

# 425 – Polarisationszustand des Lichtes

## 1. Aufgaben

- 1.1 Bestimmen Sie den Polarisationsgrad von Licht nach Durchgang durch einen Glasplattensatz, und stellen Sie den Zusammenhang zwischen Polarisationsgrad und Anzahl der Glasplatten grafisch dar!
- 1.2 Schicken Sie linear polarisiertes Licht durch einen Analysator, und messen Sie die Intensität in Abhängigkeit von der Analysatorstellung. Fertigen Sie auch dazu ein Diagramm an!
- 1.3 Finden Sie heraus, welche Art der Polarisation durch einen vorgegebenen unbekanntem Polarisation („black box“) erzeugt wird!

## 2. Grundlagen

### Stichworte :

Fresnelsche Formeln, Polarisation durch Reflexion, Brewsterwinkel, natürliches Licht, lineare, zirkulare und elliptische Polarisation, Doppelbrechung,  $\lambda/4$  und  $\lambda/2$ -Platten, Methoden zur Veränderung der Lichtpolarisation

### 2.1 Polarisation

Licht ist eine transversale elektromagnetische Welle. Das heißt, dass der Vektor der elektrischen Feldstärke  $E$  immer in einer Ebene senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung liegt. Bei natürlichem (unpolarisiertem) Licht verändert der  $E$ -Vektor seine Lage statistisch. Bei einer polarisierten Welle hingegen beschreibt er eine ganz bestimmte Bahn (Kreis, Ellipse bzw. Gerade), woraus sich die verschiedenen Polarisationsarten (zirkular, elliptisch und linear) ergeben.

Zur Herstellung von linear polarisiertem Licht existieren mehrere Möglichkeiten (siehe Übersicht im Anhang im Versuch 412!). Einfache Polarisatoren wie z.B. der hier im Versuch verwendete Analysator bestehen aus speziellen Kunststoffolien. Eine andere Möglichkeit ist die Polarisation durch Reflexion von Licht an einer Glasplatte, wenn diese in einem ganz bestimmten Winkel zur Einfallrichtung steht (Brewster-Winkel). Der reflektierte Anteil (etwa 10...15 %) ist dann vollständig linear polarisiert, das durchgelassene Licht ist teilweise linear polarisiert. Durch Anordnung mehrerer solcher Glasplatten hintereinander kann der Polarisationsgrad für Transmission schrittweise erhöht werden.

### 2.2 Polarisationsgrad

Polarisationsgrad  $p$  ist das Verhältnis der Intensität des linear polarisierten Lichtes zur Gesamtintensität des aus unpolarisiertem und linear polarisiertem Anteil bestehenden Lichtes. Man bestimmt  $p$ , indem man einen Analysator in den Strahlengang stellt und in Abhängigkeit

von dessen Stellung die hindurchgelassene Intensität ermittelt. Sind  $I_{\max}$  bzw.  $I_{\min}$  die maximale bzw. die minimale Intensität, dann erhält man für den Polarisationsgrad

$$p = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1).$$

Die Definition wurde so gewählt, dass bei natürlichem Licht ( $I_{\max} = I_{\min}$ ) der Polarisationsgrad Null bzw. bei vollständig linear polarisiertem Licht ( $I_{\min} = 0$ ) Eins ist. Der Polarisationsgrad von teilweise linear polarisiertem Licht liegt zwischen Null und Eins. Für einen Glasplattensatz kann man unter der Voraussetzung, dass die Glasplatten unter dem Brewsterwinkel zum einfallenden Lichtstrahl stehen, aus den Fresnelschen Formeln folgende Formel für den Polarisationsgrad herleiten:

$$p = \frac{1 - \left[ 1 - \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2 \right]^{2N}}{1 + \left[ 1 - \left( \frac{n^2 - 1}{n^2 + 1} \right)^2 \right]^{2N}} \quad (2)$$

$n$  ... Brechzahl der Glasplatten ( $n = 1,5157$  für BK7-Glas)

$N$ ... Anzahl der Glasplatten.

Bei dem verwendeten Glasplattensatz sind die Glasplatten schon unter dem Brewsterwinkel angeordnet.

### 2.3 Bestimmung der Polarisationsart einer „black box“

Hier sind folgende Fälle möglich: Aus der „black box“ komme

- linear polarisiertes Licht
- natürliches Licht
- zirkular polarisiertes Licht
- elliptisch polarisiertes Licht
- Mischlicht aus a bis d.

