

Optisches Praktikum Aufgabe 6:
Reflexion polarisierten Lichtes

1. Ziel der Aufgabe

- Grundlagen zur Reflexion von Licht
- Polarisiertes Licht
- Fresnelsche Formeln
- Bestimmung des Reflexionsgrades und -koeffizienten von polarisiertem Licht an einer Luft-Glas-Grenzfläche

2. Grundlagen

2.1 Reflexion von Licht

Fällt Licht mit einem Einfallswinkel i auf die Grenzfläche zweier Medien verschiedener Brechzahlen n und n' , so wird ein Teil des Lichtes in das erste Medium zurückgeworfen (reflektiert), während der übrige Teil in das zweite Medium eindringt (siehe Bild 1).

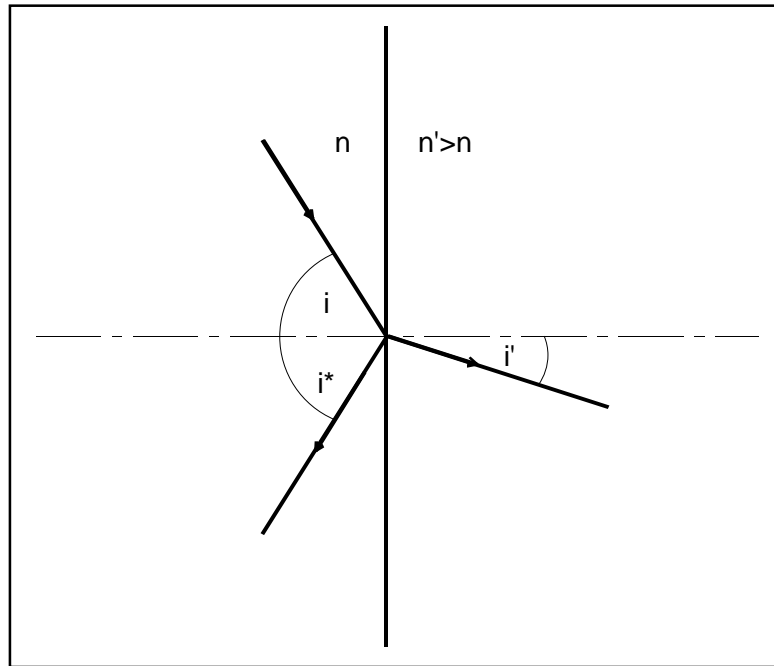


Bild 1: Reflexion und Brechung des Lichtes an einer Grenzfläche zweier Medien verschiedener Brechzahlen n und n'

Es gilt folgendes Reflexions- und Brechungsgesetz:

$$i = -i^* \quad (\text{Reflexionsgesetz})$$

$$n \sin i = n' \sin i' \quad (\text{Brechungsgesetz nach Snellius})$$

mit i, i', i^* : Einfallswinkel-, Brechungswinkel- und Reflexionswinkel,
 n, n' : Brechzahlen der beiden Medien.

Der Anteil des reflektierten (bzw. durchgelassenen) Lichtes hängt von den Brechzahlen, vom Einfallswinkel und vom Polarisationszustand des einfallenden Lichtes ab.

2.2 Polarisiertes Licht

Bei **unpolarisiertem** Licht schwingt der elektrische Feldvektor in allen möglichen Richtungen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung.

Bei **linear** polarisiertem Licht schwingt der elektrische Feldvektor nur in einer Ebene. Dabei wird speziell senkrecht und parallel polarisiertes Licht unterschieden, wobei bei senkrecht polarisiertem Licht der elektrische Feldvektor senkrecht zur Einfallsebene und bei parallel polarisiertem Licht parallel zur Einfallsebene schwingt.

Bei **elliptisch** polarisiertem Licht beschreibt der elektrische Feldvektor eine elliptische Schraubenlinie, im Sonderfall eines Kreises herrscht **zirkular** polarisiertes Licht vor.

2.3 Reflexionskoeffizienten, Fresnelsche Formeln

Die Gesetzmäßigkeiten der Reflexion an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien folgen aus der elektromagnetischen Lichttheorie (Lösung der Maxwell'schen Gleichungen und Beachtung der aus der Elektrostatik und Magnetostatik bekannten Stetigkeitsbedingungen für Feldvektoren). Dies führt auf die **Fresnelschen Formeln**. Wir beschränken uns hier auf die Reflexion. Das Amplitudenverhältnis von reflektiertem und einfallendem Licht (Reflexionskoeffizient) wird mit r bezeichnet. Die Intensität ist dem Betragsquadrat der Amplitude proportional. Daher ist das Reflexionsvermögen (Reflexionsgrad) $R = r^2$. Wir denken uns das einfallende Licht zerlegt in zwei Komponenten. Die eine ist parallel polarisiert, d.h. der elektrische Vektor schwingt in der Einfallsebene (Zeichenebene), die andere ist dazu senkrecht polarisiert. Für diese beiden ausgezeichneten Polarisationsrichtungen lauten die Fresnelschen Formeln:

$$r_p = \frac{\tan(i - i')}{\tan(i + i')} = \frac{n' \cos i - n \cos i'}{n' \cos i + n \cos i'}$$

$$r_s = -\frac{\sin(i - i')}{\sin(i + i')} = -\frac{n' \cos i' - n \cos i}{n' \cos i' + n \cos i}$$

mit i, i' : Einfalls- bzw. Brechungswinkel des Lichtes,
 n, n' : Brechzahlen der beiden Medien.

