
O11 Polarisation durch Reflexion an Glas

Physikalische Grundlagen

Grundbegriffe
Reflexionsgesetz
Brechungsgesetz
Polarisation
Fresnelsche Formeln
Reflexionsvermögen
Brewsterwinkel

Fällt Licht auf eine Grenzfläche, die von zwei schwach absorbierenden, aneinander stoßenden Medien mit den unterschiedlichen Brechungsindizes n_1 , n_2 gebildet wird (z. B. Luft-Glas), so findet eine Aufspaltung des Strahlenganges in einen durchgehenden (gebrochenen) und einen reflektierten Lichtanteil statt. Ist α_e der Einfallswinkel (Abb. 16.1), α_r der Reflexionswinkel und α_g der Brechungswinkel der entsprechenden Teillichtbündel, so gelten die Beziehungen:

$$\alpha_e = \alpha_r \quad \text{Reflexionsgesetz} \quad (16.1)$$

$$n_1 \sin \alpha_e = n_2 \sin \alpha_g \quad \text{Brechungsgesetz} \quad (16.2)$$

Beide Gesetze liefern Aussagen über die Richtung der Lichtbündel, nicht aber über ihre Intensitäten I_r und I_g . Die Berechnung der Intensitäten für das durchgehende und das reflektierte Licht führt über die Fresnelschen Formeln¹. Die Formeln für das hier interessierende reflektierte Licht lauten

$$E_{rs} = -E_{es} \frac{\sin(\alpha_e - \alpha_g)}{\sin(\alpha_e + \alpha_g)} \quad (16.3a)$$

$$E_{rp} = E_{ep} \frac{\tan(\alpha_e - \alpha_g)}{\tan(\alpha_e + \alpha_g)}. \quad (16.3b)$$

Der Index s steht für linear polarisiertes Licht, dessen elektrischer Feldstärkevektor E senkrecht zur Einfallsebene schwingt. Der Index p steht entsprechend für linear polarisiertes Licht, dessen elektrischer Feldstärkevektor E in der Einfallsebene (d.h. parallel zu dieser) schwingt. Das Verhältnis der Intensitäten I_r und I_e des reflektierten und einfallenden Lichts bezeichnet man als Reflexionsvermögen

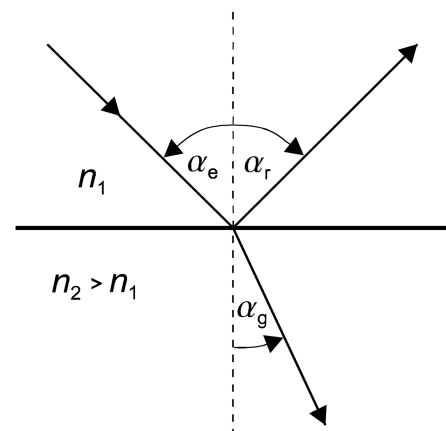


Abbildung 16.1: Brechung und Reflexion

¹siehe hierzu z.B. Demtröder Bd. II oder Bergmann-Schaefer Bd. II

R. Damit folgt mit den Gleichungen (16.3) wegen $I \sim E^2$ für das Reflexionsvermögen für die zur Einfallsebene senkrechte bzw. parallele Lichtkomponente

$$R_s = \frac{I_{rs}}{I_{es}} = \frac{E_{rs}^2}{E_{es}^2} = \frac{\sin^2(\alpha_e - \alpha_g)}{\sin^2(\alpha_e + \alpha_g)} \quad (16.4a)$$

$$R_p = \frac{I_{rp}}{I_{ep}} = \frac{E_{rp}^2}{E_{ep}^2} = \frac{\tan^2(\alpha_e - \alpha_g)}{\tan^2(\alpha_e + \alpha_g)}. \quad (16.4b)$$

In Abb. 16.2 sind die Quadratwurzeln des Reflexionsvermögens R für beide Komponenten für die Kombination Luft ($n_1 = 1$) und Kronglas ($n_2 = 1.5$) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel dargestellt. Folgende Spezialfälle sind interessant:

1. Senkrechter Einfall Bei senkrechtem Einfall ist das Reflexionsvermögen für beide Komponenten gleich und die Fresnelschen Formeln liefern für $\alpha_e = 0$:

$$R_s = R_p = R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2. \quad (16.5)$$

So ist z.B. für die Kombination Luft/Kronglas das Reflexionsvermögen $R = (0.5/2.5)^2 = 0.04$, d.h. nur 4% der einfallenden Intensität werden reflektiert, der weitaus größte Teil tritt durch die Grenzfläche in das Medium 2 ein.

