

Versuch P2-11: Polarisation und Doppelbrechung Vorbereitung

Gruppe Di-22
Genti Saliu, Jonas Müller

15. Juni 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen	1
1.1	Transversalwelle	1
1.2	Longitudinalwelle	1
1.3	Polarisation	1
1.4	Polarisation durch Dichroismus	2
1.5	Polarisation durch Streuung	2
1.6	Polarisation durch Reflexion	2
1.7	Doppelbrechung	3
2	Aufgaben	3
2.1	Aufgabe 0: Demonstrationsversuch	3
2.2	Aufgabe 1: Herstellung und Untersuchung vom polarisierten Licht	3
2.3	Aufgabe 2: Differenz der Brechungsindizes	4
2.4	Aufgabe 3: Farbänderung bei Drehung des Analysators	5
2.5	Aufgabe 4: Spannungsdoppelbrechung an Plexiglas	5

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Transversalwelle

Eine Transversalwelle ist eine physikalische Welle, bei der eine Schwingung senkrecht zu ihrer Ausbreitungsrichtung erfolgt [8].

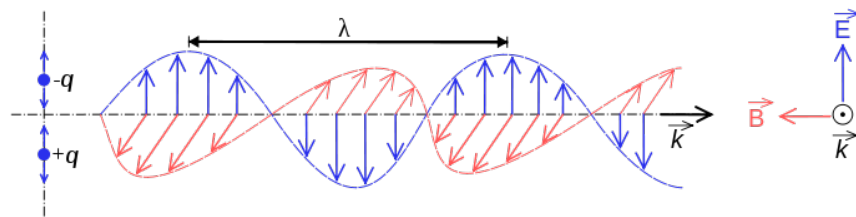
1.2 Longitudinalwelle

Eine Longitudinalwelle ist eine physikalische Welle, die in Ausbreitungsrichtung schwingt [6].

1.3 Polarisation

In der klassischen Elektrodynamik wird Licht als *transversale elektromagnetische Welle* aufgefasst, deren Amplitude durch den Vektor des elektrischen Feldes \vec{E} oder des Magnetfeldes \vec{B} gegeben ist. Die Ausbreitungsrichtung verläuft über den Vektor \vec{k} . \vec{k} , \vec{E} und \vec{B} sind zueinander orthogonal.

Die Richtung des \vec{E} -Feld-Vektors wird Polarisationsrichtung genannt. Die Polarisation beschreibt definitionsgemäß die Richtung der Schwingung einer Transversalwelle. Ändert sich diese Richtung schnell und ungeordnet, spricht man von einer unpolarisierten Welle. Bei Longitudinalwellen gibt es keine Polarisation.



Quelle: Wikipedia [5]

Abbildung 1: Licht als elektromagnetische Welle

Man unterscheidet drei Arten von Polarisation:

- **lineare Polarisation:** die Richtung der Schwingung ist konstant, lediglich die Auslenkung aus der Ruhelage ändert periodisch ihren Betrag und Vorzeichen.
- **zirkulare Polarisation:** der Betrag der Schwingung ist konstant, ihre Richtung ändert sich innerhalb der senkrecht zum Wellenvektor stehenden Ebene mit konstanter Winkelgeschwindigkeit.
- **elliptische Polarisation:** dies ist eine Mischform aus den beiden vorhin betrachteten Polarisationsarten.

Licht kann mithilfe von Polarisatoren mit verschiedenen Mechanismen polarisiert werden, durch Dichroismus, Reflexion, Doppelbrechung, Streuung und Beugung. Wie Polarisation durch Doppelbrechung funktioniert, werden wir im nachfolgenden Abschnitt behandeln. Polarisatoren, die eine linear polarisierte elektromagnetische Welle erzeugen, werden Linearpolarisatoren genannt, die die zirkular polarisiertes Licht erzeugen, Zirkularpolarisator [7].

Polarisatoren sind also Bauteile, die Licht mit einer bestimmten Polarisation aus nicht, teilweise oder anders polarisierten elektromagnetischen Wellen, herausfiltern.