Mit den Maßnahmen I bis III kann eine Analyse des unbekanntes Polarisationszustandes durchgeführt werden. (vgl. dazu auch Bild 2: Übersicht am Ende dieser Versuchsanleitung).

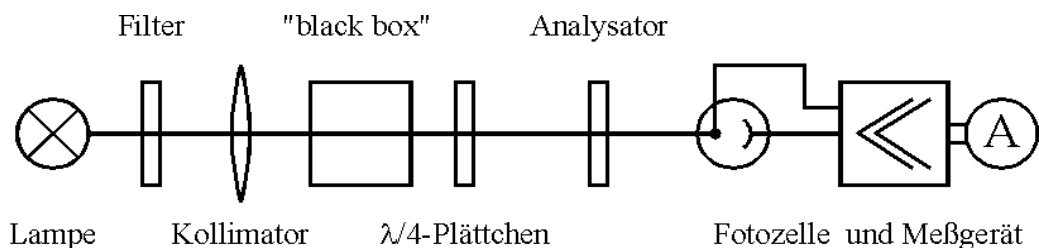


Bild 1: Schema des Versuchsaufbaus.

**Maßnahme I:** Drehen des Analysators

- a) Falls die „black box“ linear polarisiertes Licht erzeugt, muss es eine Analysatorstellung geben, bei der völlige Dunkelheit erreicht wird. Liegt teilweise linear polarisiertes Licht vor, muss die Intensität ein Minimum haben, da der linear polarisierte Anteil nicht durch den Analysator durchgelassen wird.
- b) Fällt zirkular polarisiertes, teilweise zirkular polarisiertes oder natürliches Licht auf den Analysator, so ändert sich die Helligkeit bzw. der gemessene Strom nicht, da der Feldstärkevektor in jede Richtung den gleichen Betrag hat.
- c) Erzeugt die „black box“ elliptisch polarisiertes oder teilweise elliptisch polarisiertes Licht, so wechselt die Helligkeit.

**Maßnahme II:** Verwendung eines  $\lambda/4$ -Plättchens

Allein mit dem Analysator lässt sich also die Polarisationsart des Lichtes (außer wenn es vollständig linear polarisiert ist) nicht feststellen. Zur weiteren Analyse wird ein  $\lambda/4$ -Plättchen benutzt. Das ist eine Platte aus doppelbrechendem Material, deren Dicke so gewählt wird, dass die Phasendifferenz zwischen dem ordentlichen und außerordentlichen Strahl beim Durchgang durch den Kristall  $\pi/2$  (das entspricht einem Gangunterschied von  $\lambda/4$ ) beträgt.

Als Achsen des  $\lambda/4$ -Plättchens werden die Polarisationsrichtungen des ordentlichen bzw. außerordentlichen Strahls bezeichnet. Sie stehen senkrecht aufeinander. Ein  $\lambda/4$ -Plättchen bewirkt immer nur für eine bestimmte Wellenlänge eine Phasendifferenz von genau  $\lambda/2$ . Im Versuch wird die grüne Hg-Linie bei  $\lambda = 546,0$  nm verwendet. Fällt linear polarisiertes Licht, dessen Polarisationsrichtung parallel zu einer der beiden Achsen ist, auf das Plättchen, so verlässt wieder linear polarisiertes Licht das  $\lambda/4$ -Plättchen. Bildet die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes einen Winkel von  $45^\circ$  mit den Achsen, so entsteht zirkular polarisiertes Licht. Bei einem Winkel, der von  $0$  und  $90^\circ$  verschieden ist, erhält man elliptisch polarisiertes Licht. Dieser Vorgang ist auch umkehrbar, d.h. einfallendes zirkular bzw. elliptisch polarisiertes Licht verlässt bei entsprechender Achsenstellung das  $\lambda/4$ -Plättchen als linear polarisiertes Licht. Damit kann man die Polarisationsrichtung wie folgt eingrenzen:

- Das  $\lambda/4$ -Plättchen wird zwischen „black box“ und Analysator in den Strahlengang gesetzt. Einfallendes natürliches Licht verlässt das  $\lambda/4$ -Plättchen wieder als natürliches Licht. Man wird also eine gleichbleibende Helligkeit beim Drehen des Analysators beobachten.
- Zirkular polarisiertes Licht wird vom  $\lambda/4$ -Plättchen in linear polarisiertes Licht umgewandelt. Hinter dem Analysator muss bei einer Analysatorstellung also völlige Dunkelheit herrschen.
- Falls nur teilweise zirkular polarisiertes Licht einfällt, erhält man beim Drehen des Analysators Intensitätsschwankungen. Es wird jedoch keine völlige Dunkelheit erreicht.

