Optik: Brechung und Linsen – Expertenaufgaben

Zusatzaufgaben zu Totalreflexion, Strahlengang und Linsengleichung für Schnelle

Zusatzaufgaben für Schnelle: Du hast das Basis-Arbeitsblatt bereits bearbeitet? Dann findest du hier anspruchsvollere Aufgaben zum selben Thema. Sie verlangen Transfer, Begründen und genaues Rechnen. Rechne sorgfältig mit SI-Einheiten und skizziere, wo es hilft. Die Aufgaben sind freiwillig. Du kannst dir die interessantesten aussuchen.

1 Totalreflexion: Berechne den Grenzwinkel der Totalreflexion für den Übergang a) Wasser (n = 1,33) → Luft (n = 1,00), b) Glas (n = 1,50) → Luft und c) Diamant (n = 2,42) → Luft. Erkläre damit, warum ein geschliffener Diamant viel stärker funkelt als ein gleich geschliffenes Stück Glas.

2 Ein Lichtstrahl trifft unter einem Einfallswinkel von 30° (zum Lot) aus Luft (n = 1,00) auf eine Glasplatte (n = 1,50). Wie groß ist der Brechungswinkel im Glas ungefähr?

- ☐ ca. 19,5°
- ☐ ca. 45,0°
- ☐ 30,0°
- ☐ ca. 0,33°

3 Parallelverschiebung: Ein Lichtstrahl trifft unter 60° zum Lot auf eine planparallele Glasplatte (Dicke d = 2,0 cm, n = 1,50) und tritt auf der anderen Seite wieder in Luft aus. a) Berechne den Brechungswinkel im Glas. b) Begründe, warum der austretende Strahl parallel zum einfallenden Strahl verläuft. c) Berechne die seitliche Verschiebung s des Strahls mit $s = d \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2) / \cos(\theta_2)$.

4 Scheinbare Tiefe: Ein Schwimmbecken ist d = 2,0 m tief (Wasser, n = 1,33). Du schaust fast senkrecht von oben auf den Boden. a) Wie tief erscheint dir das Becken ungefähr? b) Leite die Formel für die scheinbare Tiefe $h' = d/n$ her. Tipp: Für kleine Winkel gilt $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$.

5 Knobelaufgabe (Besselverfahren): Ein Gegenstand und ein Schirm haben einen festen Abstand e = 90 cm. Dazwischen steht eine Sammellinse mit f = 20 cm. a) Zeige mit der Linsengleichung und e = g + b, dass g · b = e · f gilt. b) Bestimme beide Linsenpositionen (Gegenstandsweiten g), bei denen auf dem Schirm ein scharfes Bild entsteht. c) Berechne jeweils die Vergrößerung V. Was fällt dir auf? d) Welchen Mindestabstand e muss der Schirm vom Gegenstand haben, damit überhaupt ein scharfes Bild möglich ist?

6 Lupe im Detail: Eine Lupe ist eine Sammellinse mit f = 5,0 cm. Ein Käfer (Länge 3,0 mm) liegt g = 4,0 cm vor der Linse. a) Berechne Bildweite, Vergrößerung und Bildgröße. Beschreibe die Art des Bildes. b) In welchem Abstand g muss der Käfer liegen, damit das virtuelle Bild in der deutlichen Sehweite von 25 cm entsteht? Wie groß ist dann V? Hinweis: Für virtuelle Bilder ist b negativ, es gilt V = |b|/g.

7 Kamera-Rechnung: Eine Kamera hat ein Objektiv mit f = 50 mm (vereinfacht als dünne Sammellinse) und einen Sensor mit 24 mm × 36 mm. Du fotografierst eine 1,80 m große Person im Hochformat aus 2,0 m Entfernung (Gegenstandsweite g = 2,0 m). a) Berechne Bildweite b und Bildhöhe B. b) Passt die ganze Person auf den Sensor? c) Aus welcher Entfernung muss man mindestens fotografieren, damit die ganze Person auf den Sensor passt? Tipp: Aus V = b/g und der Linsengleichung folgt g = f · (1 + 1/V).

8 Bewerte die Aussage einer Mitschülerin: „Wenn ich bei einer Abbildung mit einer Sammellinse die obere Hälfte der Linse mit Pappe abdecke, sehe ich auf dem Schirm nur die untere Hälfte des Bildes.“ Ist das richtig? Begründe mit dem Strahlengang.