Ein Polarisator, der dazu benutzt wird vorhandene Polarisation festzustellen oder zu messen, heißt Analysator.

1.4 Polarisation durch Dichroismus

Bestimmte Materialien (hauptsächlich Kristalle) sind in der Lage Licht in Abhängigkeit von der Polarisation unterschiedlich stark zu absorbieren. Das macht sich auf deren Reflexionsverhalten bemerkbar. Diese Materialien haben eine oder mehrere ausgezeichnete optische Achsen. Bei einachsigen Materialien wird einfallendes Licht je nach Polarisation in einem ordentlichen und einem außerordentlichen Strahl aufgespalten. Je nachdem, ob der ordentliche oder außerordentliche Strahl stärker bzw. schwächer absorbiert wird, spricht man von einem dichroitischen Kristall. Dieser Effekt ist stark wellenlängenspezifisch, bei anderen Wellenlängen des Lichts tritt der Effekt der Absorption nicht mehr, sondern Doppelbrechung, worauf nachfolgend näher eingegangen wird [3].

1.5 Polarisation durch Streuung

Fällt unpolarisiertes Licht auf ein streuendes Medium, so ist das Streulicht, das das Medium senkrecht zur Einfallsrichtung verlässt, linear polarisiert. Die elektromagnetische Welle des Lichtes kommt zu einer Wechselwirkung mit den Molekülen/Atomen, die zu Dipolschwingungen angeregt werden. Das von den Molekülen in Vorwärtsrichtung gestreute Licht bleibt unpolarisiert, senkrecht zur Strahlrichtung tritt die maximale Polarisation des Lichtes auf, denn die Abstrahlung erfolgt senkrecht zur Schwingungsrichtung der Moleküldipole.

1.6 Polarisation durch Reflexion

Wenn unpolarisiertes Licht unter dem Brewster-Winkel¹ auf eine Glasplatte fällt, ist der reflektierte Teil senkrecht zur Einfallsebene des Lichtes linear polarisiert, der transmittierte Anteil ist jedoch nur teilweise polarisiert. Indem man dieses Licht durch mehrere Platten unter dem Brewster-Winkel laufen lässt, lässt sich auch dieser Anteil linear polarisieren.

¹Der Winkel, bei dem von einem einfallenden, unpolarisierten Licht nur die senkrecht zur Einfallsebene polarisierten Anteile reflektiert werden

1.7 Doppelbrechung

Als Doppelbrechung bezeichnet man die Eigenschaft von optisch anisotropen Medien, ein Lichtbündel in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel zu trennen. Solche Kristalle weisen für unterschiedliche Polarisation und Richtung des eingestrahlten Lichtes einen unterschiedlichen Brechungsindex auf [4].

Das anisotrope Material besitzt optische Achsen, im einfachsten Fall eine Achse, so dass parallel zu dieser Achse das Material eine andere Brechzahl als senkrecht dazu aufweist. Je nach Orientierung ihres elektrischen Feldes zur Ebene, die durch die optische Achse und die Ausbreitungsrichtung des einfallenden Strahls aufgespannt wird (Hauptschnitt), lässt sich der einfallende Strahl in einen ordentlichen und außerordentlichen Strahl zerlegen. Der ordentliche Strahl ist der Anteil des einfallenden Strahles, dessen elektrisches Feld senkrecht zum Hauptschnitt steht und dem Snelliusschen Brechungsgesetz unterliegt. Der außerordentliche Strahl schwingt dagegen im Hauptschnitt des Kristalles.

Aufgrund der verschiedenen Brechungsindizes und Ausbreitungsgeschwindigkeiten besteht zwischen den beiden Strahlen ein Phasenunterschied.