**Maßnahme III:** Kombination von I und II

Wenn bis hierher die genaue Art der Polarisation noch nicht ermittelt werden konnte, muss man noch einen Schritt weitergehen. Man bestimmt zuerst ohne  $\lambda/4$ -Plättchen die **Analysatorstellung, bei der ein Minimum** vorliegt. Ein  $\lambda/4$ -Plättchen wird so eingesetzt, dass eine Achse des  $\lambda/4$ -Plättchens **parallel zu dieser Analysatorstellung** ist. Es bewirkt, dass aus

dem elliptisch polarisierten Anteil linear polarisiertes Licht entsteht. Jetzt dreht man den Analysator und beobachtet die Intensität. Man kann sich nun leicht überlegen, dass im Allgemeinen das Minimum der Intensität jetzt bei einer anderen Analysatorstellung liegt. Fällt völlig elliptisch polarisiertes Licht ein, entsteht völlig linear polarisiertes Licht, d.h. die Helligkeit beim Drehen des Analysators erreicht bei einer Stellung Null. Das Minimum liegt, wie schon gesagt, bei einer anderen Analysatorstellung. Ist das einfallende Licht teilweise linear polarisiert und fällt parallel zu einer Achse des  $\lambda/4$ -Plättchens ein (das wird durch die oben erwähnte Maßnahme gewährleistet), so bleibt es linear polarisiertes Licht. Somit fällt auch das jetzt beim Drehen des Analysators festgestellte Minimum mit der vorher ermittelten Minimumrichtung zusammen.

### 3. Versuchsdurchführung

Als erstes ist die Hg-Lampe einzuschalten, da sie etwa 10 min zum Erwärmen braucht und erst dann gleichbleibende Lichtintensität liefert. Während des Versuches darf die Lampe nicht abgeschaltet werden, weil eine heiße Quecksilberdampflampe nicht wieder zündet. Die Intensität des Lichtes wird mit einer Fozelle, an die ein Messgerät geschaltet ist, gemessen.

- Bestimmen Sie zunächst die Durchlassrichtung des Analysators unter Zuhilfenahme des Glasplattensatzes, der Licht mit horizontaler Schwingungsebene durchlässt.
- Bestimmen Sie danach die Lage der Achsen des  $\lambda/4$ -Plättchens mit Hilfe des Glasplattensatzes und des Analysators

Jetzt kann mit der eigentlichen Messung (Aufgabe 1.1 bis 1.3) begonnen werden:

- 3.1 (zu Aufgabe 1.1) Bestimmen Sie den Polarisationsgrad für 1, 2, 4, 8 und 16 Platten. Tragen Sie sowohl Ihre Messwerte als auch die nach Gl.2 berechneten Vergleichswerte in ein Diagramm ein. Diskutieren Sie mögliche Abweichungen zwischen Experiment und Theorie.
- 3.2 (zu Aufgabe 1.2) Nutzen Sie zur Erzeugung des linear polarisierten Lichtes den Glasplattensatz mit 16 Platten. Messen Sie die Intensität nach Durchgang durch den Analysator über eine volle Drehung in  $20^\circ$ - Schritten. Zeichnen Sie die Messkurve und überlegen Sie, welche mathematische Funktion ihr zugrunde liegt.
- 3.3 (zu Aufgabe 1.3) Verfahren Sie so, wie in Abschnitt 2.3 beschrieben (Schema Bild 2). Berücksichtigen Sie dabei das Auftreten unvermeidlicher Messungenauigkeiten (z.B. wird im Versuch das Minimum der Intensität niemals exakt Null betragen). Schließen Sie aus der gefundenen Polarisationsart auf den Inhalt der „black box“.

