

# Reflexion und Brechung von Licht

Die Optik spielt in der modernen Technik eine zentrale Rolle, z.B. bei Abbildungssystemen mit Linsen oder bei der Datenübertragung mit Glasfaserkabeln.

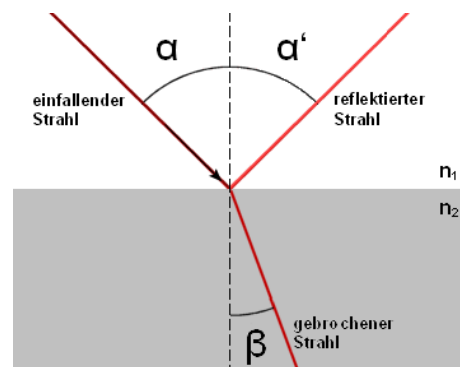
## Ziel

- Sie untersuchen die Gesetze, welche den Verlauf eines Lichtstrahls an einer Grenzfläche zwischen zwei Medien beschreiben.

## Grundlagen

Wenn ein Lichtstrahl von Luft in ein transparentes Material übergeht (z. B. Glas, Plexiglas, Wasser), so stellt man fest, dass der Strahl an der Grenzfläche zwischen Luft und diesem Material seine Ausbreitungsrichtung ändert. Man spricht in diesem Fall von der Brechung des Lichts. Reflexion und Brechung treten gleichzeitig auf, wenn der Lichtstrahl auf ein transparentes Medium auftrifft. Um die Brechung des Lichts zu beschreiben werden die folgenden Größen benutzt:

- Das Lot ist eine gedachte Linie, die senkrecht zur Grenzfläche steht. Es schneidet die Grenzfläche in dem Punkt, wo der Lichtstrahl auf diese auftrifft.
- Der einfallende Lichtstrahl ist der Strahl, der auf die Grenzfläche auftrifft.
- Der reflektierte Lichtstrahl ist der Strahl, der von der Grenzfläche zurückgeworfen wird.
- Beim Durchgang durch die Grenzfläche ändert der einfallende Lichtstrahl seine Ausbreitungsrichtung. Der resultierende Strahl heisst gebrochener Lichtstrahl.
- Der Einfallswinkel  $\alpha$  ist der Winkel zwischen dem Lot und dem einfallenden Lichtstrahl.
- Der Reflexionswinkel  $\alpha'$  ist der Winkel zwischen dem Lot und dem reflektierten Lichtstrahl.
- Der Brechungswinkel  $\beta$  ist der Winkel zwischen dem Lot und dem gebrochenen Lichtstrahl.



## Reflexionsgesetz

Einfallender und ausfallender Strahl bilden mit dem Lot, auch Grenzflächennormale genannt, gleiche Winkel. Ausserdem bilden Einfallsstrahl und Lot eine Ebene, die Einfallsebene, in welcher auch der reflektierte Strahl liegt. Daraus resultiert:

$$\alpha = \alpha' \quad (1)$$

## Brechungsgesetz

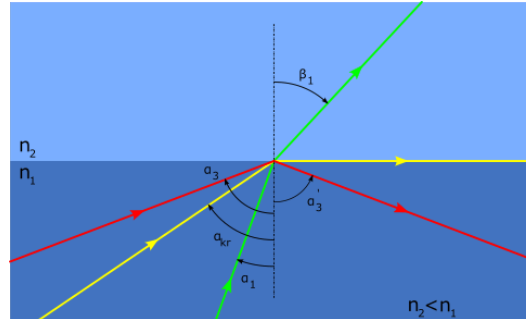
Geht ein Lichtstrahl aus einem lichtdurchlässigen Medium (1) in ein anderes (2) über, so wird er an der Grenzfläche zwischen beiden Materialien gebrochen. Die Ausbreitungsrichtung wird geändert. Entscheidend für den genauen Verlauf ist die Brechzahl  $n$  (auch Brechungsindex genannt) der Stoffe bzw. die Lichtgeschwindigkeit in den Medien. Einfallender, reflektierter und gebrochener Strahl liegen zusammen mit dem Einfallslot in einer Ebene. Das Brechungsgesetz von Snellius lautet:

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) \quad (2)$$

$n_1$  und  $n_2$  heissen Brechzahlen (dimensionslose Grösse) und sind Materialgrössen. Das Verhältnis der Lichtgeschwindigkeiten in Vakuum  $c$  und in Materie  $c_{\text{Medium}}$  wird als Brechzahl des entsprechenden Mediums bezeichnet:  $n = c_0/c_{\text{Medium}}$ . Die Brechzahl des Vakuums  $c_0$  ist dann als 1 definiert (näherungsweise gilt dieser Wert auch für Luft).

