23. Übung zu Physik SS 2020

Ausgabe:26.05.2020 Prof. D. Suter

1. Licht und Medium

(a) Ein optisches Medium hat eine Brechzahl von n=1,48. Wie groß ist die Lichtgeschwindigkeit in diesem optischen Medium?

(b) Weshalb können wir nachts Sterne sehen, die unvorstellbar weit entfernt sind, aber auf der Erde eine Lichtquelle kaum 50 km weit sehen?

(c) In welchen zwei möglichen Fällen wird Licht, das von einem durchsichtigen Medium in ein anderes übergeht, nicht gebrochen?

(a) Die Lichtgeschwindigkeit in dem optischen Medium lässt sich berechnen, indem man die Lichtgeschwindigkeit c_0=2,998·10^8 m/s im Vakuum durch die Brechzahl n=1,48 des optischen Mediums teilt (Kapitel 7.2.3):

$$\frac{c_0}{n} = 2{,}026 \cdot 10^8 \ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$$

(b) Das Licht, das von Sternen zur Erde gelangt, trifft auf seinem Weg durch das Weltall auf kein Hindernis; es breitet sich daher geradlinig und „verlustfrei" über beliebig lange Strecken aus. Nachts können wir, wenn der Himmel nicht zu bewölkt oder neblig ist, dieses Licht daher auch auf der Erde beobachten. Die besten Beobachtungen können allerdings von Satelliten aus gemacht werden, denn entlang des Weges durch die Atmosphäre trifft einfallende Licht auf kleine Wasser-Tröpfchen und wird von diesen aus gleichmäßig in alle Richtungen reflektiert („gestreut") (Kapitel 7.2.5). Diese Streuung findet vor allem in den erdnahen Atmosphären-Schichten statt, da dort eine höhere Gas- und Feuchtigkeitsdichte vorherrscht. Aus dem gleichen Grund können wir auch Lichtquellen auf der Erde nur bedingt weit sehen; bei nebligem Wetter wird die Sichtweite nochmals erheblich verkürzt.

(c) Die zwei möglichen Fälle, in denen Licht beim Übergang von einem transparenten Medium in ein anderes nicht gebrochen wird, lassen sich gut erkennen, indem man die Gleichung für das Brechungsgesetz (Kapitel 7.3.3) folgendermaßen umstellt:

$$\frac{\sin\,(\theta_2)}{\sin\,(\theta_1)} = \frac{n_2}{n_1} \Rightarrow n_1 \sin(\theta_2) = n_2 \sin\,(\theta_1)$$

Soll keine Lichtbrechung stattfinden, so muss $\theta_1 = \theta_2$ gelten. Dies ist einerseits der Fall, wenn $n_1 = n_2$ gilt, also die Brechungsindizes der beiden Medien gleich sind. Andererseits gilt auch $\theta_1 = 0 \ \rightarrow \ \theta_2 = 0$ und damit $\theta_1 = \theta_2$, wenn der eintretende Lichtstrahl senkrecht zur Oberfläche der Grenzschicht verläuft. In allen anderen Fällen tritt Lichtbrechung auf.

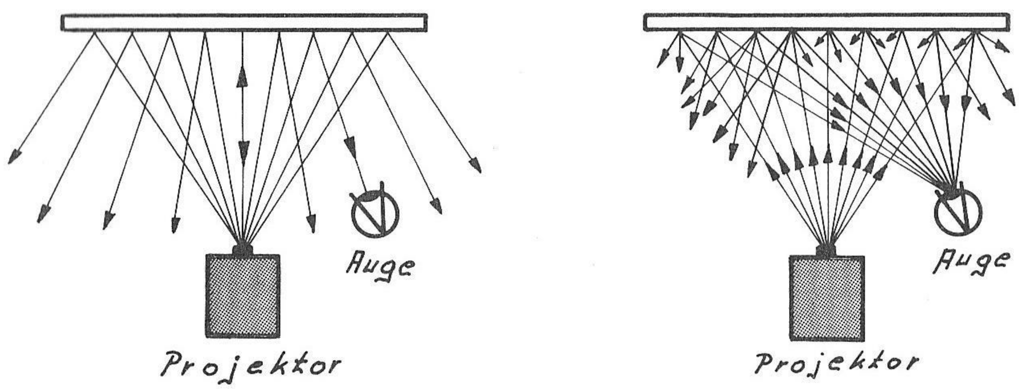
2. Die Superleinwand

Oh je! Das war eine Blamage! Mittels eines Diavortrages über Sommerurlaub wollte Karl seine neue Erfindung - eine Superleinwand vorführen. Doch Karls Erfindung war ein Flop!