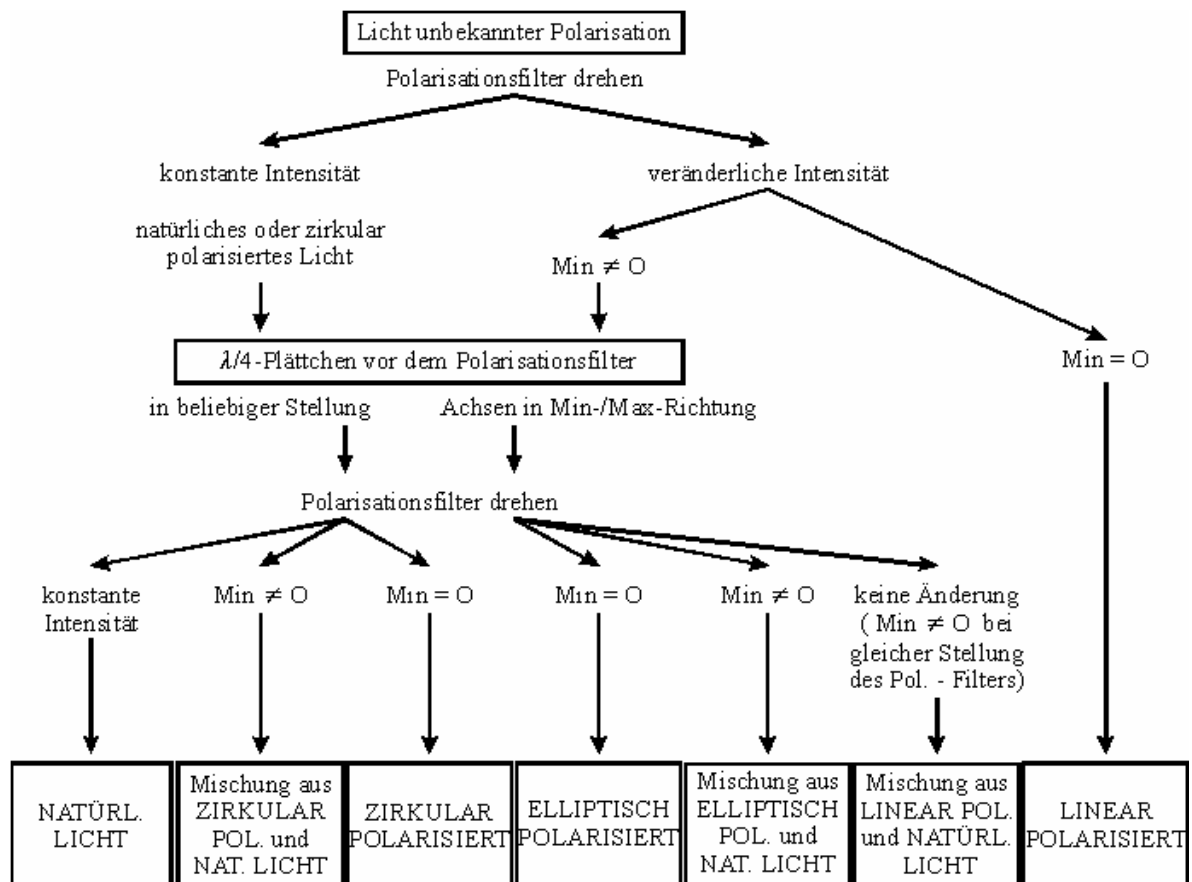


Bild 2: Schema zur Analyse des Polarisationszustands von Licht.

Link zum Versuch 412: Übersicht von Herstellungsmöglichkeiten von polarisiertem Licht:

<https://www.physik.uni-jena.de/pafmedia/praktika/physikalisches+grundpraktikum/versuche-----anleitungen/v+412.pdf>

Weitere nützliche Links

zu Animationen für ein Verständnis der Polarisation bei elektromagnetischen Wellen:

- Lineare und zirkulare Polarisation (rechts und links-drehend):

<https://www.photophysics.com/circular-dichroism/chirscan-technology/understanding-polarization/>

- Verschiedene Arten von polarisiertem Licht und ihre Entstehung:

[https://cddemo.szialab.org/index\\_de.html](https://cddemo.szialab.org/index_de.html)

- Interaktives Überlagern von selbstgewählten Wellentypen:

<https://emanim.szialab.org/index.html>

- Arbeitsweise von  $\lambda/2$ - und  $\lambda/4$ -Plättchen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Verzögerungsplatte>