

O3P Polarisation

Grundlagen

Licht als eine transversale elektromagnetische Wellenerscheinung ist durch die untrennbar miteinander verknüpften elektrischen und magnetischen Anteile der jeweiligen Felder charakterisiert. Dabei stehen die beiden Feldanteile senkrecht aufeinander. Die Ebene, in der der Vektor der elektrischen Feldstärke schwingt, wird als Schwingungsebene bezeichnet. Der magnetische Anteil oszilliert ebenfalls in einer dazu senkrechten Ebene, die Polarisationssebene genannt wird. Trifft Licht auf die Atome in dielektrischen Stoffen, werden diese fast ausschließlich durch die elektrische Feldstärke polarisiert und führen selbst Schwingungen in der Richtung des elektrischen Feldes aus. Liegt die Schwingungsrichtung des einfallenden Lichtstrahls in der Einfallsebene, aufgespannt durch die Richtung des Lichtstrahls und das Einfallslot, schwingen die Dipole im Dielektrikum ebenfalls in dieser Ebene. Da sie in ihrer Schwingungsrichtung kein Licht aussenden können, wenn der Winkel zwischen reflektiertem und gebrochenem Strahl 90° beträgt, kein Licht reflektiert werden. Gemäß dem Brechungsgesetz ist das gerade unter der Bedingung

$$\tan \alpha_P = \frac{n_2}{n_1} \quad (1)$$

der Fall. Der Einfallswinkel α_P ist der Brewsterwinkel für das Medium und n_1 bzw. n_2 die Brechzahlen der beteiligten Medien.

Natürliches Licht besteht aus vielen einzelnen, jeweils in zufälliger Richtung schwingenden Wellenzügen. Alle Schwingungsrichtungen sind im Mittel gleichmäßig vertreten. Jedoch kann jede willkürliche Schwingungsrichtung in eine parallel und eine senkrecht zur Einfallsebene schwingende Komponente zerlegt werden. Trifft ein solcher Lichtstrahl unter dem Brewsterwinkel α_P auf, fehlen im reflektierten Lichtstrahl alle parallel zur Einfallsebene schwingenden Anteile, so dass im reflektierten Licht nur noch senkrecht ausgerichtete Anteile vorhanden sind. Der reflektierte Lichtstrahl ist vollständig polarisiert.

Der Anteil des reflektierten Lichts R bzw. gebrochenen Lichtes D für beliebige Einfallswinkel wird durch die Fresnelschen Formeln beschrieben. Für in der Einfallsebene schwingende Lichtstrahlen gilt

$$R_{||} = 1 - D_{||} = \frac{\tan^2(\alpha - \beta)}{\tan^2(\alpha + \beta)}. \quad (2)$$

Für $\alpha + \beta = 90^\circ$, also bei $\alpha = \alpha_P$, verschwindet der reflektierte Anteil.

Für die Reflexion von senkrecht zur Einfallsebene schwingende Lichtstrahlen gilt

$$R_{\perp} = 1 - D_{\perp} = \frac{\sin^2(\alpha - \beta)}{\sin^2(\alpha + \beta)}. \quad (3)$$

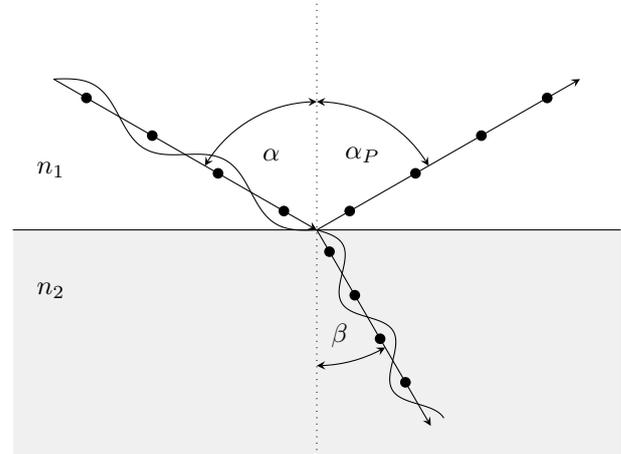


Abbildung 1: Polarisation durch Reflexion. Der Winkel zwischen gebrochenem und reflektiertem Strahl beträgt 90° . Die eingezeichnete, in der Einfallsebene schwingende Lichtwelle kann nicht reflektiert werden, da deren Schwingungsrichtung in Richtung des Reflexionswinkels liegt. Die durch Punkte angedeuteten, senkrecht zur Einfallsebene schwingenden Lichtwellen werden reflektiert.