Dabei war seine Idee mit der Superleinwand doch einfach genial und Karl auch sonnenklar: Nichts reflektiert Licht besser als ein guter Spiegel und somit ist ein Spiegel eine ideale Leinwand!
Warum eignet sich ein Spiegel nicht als Projektionsfläche für Dias und Filme?

Das vom Projektor ausgesandte Licht wird von einem Spiegel nach dem Reflexionsgesetz reflektiert. Deshalb fällt nur ein schmales Strahlenbündel in das Auge des Zuschauers. Er sieht also nur einen kleinen Bildausschnitt (Skizze a).

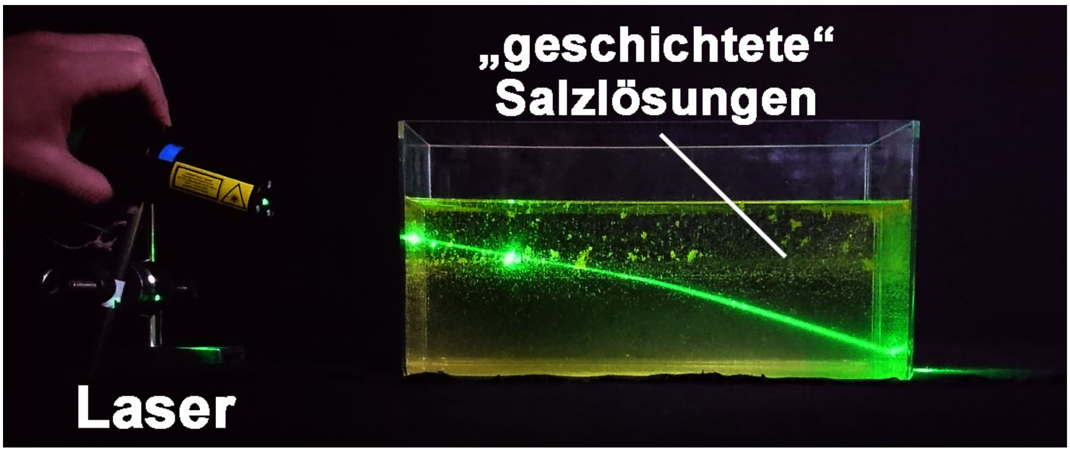
a) Ein Spiegel als "Leinwand" (Reflexion) b) Eine handelsübliche Leinwand (Streuung)



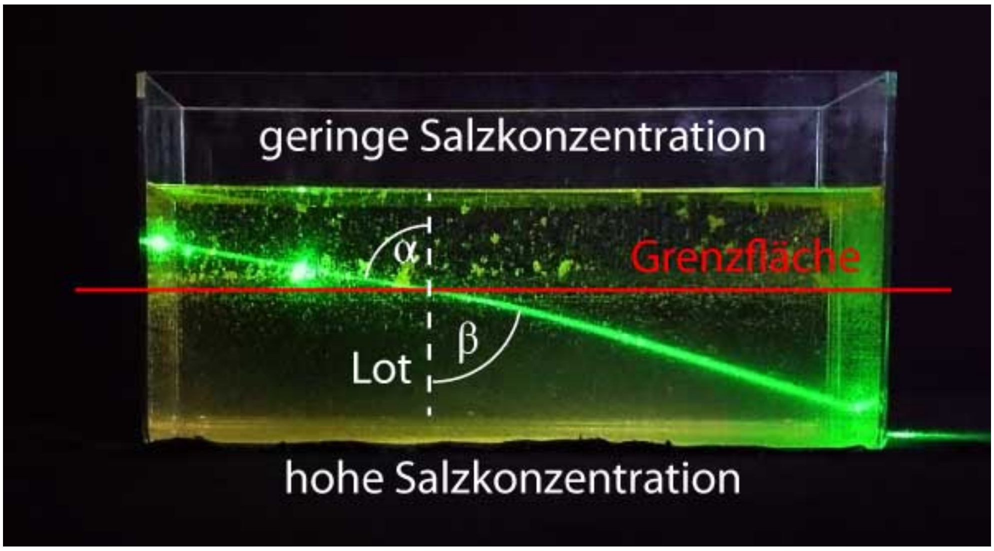
Eine handelsübliche Leinwand wirft das Licht jedoch nach allen Seiten zurück (diffuse Reflexion (Kapitel 7.3.1)), sodass von jedem Punkt der Leinwand Licht in das Auge des Zuschauers fällt. Er sieht das ganze Bild (Skizze b).