9 Bewerte die folgenden Aussagen als wahr oder falsch und begründe deine Entscheidung in ein bis zwei Sätzen.

	richtig	falsch
Totalreflexion kann nur auftreten, wenn Licht vom optisch dichteren in das optisch dünnere Medium übergeht.	☐	☐
Eine Glaslinse hat unter Wasser dieselbe Brennweite wie in Luft.	☐	☐
Steht der Gegenstand genau im Abstand g = 2f vor einer Sammellinse, entsteht ein reelles, umgekehrtes Bild gleicher Größe bei b = 2f.	☐	☐
Violettes Licht wird in Glas schwächer gebrochen als rotes Licht.	☐	☐
Steht ein Gegenstand genau im Brennpunkt einer Sammellinse (g = f), verlassen die Strahlen die Linse parallel; es entsteht kein scharfes Bild auf einem Schirm.	☐	☐

10 Lichtleiter (Glasfasern) funktionieren durch _____ : Das Licht trifft im Inneren der Faser unter einem Winkel, der größer ist als der _____ , auf die Grenzfläche und geht dabei vom optisch _____ ins optisch _____ Medium über. Deshalb tritt kein Licht seitlich aus.

11 Forscheraufgabe: Beim Tauchen ohne Brille sieht man unter Wasser unscharf, mit Taucherbrille (Luftpolster vor dem Auge) wieder scharf. Erkläre das mithilfe der Brechung. Beachte, dass die Hornhaut des Auges einen Brechungsindex von etwa 1,38 hat und Wasser etwa 1,33. Entwirf anschließend ein einfaches Experiment, mit dem du überprüfen kannst, wie sich die Brennweite einer Glaslinse in Wasser im Vergleich zu Luft verändert.

Lösungen

Optik: Brechung und Linsen – Expertenaufgaben · Physik · Klasse 9

Für dich als Lehrkraft: leichtere Fassung in einer Minute

QR scannen oder lehreule.de/anpassen/brechung-und-linsen-klasse-9 öffnen: kostenloses Konto, dann schreibt Lehreule die leichtere Fassung mit Hilfen — oder Zusatzaufgaben für Schnelle, eine Word-Datei, einen QR-Code für die Klasse.

Aufgabe 1: Am Grenzwinkel θg beträgt der Brechungswinkel 90°. Aus $n_1 \cdot \sin(\theta g) = n_2 \cdot \sin(90°)$ folgt $\sin(\theta g) = n_2/n_1$ (mit $n_2 = 1{,}00$ für Luft).

a) Wasser: $\sin(\theta g) = 1/1{,}33 \approx 0{,}752 \rightarrow \theta g \approx 48{,}8°$
b) Glas: $\sin(\theta g) = 1/1{,}50 \approx 0{,}667 \rightarrow \theta g \approx 41{,}8°$
c) Diamant: $\sin(\theta g) = 1/2{,}42 \approx 0{,}413 \rightarrow \theta g \approx 24{,}4°$

Erklärung: Der Grenzwinkel des Diamanten ist besonders klein. Daher werden sehr viele Lichtstrahlen, die im Inneren auf eine Grenzfläche treffen, total reflektiert. Sie werden im Stein mehrfach umgelenkt und verlassen ihn erst an passend geschliffenen Flächen, meist wieder durch die Oberseite. Bei Glas gelangt dagegen mehr Licht nach hinten oder zur Seite heraus. Zusätzlich bricht Diamant das Licht stärker und trennt die Farben stärker auf (Dispersion). Das erzeugt das typische Funkeln und Farbenspiel.

Aufgabe 2: ca. 19,5°

Aufgabe 3: a) $\sin(\theta_2) = \sin(60°)/1{,}50 = 0{,}866/1{,}50 \approx 0{,}577 \rightarrow \theta_2 \approx 35{,}3°$.

b) An der zweiten Grenzfläche ist das Lot parallel zum Lot der ersten Grenzfläche. Der Einfallswinkel dort ist daher wieder θ_2 (Wechselwinkel). Beim Übergang Glas → Luft gilt $1{,}50 \cdot \sin(\theta_2) = 1{,}00 \cdot \sin(\theta_3)$. Daraus folgt $\sin(\theta_3) = \sin(60°)$, also $\theta_3 = 60°$. Der Strahl tritt unter demselben Winkel aus, unter dem er eingetreten ist. Er ist damit parallel zum einfallenden Strahl, aber seitlich versetzt.

c) $s = d \cdot \sin(\theta_1 - \theta_2) / \cos(\theta_2) = 2{,}0\ \text{cm} \cdot \sin(24{,}7°) / \cos(35{,}3°) \approx 2{,}0\ \text{cm} \cdot 0{,}418 / 0{,}816 \approx 1{,}0\ \text{cm}$.