r_s wächst monoton mit dem Einfallswinkel und wird (sofern nicht Totalreflexion auftritt) für streifenden Einfall $|r_s| = 1$. Dagegen hat r_p eine Nullstelle (Gesetz von Malus) und wechselt das Vorzeichen. Für streifenden Einfall wird $r_p = r_s$. Bei senkrechtem Einfall muß natürlich $r_p = -r_s$ sein. Entsprechend der Unterscheidung von r_s und r_p sind die zugehörigen Reflexionsgrade definiert als $R_s = r_s^2$ und $R_p = r_p^2$. Der Winkel i_B , für den $r_p = 0$ wird, heißt Brewsterwinkel. Er ist gegeben durch:

$$i_B + i'_B = 90^\circ \quad \text{oder} \quad \tan i_B = \frac{n'}{n}.$$

(Anwendungen: Herstellung von linear polarisiertem Licht, verlustfreie Transmission von linear polarisiertem Licht; Verminderung von störenden Reflexen durch zusätzliche Polarisationsfilter, z.B. in der Photographie).

3. Versuchsaufbau / -durchführung

Die Meßapparatur besteht aus einer Glühlampe (6 V, 15 W), einem Kollimator, einer auf einem Drehtisch befestigten Glasplatte und einem auf einer Winkelskala schwenkbaren Empfänger.

Die Glasprobe besteht aus Schwarzglas, das den gebrochenen Anteil absorbiert, so daß Reflexe an der Rückseite die Messungen nicht verfälschen können. Der Empfänger ist eine Photozelle, deren Strom mit einem elektronischen Meßverstärker bestimmt wird.

Das auf die Glasprobe fallende Licht wird linear polarisiert durch ein Polarisationsfilter, das auf dem Kollimator drehbar aufgesetzt ist.

Zur Messung wird durch Schwenken des Empfängers der Winkel $2i$ eingestellt und dann die Glasprobe geschwenkt, bis das Meßinstrument Maximalausschlag zeigt. Dann hat der Einfallswinkel den Wert i .

Die Einstellung der Polarisationsrichtung wird ebenfalls photoelektrisch kontrolliert; da stets $|r_p|^2 \ll |r_s|^2$ ist, kann durch Drehen des Polarisators auf minimalen bzw. maximalen Photozellenstrom zu Beginn der jeweiligen Meßreihe parallele bzw. senkrechte Polarisation eingestellt werden (zweckmäßig geschieht das bei $2i \approx 100^\circ$).

Der Winkel $2i$ kann zwischen 25° und 150° variiert werden. Um die einfallende Intensität zu messen, wird zum Schluß jeder Meßreihe der Drehtisch vorsichtig abgehoben und der Empfänger (**ohne Veränderung am Polarisator!**) auf Maximalausschlag eingestellt.

Meßverstärker nicht ohne Assistenten anschließen!!!

4. Aufgaben

4.1 Die Abhängigkeit des reflektierten Lichtes von den Brechzahlen, dem Einfallswinkel und dem Polarisationszustand soll untersucht werden durch Messung der Reflexion linear polarisierten Lichtes an einer Luft-Glas-Grenzfläche.

4.2 Es steht eine Glasprobe zur Verfügung, bei der eine Seite mit einer reflexmindernden Beschichtung bedampft ist.

Für die nicht beschichtete Seite soll je eine Meßreihe für parallel und senkrechte Polarisation durchgeführt werden. Für die beschichtete Seite sollen ebenfalls beide Meßreihen aufgenommen werden.

Dabei soll $2i$ in Schritten von 10° , in der Nähe des Brewster-Winkels in Schritten von 5° verändert werden. Für die beschichtete Seite ist $2i$ im Bereich 0° bis 60° in 5° -Schritten, danach in 10° -Schritten zu verändern.

5. Auswertung

a) nicht beschichtete Seite

- Graphische Darstellung von $R_p(i)$ und $R_s(i)$ (Extrapolation für $i=0$)
- Entsprechende Darstellung von $r_p(i)$ und $r_s(i)$
(die Werte ergeben sich aus $|r_s| = \sqrt{R}$; das Vorzeichen kann aus den Fresnelschen Formeln bestimmt werden ($n=1, i \geq i'$)).
- Bestimmung des Brewsterwinkels aus $r_p(i)$ und Berechnung der Brechzahl des Glases.
- Bestimmung der Brechzahl aus $r_p(0)$ und $r_p(0)$.

b) beschichtete Seite

Graphische Darstellung von $R_p(i)$ und $R_s(i)$

6. Diskussionsfragen

- Vereinfachen sich die Fresnelschen Formeln für senkrechten Lichteinfall?
- Die Transmission an einer Grenzfläche ist $T = I - R$. Wie groß ist die Gesamttransmission beim Durchgang durch mehrere Grenzflächen (z. B. mehrlinsiges Objektiv?).
- Wie wirkt eine reflexmindernde Einzelschicht?
- Wie ist zu verstehen, daß der Graph des Reflexionskoeffizienten im Brewsterwinkel einen „Knick“ aufweist?

Literatur

1. R. Pohl: **Optik und Atomphysik**,
Springer Verlag, Berlin 1976, 13. Aufl., OIB 745 e/f
2. L. Bergmann, C. Schäfer: **Lehrbuch der Experimentalphysik**,
Bd. III, Optik, de Gruyter, Berlin 1993, 9. Aufl.