3. Lichtstrahl in Salzlösungen

Erklären Sie das Zustandekommen des gebogenen Lichtstrahls mithilfe des Brechungsgesetzes. Nehmen Sie dazu an, dass sich im Aquarium mehrere Salzlösungen (Wasser mit aufgelöstem Salz) mit nach unten steigender Salzkonzentration befinden. Geben Sie dabei auch an, ob Salzwasser optisch dünner oder optisch dichter ist als Leitungswasser.



Der Lichtstrahl tritt seitlich relativ weit oben in das Aquarium ein. Dort ist die Salzkonzentration relativ gering. Im weiteren Verlauf trifft der Lichtstrahl auf die Grenzfläche zu einer Salzwasserschicht mit höherer Salzkonzentration. Da diese beiden "Materialien", also die beiden Salzlösungen unterschiedlicher Konzentration, eine unterschiedliche optische Dichte besitzen, wird der Lichtstrahl beim Übergang gebrochen. Der Lichtstrahl bekommt einen kleinen "Knick" nach unten. Der Brechungswinkel β ist also etwas kleiner als der Einfallswinkel α. Und da an den vielen übereinanderliegenden Schichten immer wieder Brechung dieser Art auftritt, bildet sich ein gebogener Lichtstrahl.



Da der Lichtstrahl nach unten gebogen wird, erfolgt beim Übergang von Wasser mit geringem Salzgehalt zu Wasser mit höherem Salzgehalt die Brechung zum Lot hin. Salzwasser ist also optisch dichter als Leitungswasser (Süßwasser).

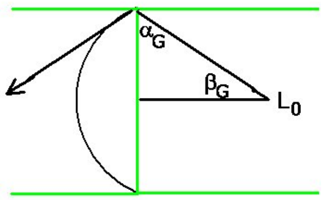
4. Plexiglasstab

In einem zylinderförmigen Plexiglasstab von 6 cm Durchmesser und 5 m Länge befindet sich in der Mitte des Stabes eine punktförmige Lichtquelle mit 4 W Leistung. Der Brechungsindex von Plexiglas sei n = 1,5.

(a) Welche Lichtleistung trifft auf eine der beiden Endflächen des Stabes, wenn man Absorption im Stab vernachlässigt? Nehmen Sie zur Vereinfachung an, dass nur die totalreflektierten Strahlen weitergeleitet werden.

(b) Der Stab wird dann in Wasser mit dem Brechungsindex von n_W=1,33 getaucht. Wieviel Lichtleistung trifft jetzt auf eine der beiden Endflächen des Stabes?

Alle Strahlen, die unter dem Einfallswinkel $\alpha > \alpha_G$ auf die Zylinderflächen einfallen, werden totalreflektiert. Bei allen folgenden Reflektionen bleibt der Einfallswinkel erhalten, sodass diese Strahlen auch die Endflächen erreichen. Strahlen, die mit $\alpha < \alpha_G$ auf die Zylinderfläche auftreten, werden teilweise reflektiert, bei jedem Mal mit einem erheblichen Intensitätsverlust. Diese Strahlen sind nach ca. 60 Reflektionen daher sicher verschwunden und können vernachlässigt werden.



(a) Wegen $\sin(\alpha_G) = \frac{1}{n}$ und $\beta_G = 90° - \alpha_G$ folgt $\cos(\beta_G) = \sin(\alpha_G) = \frac{1}{n}$. Das Raumwinkelelement ist daher

$$\Omega = \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\beta_G} \sin(\theta)\, d\theta = 2\pi(1 - \cos(\beta_G)) = 2\pi\left(1 - \frac{1}{n}\right) = \frac{2}{3}\pi$$

Die auf die Endfläche auftreffende Leistung ist damit

$$L = \frac{\Omega}{4\pi} L_0 = \frac{\frac{2}{3}\pi}{4\pi} 4\ \mathrm{W} = 1{,}5\ \mathrm{W}$$

(b) Der Winkel der Totalreflektion ist jetzt gegeben durch

$$\sin(\alpha'_G) = \frac{n_W}{n}$$

und der Raumwinkel durch

$$\Omega' = 2\pi\left(1 - \frac{n_W}{n}\right) = 0{,}113\ \cdot 2\pi$$

und daher

$$L' = \frac{\Omega'}{4\pi} L_0 = 0{,}227\ \mathrm{W}$$