### Totalreflexion

Ein Lichtstrahl, der aus einem optisch dichteren Medium kommt und auf die Grenzfläche zu einem optisch dünneren Medium ( $n_1 > n_2$ ) fällt, wird gemäss dem Snelliusschen Brechungsgesetz vom Einfallslot weg gebrochen - der Brechungswinkel  $\beta_1$  ist grösser als der Einfallswinkel des Lichts  $\alpha_1$ . Dieser Fall entspricht dem grünen Strahlenweg in der folgenden Abbildung.



Vergrössert man den Einfallswinkel, so verläuft der gebrochene Strahl bei einem bestimmten Wert parallel zur Grenzfläche (gelber Strahlenweg). Dieser Winkel wird Grenzwinkel der Totalreflexion oder auch kritischer Winkel  $\alpha_{kr}$  genannt. Der Winkel der Totalreflexion lässt sich mithilfe des Snelliusschen Brechungsgesetzes berechnen:

$$\alpha_{kr} = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \tag{3}$$

Anwendung der Totalreflexion: Lichtwellenleiter

#### Material

Reissbrett, Stecknadeln, Spiegel, A3-Papier, Winkelmesser, Glasquader, Glasprisma, Halbzylinder aus Plexiglas, Lampe, Bogenschirm.

#### Messungen

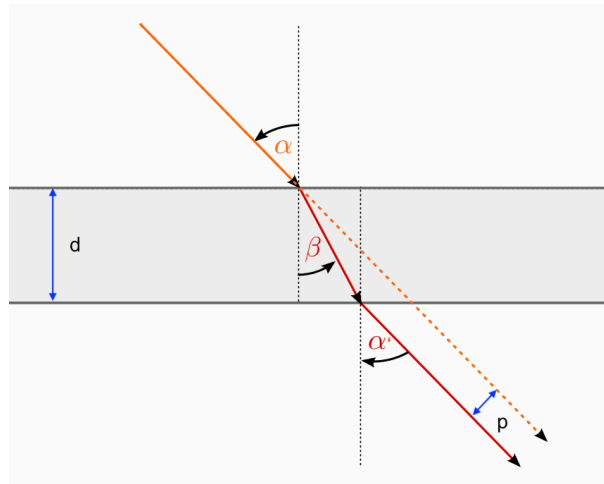
##### 1. Glasquader

- Legen Sie den Glasquader in die Mitte des Papiers (Position einzeichnen!). Die Glasquader wird mit Stecknadeln auf dem Reissbrett fixiert. Platzieren Sie einen Bleistift schräg vor dem Glasquader.
- Betrachten Sie den Bleistift durch den Glasquader hindurch und positionieren Sie einen zweiten Stift genau in der Verlängerung des beobachteten Bildes. Stecken Sie den Strahlengang mit Stecknadeln ab und übertragen Sie ihn aufs Papier.
- Wiederholen Sie den Vorgang für mindestens acht verschiedene Einfallswinkel zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ .  
Hinweis: Sie können die Stifte auch weglassen und nur mit Stecknadeln arbeiten.
- Messen Sie Einfalls-, Brechungs- und Austrittswinkel sowie die Parallelverschiebung der einzelnen Strahlen beim Durchgang durch den Quader. Schätzen Sie die Fehlerschranken der Messungen.

Dicke vom Glasquader:  $d = \dots$

$n$	$\alpha(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	$\alpha'(^{\circ})$	$p(cm)$
1				
...				

$$\Delta\alpha = \dots, \Delta\alpha' = \dots, \Delta\beta = \dots, \Delta p = \dots,$$