2 Aufgaben

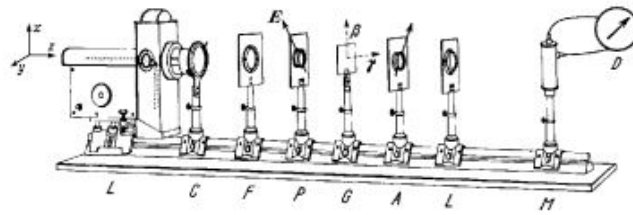
2.1 Aufgabe 0: Demonstrationsversuch

In diesem gemeinsam durchzuführenden Demonstrationsversuch ist Licht aus einer Halogenlampe durch ein Wasserglas zu schicken und mit einem Polarisationsfilter von der Seite und von oben zu beobachten. Anschliessend sollen ihre Eigenschaften mit denen des einfallenden Lichtes verglichen werden.

2.2 Aufgabe 1: Herstellung und Untersuchung vom polarisierten Licht

In dieser Aufgabe soll Licht linear, elliptisch und zirkular polarisiert und die Intensitätsverteilungen hinter einem Analysator gemessen werden.

- **Linear polarisiertes Licht** soll durch einen Polarisationsfilter, welcher auf Dichroismus beruht, erzeugt werden. Der Polarisationsfilter setzt sich aus makromolekularen Folien zusammen, sogenannte *H-Folien*, bestehend aus einer Schicht farblosem Polyvinylalkohol, die in eine iodhaltige Farblösung getaucht wurden. Die *H-Folie* ist im gesamten sichtbaren Spektrum ein sehr effektiver Polarisator, deshalb spielt die Farbe (sprich Wellenlänge) des Lichtes keine Rolle. Man könnte hier mit Weißlicht arbeiten.
- **Elliptisch polarisiertes Licht** soll durch Ausnutzung der Doppelbrechung bei Glimmerplättchen erzeugt werden. Die Versuchsanordnung dazu ist in Abbildung 2 zu sehen.



Quelle: Pohl [1], Seite 121

Abbildung 2: Versuchsanordnung zur Herstellung von elliptisch polarisiertem Licht

Aus dem Kondensor C fällt angenähert parallel gebündeltes Licht durch einen Farbfilter F (der monochromatisches Licht erzeugt) auf einen Polarisator P , dessen Schwingungsebene durch den Zeiger E gekennzeichnet und unter 45° zur Vertikalen gerichtet ist. Das linear polarisierte Licht trifft senkrecht auf das doppelbrechende Glimmerplättchen G , welches das Licht in den 2 senkrecht stehenden außerordentlichen Teilbündeln zerlegt. Das im Kristall schnellere hat eine vertikale, das langsamere eine horizontale Schwingungsebene. Durch die relativ große Dicke des Kristalls sind nach dem Austritt aus der doppelbrechenden Glimmerplatte Gangunterschiede für die beiden Wellen von mehr als 2π möglich.

Infolge des Gangunterschiedes setzen sich die beiden senkrecht zueinander schwingenden Lichtbündel zu einem elliptisch polarisierten Lichtbündel zusammen².

Zum Nachweis der Polarisationsart ist der Analysator A eingebaut worden, das von ihm durchgelassene Licht fällt auf eine Linse L , die auf dem Strahlungsmesser M abbildet. Es soll dann die Abhängigkeit der Intensität für verschiedene Winkel ψ zwischen den Schwingungsebenen des Analysators und Polarisators untersucht werden.

- **Zirkulär polarisiertes Licht** erhält man mit der gleichen Versuchsanordnung wie für das elliptisch polarisierte Licht, schließlich ist zirkulär polarisiertes Licht ein Sonderfall. Bedingung dafür ist, dass eine Phasendifferenz von $\frac{\pi}{2}$ und ein Gangunterschied von $\frac{\lambda}{4}$ zwischen den beiden durch das Glimmerplättchen G verursachten außerordentlichen Strahlen besteht. Diesen Gangunterschied kann man durch die Dicke der Glimmerplatte bewirken, man benutzt dafür ein sogenanntes $\frac{\lambda}{4}$ -Blatt, wobei λ die Wellenlänge des (monochromatischen) Lichtes ist.

