

Aufgaben 13 Geometrische Optik

Reflexion, Brechung, Totalreflexion, Strahlengänge

Lernziele

- das Reflexions- und das Brechungsgesetz zur Analyse und Lösung von konkreten Problemstellungen anwenden können.
- das Phänomen der Totalreflexion verstehen.
- verstehen, wie Licht in einem Wellenleiter geleitet wird.
- den Strahlengang bei Spiegeln und Linsen kennen und verstehen.
- aus einem Experiment neue Erkenntnisse gewinnen können.

Aufgaben

- 13.1 Ein Lichtstrahl fällt auf die Grenzfläche zweier Medien, deren Brechzahlen unbekannt sind. Beim Einfallswinkel 45° misst man einen Ausfallswinkel von 30° .

Beurteilen Sie, was sich über die Brechzahlen der beiden Medien aussagen lässt.

13.2 **Experiment Posten 1: Lichtleitung in einem Wasserstrahl**

Aus einem Glasgefäss fliesst durch ein Abflussröhrchen Wasser. Der Wasserstrahl wird von hinten mit einer Lampe beleuchtet.

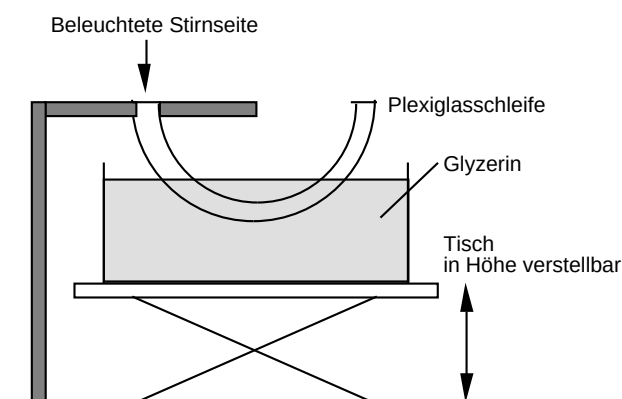
- Beobachten Sie, wie das Licht entlang des parabelförmigen Wasserstrahls geleitet wird. Halten Sie dazu einen Finger in den Wasserstrahl und beobachten Sie den hellen Lichtfleck auf Ihrem Finger.
- Erklären Sie die Lichtleitung durch den Wasserstrahl mit Hilfe der Totalreflexion an der Grenzfläche Wasser-Luft. Fassen Sie das einfallende Licht als einzelne Lichtstrahlen auf. Zeichnen Sie den Weg eines einzelnen Lichtstrahls im Wasserstrahl.

13.3 **Experiment Posten 2: Lichtleitung in einer Glasfaser**

Licht kann durch eine gekrümmte Glasfaser geleitet werden.

Dies wird in der Datenübertragungstechnik angewendet: Licht in einer Glasfaser kann mehr Daten schneller und weniger störungsanfällig übertragen als ein elektrisches Signal in einem elektrischen Kabel.

In einem Experiment, das im Dunkelraum aufgebaut ist, sollen Sie Licht durch eine Plexiglasschleife leiten. Dabei stellt die Plexiglasschleife eine übergrosse Glasfaser dar:



Der in der Höhe verstellbare Tisch ist zunächst so eingestellt, dass die Plexiglasschleife nicht ins Glyzerin eintaucht.

(Fortsetzung auf der Seite 2)

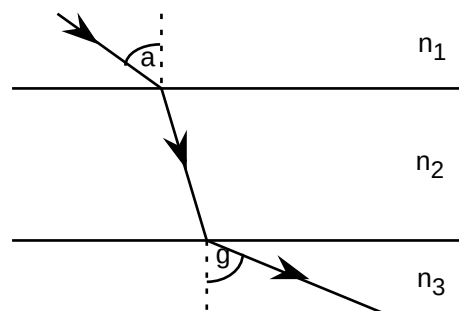
- Beleuchten Sie die eine Stirnseite der Plexiglasschleife mit der Lampe. Überzeugen Sie sich davon, dass bei der anderen Stirnseite der Plexiglasschleife Licht austritt. Das Licht wird also durch die Schleife geleitet.
- Heben Sie den in der Höhe verstellbaren Tisch so weit an, bis die Schleife in das Glyzerin eintaucht. Überzeugen Sie sich davon, dass am Ende der Schleife die Helligkeit des Lichtes abgenommen hat.
- Erklären Sie die Lichtleitung durch die Plexiglasschleife mit Hilfe der Totalreflexion an den Schleifenwänden. Fassen Sie das einfallende Licht als einzelne Lichtstrahlen auf. Zeichnen Sie den Weg eines einzelnen Lichtstrahls in der Schleife.
- Betrachten Sie die nachfolgende Tabelle mit den Brechungsindizes verschiedener Medien. Glyzerin hat eine andere Brechzahl als Luft. Finden Sie eine Erklärung dafür, dass deshalb weniger Totalreflexionen der Lichtstrahlen an der Schleifenwand stattfinden.