Für senkrechten Lichteinfall $\alpha = 0$ macht die Unterscheidung der Schwingungsrichtungen keinen Sinn, man erhält aus jeder der beiden Fresnelschen Formeln den Reflexionsgrad

$$R = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2. \quad (4)$$

Um den Reflexionsfaktor zu vermindern, kann auf die Grenzfläche der beiden Medien eine Zwischenschicht mit einer Brechzahl $n_3 \geq n_1$ und $n_3 \leq n_2$ gebracht werden. Der optimale Wert kann vereinfacht aus der Bedingung, dass die beiden einzelnen Reflexionsfaktoren gleich groß sein müssen, bestimmt werden.

Optisch aktive Stoffe haben die Eigenschaft, die Schwingungsrichtung des durch sie hindurchgehenden Lichtes zu drehen. Je nachdem, ob die Drehung im Uhrzeigersinn oder entgegengesetzt erfolgt¹, spricht man von rechts- bzw. linksdrehenden Substanzen. Entsprechend des spezifischen Drehvermögens Ψ und der Dicke d der durchstrahlten Substanz sowie bei wässrigen Lösungen der Konzentration² c der gelösten Substanz, gilt

$$\varphi = \Psi cd. \quad (5)$$

¹Blickrichtung in den Lichtstrahl

²Masse der gelösten Substanz pro Volumen der Lösung

Versuchsvorbereitung

- Was sind Transversal- bzw. Longitudinalwellen? Geben jeweils ein Beispiel an!
- Skizzieren Sie den Verlauf von elektrischem und magnetischem Feld einer elektromagnetischen Welle. Kennzeichnen Sie die Schwingungsebene bzw. die Schwingungsrichtung!
- Polarisierung durch Doppelbrechung
- Leiten Sie das Brewstergesetz (1) her!
- Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der Fresnelschen Formeln (2) und (3)!
- Zeigen Sie, dass für senkrechten Lichteinfall der Reflexionsgrad (4) aus den Fresnelschen Formeln (2) oder (3) folgt!
- Wie groß ist das Transmissionsvermögen einer Glasplatte mit dem Brechungsindex 1,5?
- Leiten Sie einen Ausdruck für die Berechnung des optimalen Brechungsindex für eine reflexionsmindernde Beschichtung her!
Wie groß ist das Transmissionsvermögen der beschichteten Glasplatte?
- Welche Überlegungen spielen bei der Dicke der Beschichtung eine Rolle?
- Anwendungen mit polarisierten elektromagnetischen Wellen

Aufgaben

- Messen Sie das Transmissionsvermögen einer Plexiglasplatte! Berechnen Sie den Brechungsindex!
- Messen Sie winkelabhängig die Intensität des an der Plexiglasplatte reflektierten Lichtes für senkrecht und parallel zur Einfallsebene schwingendes Licht.
Stellen Sie Ihre Messwerte logarithmisch in Abhängigkeit des Winkels dar!
Bestimmen Sie aus der Grafik den Brewsterwinkel!
- Berechnen Sie aus dem gemessenen Brewsterwinkel den Brechungsindex des Plexiglasses!
Bestimmen Sie den Fehler des Brechungsindex!
- Bestimmen Sie das spezifische Drehvermögen von Zucker durch Messung der Drehung der Schwingungsrichtung in Zuckerlösungen verschiedener Konzentration und Schichtdicken!
Führen Sie eine Fehlerschätzung durch!