2.3 Aufgabe 2: Differenz der Brechungsindizes

Es soll in dieser Aufgabe die Differenz der Brechungsindizes Δn für das Glimmerplättchen mit 2 Methoden bestimmt werden.

²Die Zusammensetzung zweier zueinander senkrecht stehenden Sinusschwingungen mit gleicher Frequenz ergibt elliptische Bahnen.

1. Mit apparativen Daten bei zirkular polarisiertem Licht

Aus der Definition der Differenz der Brechungsindizes

$$\Delta n = n_{a1} - n_{a0} = c \cdot \left(\frac{1}{v_{\parallel}} - \frac{1}{v_{\perp}} \right)$$

und der Phasengeschwindigkeit

$$v_p = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

folgt

$$\Delta n = \frac{\lambda \cdot \Delta \phi}{2\pi d} \quad (2.1)$$

Für zirkular polarisiertes Licht gilt $\Delta \phi = \frac{\pi}{2}$. Die Wellenlänge λ und die Dicke der Platte d werden uns erst im Versuchslabor bekannt sein.

2. Mit der elliptischen Polarisation

Es gilt wieder die Beziehung 2.1. Jedoch ist die Phasenverschiebung unbekannt, lässt sich aber anhand der Messungen der Intensitätsverteilungen bestimmen. Aus dem Musterprotokoll [2] gilt:

$$\Delta \phi = 2 \arctan \left(\sqrt{\frac{T}{L}} \right)$$

wobei T die Taillenweite und L die Länge des Graphen im Polardiagramm ist.

2.4 Aufgabe 3: Farbänderung bei Drehung des Analysators

In diesem Versuch werden nun Glimmerplättchen und Klebefilmbilder (aus Tesa) mit weißem, polarisiertem Licht, welches aus vielen Wellenlängen besteht, bestrahlt. Da das Glimmerplättchen und, wie wir im Versuch sehen werden, auch die Klebefilmbilder doppelbrechend sind, erfahren die verschiedenen Wellenlängen unterschiedliche Phasenverschiebungen. Es entsteht elliptisch polarisiertes Licht. Den Analysator lässt je nach Einstellung unterschiedliche Farben unterschiedlich stark durch, wird dieser also gedreht, so sollten sich die Farbkomponenten des Bildes ändern.

2.5 Aufgabe 4: Spannungsdoppelbrechung an Plexiglas

Auch in isotropen Medien kann es durch mechanisch Spannung zur Doppelbrechung kommen, dabei kommt es durch die mechanische Spannung zu elastischer Verformung im Inneren. Es bildet sich eine optische Achse entlang der Richtung der angelegten Spannung. Im allgemeinen gilt dabei, dass die Ausprägung der Doppelbrechung proportional zu der Stärke der Spannung ist. In diesem Versuch wird eben dieser Effekt an Plexiglas demonstriert. Mit einem Polarisationsfilter lässt sich die Farbänderung im Material beobachten, wobei unterschiedliche Farben, unterschiedlichen Spannungen entsprechen.

Literatur

- [1] Robert Wichard Pohl. *Optik und Atomphysik*. Springer Berlin Heidelberg, 1976.
- [2] Barbara Trimborn und Lennart Piro. Vorbereitung zum Versuch P2-11: Polarisation und Doppelbrechung.
- [3] Wikipedia. Dichroismus, 2014. [Zugriff am 16. Juni 2014].
- [4] Wikipedia. Doppelbrechung, 2014. [Zugriff am 15. Juni 2014].
- [5] Wikipedia. Licht, 2014. [Zugriff am 15. Juni 2014].
- [6] Wikipedia. Longitudinalwelle, 2014. [Zugriff am 15. Juni 2014].
- [7] Wikipedia. Polarisator, 2014. [Zugriff am 16. Juni 2014].
- [8] Wikipedia. Transversalwelle, 2014. [Zugriff am 15. Juni 2014].