Die Verschiebung beträgt etwa 1,0 cm. Sie wird größer bei dickerer Platte, größerem Einfallswinkel und größerem Brechungsindex.

Aufgabe 4: a) $h' = d/n = 2{,}0\ \text{m} / 1{,}33 \approx 1{,}5\ \text{m}$. Das Becken wirkt also flacher, als es ist.

b) Herleitung: Ein Punkt P am Boden sendet einen Strahl, der in horizontalem Abstand x vom Lot an der Oberfläche austritt. Im Wasser sei der Winkel zum Lot β, in Luft α. Dann gilt $\tan(\beta) = x/d$. Das Auge verlängert den austretenden Strahl rückwärts geradlinig und sieht P in der scheinbaren Tiefe h' mit $\tan(\alpha) = x/h'$. Daraus folgt $h' = x/\tan(\alpha)$ und $d = x/\tan(\beta)$, also $h'/d = \tan(\beta)/\tan(\alpha)$.

Bei kleinen Winkeln (nahezu senkrechter Blick) gilt $\tan \approx \sin$. Mit dem Brechungsgesetz $1{,}33 \cdot \sin(\beta) = 1{,}00 \cdot \sin(\alpha)$ erhält man $\tan(\beta)/\tan(\alpha) \approx \sin(\beta)/\sin(\alpha) = 1/n$.

Also gilt $h' = d/n$. Bei schrägem Blick gilt die Näherung nicht mehr, und das Bild des Bodens wirkt verzerrt.

Aufgabe 5: a) $1/f = 1/g + 1/b = (b + g)/(g \cdot b) = e/(g \cdot b)$. Daraus folgt $g \cdot b = e \cdot f$.

b) Mit $b = e - g$ gilt $g \cdot (e - g) = e \cdot f = 90\ \text{cm} \cdot 20\ \text{cm} = 1800\ \text{cm}^2$. Das ergibt $g^2 - 90g + 1800 = 0$, also $g = (90 \pm \sqrt{(8100 - 7200)})/2 = (90 \pm 30)/2$. Die Lösungen sind $g_1 = 30$ cm (dann $b_1 = 60$ cm) und $g_2 = 60$ cm (dann $b_2 = 30$ cm).

c) Position 1: $V = b/g = 60/30 = 2$ (vergrößertes Bild). Position 2: $V = 30/60 = 0{,}5$ (verkleinertes Bild). Auffällig: Die Werte sind Kehrwerte voneinander ($V_1 \cdot V_2 = 1$). Gegenstands- und Bildweite vertauschen ihre Rollen, weil die Strahlengänge umkehrbar sind.

d) Die quadratische Gleichung $g^2 - e \cdot g + e \cdot f = 0$ hat nur Lösungen, wenn $e^2 - 4ef \geq 0$ gilt, also $e \geq 4f = 80$ cm. Bei $e = 4f$ gibt es genau eine Position ($g = b = 2f$, $V = 1$). Bei $e < 4f$ entsteht kein scharfes reelles Bild auf dem Schirm.

Aufgabe 6: a) $1/b = 1/f - 1/g = 1/5{,}0 - 1/4{,}0 = (4 - 5)/20 = -1/20 \rightarrow b = -20$ cm. Das Minuszeichen bedeutet: Das Bild ist virtuell und liegt auf derselben Seite der Linse wie der Gegenstand. $V = |b|/g = 20/4{,}0 = 5$. Bildgröße $B = 5 \cdot 3{,}0\ \text{mm} = 15$ mm. Das Bild ist virtuell, aufrecht und vergrößert. Es kann nicht auf einem Schirm aufgefangen werden. Man sieht es nur beim Blick durch die Linse.

b) Mit $b = -25$ cm: $1/g = 1/f - 1/b = 1/5{,}0 + 1/25 = 6/25 \rightarrow g \approx 4{,}17$ cm. $V = 25/4{,}17 = 6$. Es gilt auch $V = 1 + 25\ \text{cm}/f = 1 + 5 = 6$.

Der Gegenstand muss also knapp innerhalb der Brennweite liegen. Je näher g an f rückt, desto weiter entfernt und größer wird das virtuelle Bild.

Aufgabe 7: a) $1/b = 1/f - 1/g = 1/50 - 1/2000 = (40 - 1)/2000 = 39/2000 \rightarrow b \approx 51{,}3$ mm. $V = b/g = 51{,}3\ \text{mm} / 2000\ \text{mm} \approx 0{,}0256$. $B = V \cdot G = 0{,}0256 \cdot 1800\ \text{mm} \approx 46$ mm.

b) Nein. Im Hochformat hat der Sensor nur 36 mm Höhe, und das Bild ist mit 46 mm zu groß. Die Person wird abgeschnitten.

c) Das Bild darf höchstens 36 mm hoch sein. Daraus folgt $V = 36/1800 = 1/50$. Mit $g = f \cdot (1 + 1/V) = 50\ \text{mm} \cdot (1 + 50) = 2550\ \text{mm} \approx 2{,}6$ m. Man muss mindestens etwa 2,6 m Abstand halten. (Hinweis: Bei 24 mm Bildhöhe wären es $g = 50\ \text{mm} \cdot 76 = 3{,}8$ m. Die Rechnung hängt davon ab, welche Sensorseite senkrecht steht. Beim Hochformat ist die lange Seite mit 36 mm senkrecht.)

Aufgabe 8: Die Aussage ist falsch. Von jedem Punkt des Gegenstands gehen Lichtstrahlen in alle Richtungen aus. Viele davon treffen auf die Linse und werden alle im zugehörigen Bildpunkt wieder vereinigt. Deckt man die obere Hälfte der Linse ab, fehlen nur die Strahlen, die durch diese Hälfte gelaufen wären. Die Strahlen durch die untere Hälfte erzeugen weiterhin von jedem Gegenstandspunkt einen Bildpunkt. Das Bild ist daher vollständig, aber lichtschwächer (etwa halb so hell). Es kann bei starkem Abdecken auch etwas an Schärfe und Detail verlieren. Dasselbe Prinzip nutzt man bei der Blende einer Kamera.

Aufgabe 9: Totalreflexion kann nur auftreten, wenn Licht vom optisch dichteren in das optisch dünnere Medium übergeht. → **richtig**
Eine Glaslinse hat unter Wasser dieselbe Brennweite wie in Luft. → **falsch**
Steht der Gegenstand genau im Abstand g = 2f vor einer Sammellinse, entsteht ein reelles, umgekehrtes Bild gleicher Größe bei b = 2f. → **richtig**
Violettes Licht wird in Glas schwächer gebrochen als rotes Licht. → **falsch**
Steht ein Gegenstand genau im Brennpunkt einer Sammellinse (g = f), verlassen die Strahlen die Linse parallel; es entsteht kein scharfes Bild auf einem Schirm. → **richtig**

Aufgabe 10: Totalreflexion, Grenzwinkel, dichteren, dünneren

Aufgabe 11: Erklärung: Die Brechkraft des Auges entsteht vor allem an der Grenzfläche Luft → Hornhaut (Unterschied n = 1,00 zu 1,38). Unter Wasser fehlt dieser große Unterschied, weil Wasser (n ≈ 1,33) und Hornhaut (n ≈ 1,38) fast gleiche Brechungsindizes haben. Das Licht wird an der Hornhaut kaum noch gebrochen. Die Gesamtbrechkraft des Auges ist dadurch viel zu klein, das Bild entsteht weit hinter der Netzhaut (das Auge wird stark „weitsichtig“), und man sieht unscharf. Die Taucherbrille hält vor der Hornhaut wieder eine Luftschicht, sodass die Brechung Luft → Hornhaut wie gewohnt stattfindet.

Experiment: Eine Glas- oder Plexiglas-Sammellinse wird in einem Aufbau mit paralleler Lichtquelle (z. B. Laserpointer-Strahlenfächer oder weit entferntes Fenster) erst in Luft verwendet. Man misst die Brennweite, indem man den Abstand Linse–Schirm bei schärfstem Brennpunkt bestimmt. Dann taucht man Linse und Lichtweg in einen durchsichtigen, wassergefüllten Behälter (z. B. Aquarium) und misst erneut. Erwartung: In Wasser ist die Brennweite deutlich größer, weil der Unterschied der Brechungsindizes zwischen Glas und Wasser kleiner ist als zwischen Glas und Luft. Die Linse bricht schwächer. Wichtig: Messung mehrfach wiederholen, Messunsicherheit abschätzen und nur einen Parameter ändern (Medium).