2. Brewsterwinkel Unter einem bestimmten Einfallswinkel α_B , dem so genannten Brewsterwinkel, wird das Reflexionsvermögen R_p für die Parallelkomponente Null (Abb. 16.2). Fällt natürliches (unpolarisiertes) Licht unter diesem Winkel auf die Grenzfläche, so ist das reflektierte Licht vollkommen linear polarisiert, und zwar senkrecht zur Einfallsebene. Es soll an dieser Stelle aber darauf hingewiesen werden, dass für die Praxis Polarisationsverfahren (d.h. Erzeugung von polarisiertem Licht aus natürlichem Licht) mit geringeren Lichtverlusten zur Verfügung stehen (z.B. Nicolsches Prisma). Man erkennt aus Gl. (16.4b), dass das Reflexionsvermögen für die Parallelkomponente genau für den Einfallswinkel $\alpha_e = \alpha_B$ Null wird, für den $\alpha_B + \alpha_g = 90^\circ$ wird. Hieraus und aus dem Brechungsgesetz Gl. (16.2) folgt für den Brewsterwinkel

$$\tan \alpha_B = \frac{n_2}{n_1}. \quad (16.6)$$

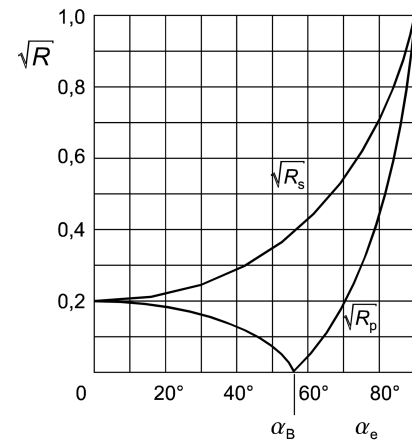


Abbildung 16.2: Quadratwurzeln des Reflexionsvermögens

Aufgaben

1. Messung der Intensitäten des reflektierten Strahls für parallel und senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes Licht im α_e -Bereich von 5° bis 85° in Schritten von 2.5° .
2. Grafische Darstellung der Quadratwurzeln des Reflexionsvermögens R_s und R_p als Funktion des Einfallswinkels α_e und Entnahme des Brewsterwinkels α_B aus der Darstellung.
3. Bestimmung des Brechungsindex des Glases.

4. Berechnung der theoretischen Kurven $\sqrt{R} = f(\alpha_e)$ und Eintrag in die Darstellung der experimentellen Ergebnisse (Aufgabe 2).

Versuchsdurchführung

Den Aufbau der Versuchsanordnung zeigt Abb. 16.3. Aus der Laserdiode der Lichtquelle LQ tritt ein ausreichend paralleles Lichtbündel aus, welches bereits senkrecht zur Einfallsebene der Anordnung polarisiert ist. Das Licht passiert zunächst die zwei um die optische Achse des Systems drehbaren Polarisationsfilter PF1 und PF2 und trifft anschließend auf die als Reflektor R dienende Planfläche einer halbierten Zylinderlinse Z. Die Drehwinkeleinstellung der Polarisatoren erfolgt anhand der Winkelskalen auf den Polarisatoren und feststehenden Marken M auf der Halterung.