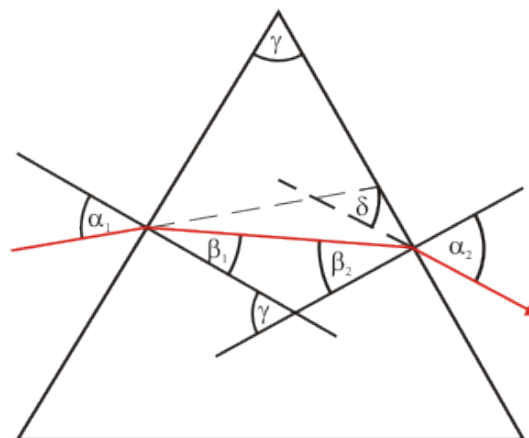


**2. Halbzylinder**

- e) Der halbzylindrische Plexiglaskörper wird mit dem Kreismittelpunkt seiner Grundfläche auf der Mitte der optischen Scheibe angebracht. Man lässt hier das Lichtbündel senkrecht durch die gewölbte Fläche in das Plexiglas auf die Mitte der geraden Seite des Halbzylinders eintreten. Man kann dann an der geraden Seite Reflexion und Brechung für den Übergang von Plexiglas nach Luft beobachten.
- f) Vergrössern Sie langsam der Einfallswinkel  $\alpha$  (optische Scheibe um ihren Mittelpunkt drehen) und beobachten der Lichtstrahl. Was fällt dabei auf? Bei dem kritischen Winkel  $\alpha_{kr}$  wird das gesamte einfallende Licht an der Grenzfläche reflektiert. Für alle Einfallswinkel  $\alpha$ , die grösser als der Winkel  $\alpha_{kr}$  sind, ist der Reflexionsgrad der Grenzfläche 100%. Messen Sie der Grenzwinkel  $\alpha_{kr}$ .

**3. Prisma**

- g) Untersuchen, wie das Licht an einem Prisma gebrochen wird.
  - Beobachten Sie die Farbzerlegung am Prisma.
  - Wie kann man der Strahl um  $180^\circ$  und um  $90^\circ$  ablenken?
  - Falls Zeit vorhanden: Bestimmen den Winkel der Gesamtablenkung  $\delta$  an einem Prisma in Abhängigkeit vom Einfallswinkel  $\alpha_1$  des Lichts. Bestimmen Sie den kleinsten Ablenkungswinkel  $\delta_{min}$ .



**Auswertungen****Glasquader**

- 1) Erfassen Sie die Einfallswinkel und Brechungswinkel für den Übergang von Luft nach Glas in einer Tabelle. Ergänzen Sie in der Tabelle zwei Spalten für die Sinuswerte der Einfallswinkel und Brechungswinkel.
- 2) Stellen Sie den  $\sin \beta$  in Abhängigkeit vom  $\sin \alpha$  in einem Diagramm dar. Ist das Brechungsgesetz erfüllt? Zeichnen Sie die Fehlerbalken.
- 3) Zeichnen Sie am besten zu den Daten passende Ursprungsgerade (=lineare Regression).
- 4) Bestimmen Sie aus den Regressionsparametern die Brechzahl von Glas. Vergleichen Sie Ihr Resultat mit dem theoretischen Wert (vgl. Quarzglas im FoTa).
- 5) Leiten Sie eine algebraische Formel für die Parallelverschiebung der Lichtstrahlen als Funktion von Einfallswinkel  $\alpha$ , Breite des Quaders  $d$  und Brechzahl des Glases  $n$  her (siehe Internet für Herleitung). Berechnen Sie damit die Parallelverschiebungen der von Ihnen untersuchten Strahlen. Überprüfen Sie, ob die Abweichungen von den Messwerten innerhalb der Messfehler liegen.

**Plexiglas-Halbzylinder**

- 6) Warum wird ein halbzyklindrischer Plexiglaskörper benützt und warum soll das Licht durch die gewölbte Fläche auf die Mitte eintreten?
- 7) Wie gross ist der kritische Winkel an der die Totalreflexion stattfindet?
- 8) Aus dem Snelliusschen Brechungsgesetz berechnen Sie die Brechzahl des Halbzyklinders. Vergleichen Sie Ihr Resultat mit dem theoretischen Wert (vgl. FoTa).

**Glasprisma**

- 9) Erklären Sie Ihre Beobachtungen der Brechung am Prisma.

Zusatz: Was ist die Beziehung zwischen der Gesamtablenkung, dem Einfallswinkel, der Brechzahl und dem brechendem Winkel  $\gamma$  vom Prisma. Bestimmen aus dem minimalen Ablenkungswinkel  $\delta_{min}$  die Brechzahl von dem Prisma.

**Bedingungen**

Falls Sie einen Bericht schreiben, geben Sie diesen mit der vollständigen Auswertung ab (Fehlerrechnung wo möglich). Für eine Auswertung ohne Bericht bearbeiten Sie mindestens die Aufgaben 1) bis 4) sowie 7) und 8) ohne Fehlerrechnung.

Abgabetermin ist: