abbildung 9: Plexiglasform "T-Stück" ohne und mit mechanischer Belastung

Das normale T-Stück dient als Referenz für die restlichen Modelle, man erkennt wie die Spannung vor allem an den Kanten und an den Ecken der Form mithilfe der induzierten Doppelbrechung sichtbar wird, hier also besonders groß ist. Farbige Doppelbrechung deutet dabei auf eine besonders große mechanische Spannung in diesem Bereich hin.



(a) Unbelastete Plexiglasform

(b) Belastete Plexiglasform

Abbildung 10: Plexiglasform "Kerbe" ohne und mit mechanischer Belastung

Im Vergleich zu dem normalen T-Stück (Abb. 9) ist die Form (Abb. 10), welche mit Einkerbungen an den Ecken versehen wurde, noch stärker an den Einkerbungen belastet, die Einkerbungen erweisen sich somit als ungünstig.



(a) Unbelastete Plexiglasform

(b) Belastete Plexiglasform

Abbildung 11: Plexiglasform "Schlitz" ohne und mit mechanischer Belastung

Der Schlitz in dem T-Stück (Abb. 11) scheint die Spannung im Material besser zu verteilen. Dies ist der Fall, da der Schlitz etwas Raum bietet für Verformung und so Spannung im Material abbaut.



(a) Unbelastete Plexiglasform

(b) Belastete Plexiglasform

Abbildung 12: Plexiglasform "Löcher" ohne und mit mechanischer Belastung

Die eingestanzten Löcher in Abbildung 12 kann man nicht genau deuten. Die Löcher selbst scheinen jedoch besonders wenig mechanischer Spannung ausgesetzt zu sein.



(a) Unbelastete Plexiglasform

(b) Belastete Plexiglasform

Abbildung 13: Plexiglasform "Stufen" ohne und mit mechanischer Belastung

Das stufenförmige Modell (Abb. 13) zeigt nochmals sehr schön, dass die mechanische Belastung vor allem in den Ecken der Formen für eine hohe Spannung sorgt.

# Literatur

[Aufgabenstellung] Aufgabenstellung zu dem Versuch P2-11

[Vorbereitungshilfe] Vorbereitungshilfe zu dem Versuch P2-11