Material	Relative Brechzahl (bezogen auf Luft von 20 °C und 1013 hPa und eine Wellenlänge $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)
Luft	1
Plexiglas	1.491
Glyzerin	1.455
Wasser	1.33299

Bem.: Die relative Brechzahl n_{rel} eines Mediums ist definiert als Verhältnis zwischen der (absoluten) Brechzahl n des Mediums und der (absoluten) Brechzahl eines Referenzmediums (hier: n_{Luft}):

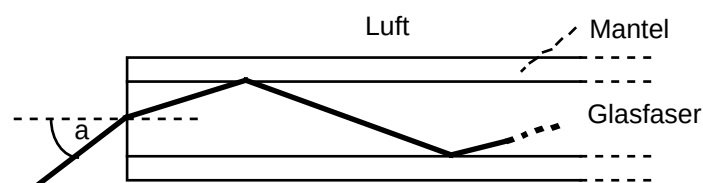
$$n_{\text{rel}} := \frac{n}{n_{\text{Luft}}}$$

- 13.4 Ein Lichtstrahl durchlaufe drei Medien mit den Brechzahlen n_1 , n_2 und n_3 . Der Winkel α sei bekannt und so gewählt, dass keine Totalreflexion an den Grenzschichten auftritt:



Zeigen Sie, dass der Wert des Winkels γ unabhängig ist vom Brechungsindex n_2 des mittleren Mediums.

- 13.5 Ein typischer Lichtleiter, auch **Wellenleiter** genannt, besteht aus einer Glasfaser, die von einem geeigneten Mantel umgeben ist. Ein Lichtstrahl kann stirnseitig in den Wellenleiter eingekoppelt werden:



(Fortsetzung auf der Seite 3)

- a) Geben Sie den maximal möglichen Einkopplungswinkel α an, so dass der eingekoppelte Lichtstrahl durch Totalreflexion an der Grenzschicht Glasfaser-Mantel durch den Wellenleiter geleitet wird.
- b) Zeigen Sie, dass der Lichtstrahl bei jedem Einkopplungswinkel α durch die Glasfaser geleitet würde, d.h. die Glasfaser seitlich nicht verlassen würde, wenn die Glasfaser keine Ummantelung hätte.

13.6 Experiment Posten 3: Strahlengänge

Mit Hilfe des vorliegenden experimentellen Aufbaus kann der Verlauf von Lichtstrahlen bei verschiedenen Objekten (Spiegel, Linsen, Halbkreisscheibe etc.) untersucht werden. Die fünf parallelen Lichtstrahlen (zwei grüne, ein weisser, zwei rote) können wahlweise ein- und ausgeblendet werden.

- a) *Planspiegel*
Beobachten Sie die reflektierten Strahlen, und stellen Sie fest, dass das Reflexionsgesetz erfüllt ist (Ausfallswinkel = Einfallswinkel).
- b) *Hohlspiegel, Wölbspiegel, Sammellinse, Zerstreuungslinse*
Suchen Sie bei allen vier Objekten den Brennpunkt.
- c) *Halbkreisscheibe*
 - i) Beobachten Sie die Brechung des weissen Lichtstrahls an der geraden Kante der Halbkreisscheibe.
Blenden Sie dazu die grünen und roten Lichtstrahlen aus.
 - ii) Beobachten Sie die Totalreflexion, und bestimmen Sie den Grenzwinkel α_G .

Lösungen

13.1 Es lässt sich nur eine Aussage machen über das Verhältnis der beiden Brechzahlen.

$$\frac{n_2}{n_1} = 1.4$$

13.2 ...

13.3 ...

$$13.4 \quad \theta = \arcsin \frac{\hat{n}_1}{\hat{n}_3} \sin(\alpha)$$

$$13.5 \quad a) \quad \alpha \approx \arcsin \frac{\hat{n}_{\text{Glas}}}{\hat{n}_{\text{Luft}}} \sqrt{1 - \frac{n_{\text{Mantel}}^2}{n_{\text{Glas}}^2}}$$

b) ...

13.6 ...