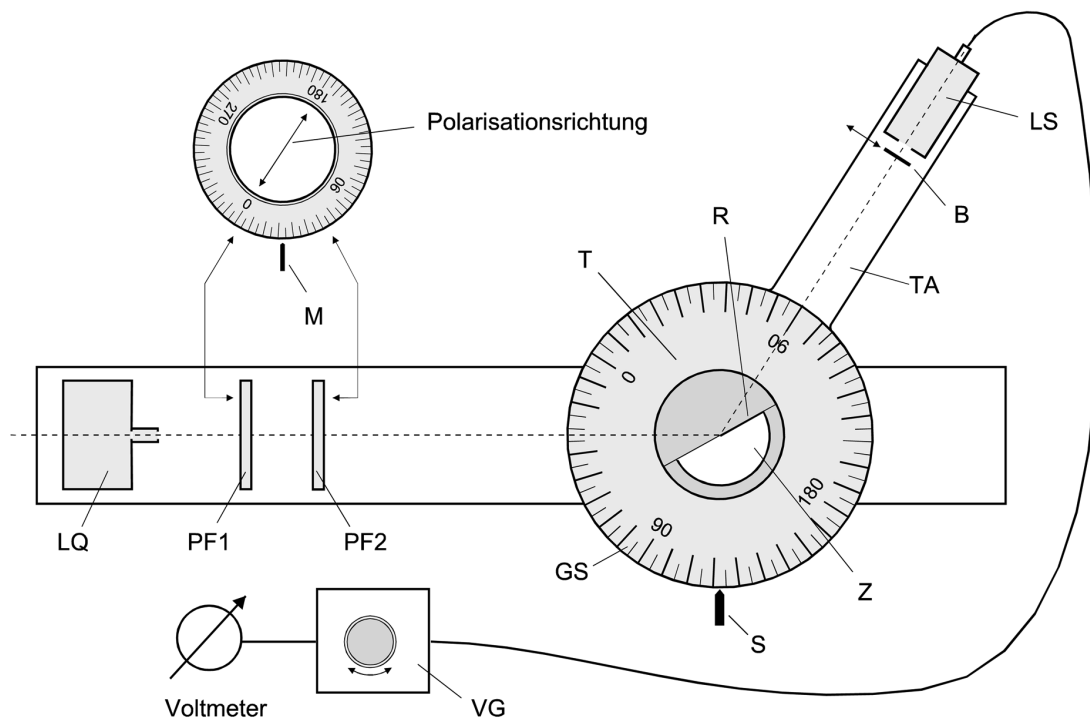


Abbildung 16.3: Versuchsanordnung

Senkrecht zur Einfallsebene polarisiertes Licht ergibt sich für die Winkeleinstellungen 0° oder 180° . Der in diesem Versuch interessierende reflektierte Lichtanteil wird von einem Lichtsensor LS aufgenommen, dessen Tragarm TA um die senkrecht zur optischen Achse verlaufende Achse des Tisches T geschwenkt werden kann und dessen Winkelstellung auf einer Gradskala GS an der Strich-Markierung S ablesbar ist. Um dieselbe Achse wird der Reflektor R so gedreht, dass das reflektierte Licht in die Mitte der Sensoröffnung eintritt. Hierbei muss der Reflektor R (also die Planfläche der Linse) fest an der Stufe seiner drehbaren Auflage anliegen. In diesem Fall ist der eingestellte Einfallswinkel genau die Hälfte des an der Gradskala GS ablesbaren Winkels.

Zur präzisen Einstellung des Lichtstrahls auf die Mitte der Sensoröffnung dient eine ein-schwenkbare Blende B, welche nach der Einstellung wieder aus dem Strahlengang herausgeschwenkt wird. Dieser Vorgang ist bei jeder neuen Winkeleinstellung zu wiederholen. Dabei ist darauf zu achten, dass beim Herausschwenken der Blende die Winkeleinstellung des Sensorarmes nicht verändert wird. Die Lichtsensoranordnung liefert ein zur Lichtintensität proportionales

Spannungssignal von etwa 5 V bei Vollaussteuerung. Die Messungen müssen nicht unbedingt bei völliger Dunkelheit, aber im stark abgedunkelten Raum stattfinden. Vor Ausführung der Messungen sind einige Justier- und Einstellarbeiten erforderlich. Zuerst wird der Drehwinkel von Filter PF1 auf 45° eingestellt, mit dem Filter PF2 die gewünschte Polarisationsrichtung ausgewählt und der Sensortragarm TA an der Skale GS genau auf 180° geschwenkt. Der Laserstrahl wird bei entferntem Reflektor R vermittels der Stellschrauben am Halter der Laserdiode und mit Hilfe der eingeschwenkten Blende B auf die Mitte der Sensoreintrittsöffnung justiert.

Anschließend muss die Ausgangsspannung der Lichtsensoranordnung *bei unterbrochenem Lichtstrahl* mit dem Drehknopf am Versorgungsgerät VG des Sensors auf 0 V einjustiert werden. Hierdurch wird ein gerätebedingter Offset des Sensors und ein Untergrundsignal (Resthelligkeit des Raumes) kompensiert. Zum Abschluss wird bei freigegebenem Lichtstrahl und herausgeschwenkter Blende B durch Drehen des Filters PF1 die einfallende Intensität I_e so ausgewählt, dass die Sensorausgangsspannung U_e etwa 4.5 V beträgt. Bei dieser Vorwahl vermeidet man einerseits eine Übersteuerung und erreicht andererseits die größte Empfindlichkeit der Sensoranordnung.

Für Aufgabe 4 ergibt sich das Reflexionsvermögen nach

$$R(\alpha_e) = \frac{I_r(\alpha_e)}{I_e} = \frac{U_r \alpha_e}{U_e}.$$

Fragen

1. Die Laserdiode liefert senkrecht zur Einfallsebene der Messanordnung polarisiertes Licht. Im Versuch soll bei geeigneter Winkelstellung der Polarisationsfilter PF1 und PF2 auch mit parallel zur Einfallsebene polarisiertem Licht gemessen werden, dessen Intensität außerdem durch Drehen von einem der Polarisationsfilter variiert werden kann. Wie kann man das verstehen?
2. Was besagen die Fresnelschen Formeln und auf welchen physikalischen Erscheinungen beruhen sie?
3. Welche Aussagen können Sie über die Polarisation des gebrochenen Strahls machen?
4. Welche anderen Methoden zur Erzeugung von polarisiertem Licht gibt es?