

Die Brechung des Lichts

Wenn du mit einem Strohhalm Wasser aus einem Glas trinkst, erscheint dir der Halm geknickt. Und in hüfthohem Wasser wirken deine Beine viel kürzer. Woran liegt das?

Material:

- Leuchtkästchen mit Linse
- Halbkreis aus durchsichtigem Kunststoff
- Winkelpapier

Das Winkelpapier findest du am Ende dieser Anleitung. Verwende eine Kopie oder lade dir die Vorlage von der Website www.easy-physics.com herunter („Optik“-„Downloads“).

Versuch (Teil 1):

- Lege das Winkelpapier auf einen Tisch. Setze den Halbkreis mit der matten Seite nach unten genau in die Mitte des Kreises. Seine flache Seite muss zum Leuchtkästchen zeigen (Bild 1).
- Setze das Leuchtkästchen auf. Die Lichtspur muss auf der 0° -Linie verlaufen und den Halbkreis genau in der Mitte treffen. Dann verlässt sie das Glas¹ geradlinig (Bild 2a).
- Ansonsten ist sie beim Verlassen des Glases etwas geknickt (Bilder 2b und 2c). Dann musst du das Leuchtkästchen noch etwas verschieben. Betrachte den Halbkreis *direkt von oben*! Dieses Verhalten der Lichtspur kannst du dir auch in einem kleinen Video ansehen!

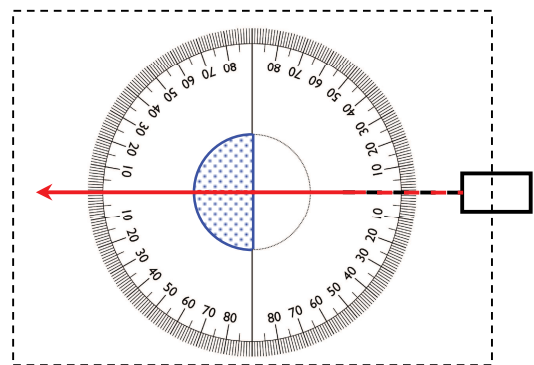


Bild 1

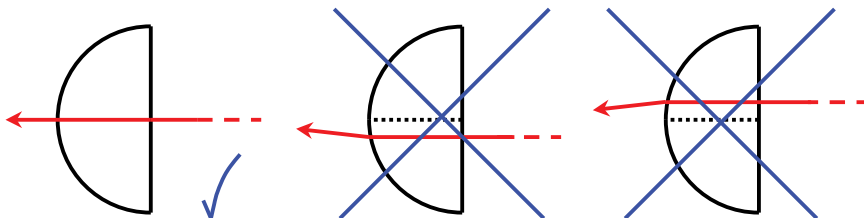


Bild 2a

Bild 2b

Bild 2c



Liegt der Halbkreis richtig?

¹ Zur Vereinfachung wird hier von „Glas“ an Stelle von „Kunststoff“ gesprochen. Die optischen Eigenschaften von Glas und diesem Kunststoff (Acrylglas) sind weitgehend gleich.

- Verschiebe das Leuchtkästchen so, dass die Lichtspur schräg auf die Mitte dieser glatten Seite trifft. Nun hat sie hier einen „Knick“ (Bild 3).
- Die Lichtspur muss den Halbkreis wieder *geradlinig* verlassen. Wenn das nicht so ist, trifft sie die glatte Seite nicht genau in der Mitte. Verschiebe dann das Leuchtkästchen so lange, bis du den in Bild 3 gezeigten Lichtverlauf erhältst.

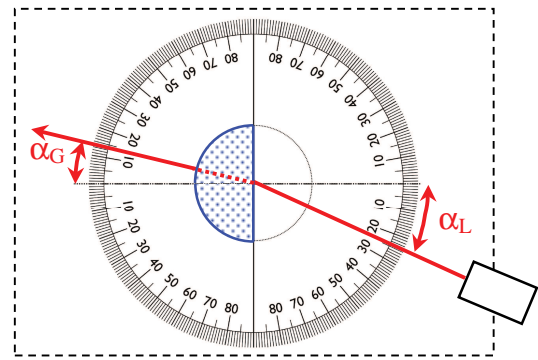


Bild 3

- Lies die beiden in Bild 3 eingezeichneten Winkel ab. Der Index „L“ steht für „Luft“, „G“ steht für „Glas“.
- Übertrage Tabelle 1 in dein Heft und trage die beiden Winkelwerte ein.

Winkel α_L in Luft (Grad)	0								
Winkel α_G in Glas (Grad)	0								

Tabelle 1: Übergang von Luft nach Glas

- Führe etwa zehn Messungen durch. Wähle auch sehr große oder sehr kleine Winkel zwischen der einfallenden Lichtspur und der 0° - Linie (Bild 4).
- Zu $\alpha_L = 0^\circ$ gehört $\alpha_G = 0^\circ$. Diese beiden Winkel sind in Tabelle 1 schon eingetragen.

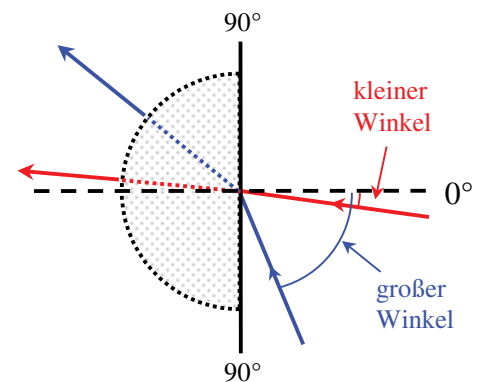


Bild 4

Auswertung (Teil 1):

- Viele Bücher zeigen diesen Lichtverlauf so, dass das Licht „von oben“ kommt. Deshalb ist die Versuchsanordnung in Bild 5 um 90° gedreht gezeichnet.
- Die blau gestrichelte senkrechte Linie (die „ 0° - Linie“) nennt man das *Lot* auf der *Grenzfläche* zwischen Luft und Glas.
- Den Winkel α_L bezeichnet man als *Einfallswinkel*, weil der Lichtstrahl so in das Glas eintritt. Entsprechend ist α_G der *Ausfallswinkel*. Diese Winkel werden immer gegen dieses Lot gemessen.

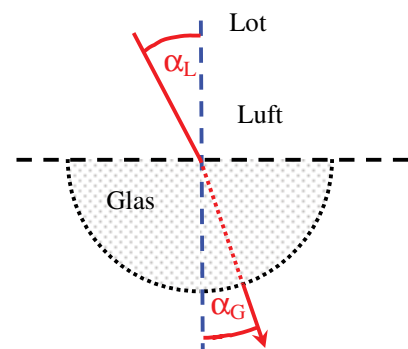


Bild 5

- In Bild 5 gilt $\alpha_L \approx 28^\circ$ und $\alpha_G \approx 19^\circ$. Überprüfe dies im Experiment: Zum Einfallswinkel $\alpha_L \approx 28^\circ$ gehört der Ausfallswinkel $\alpha_G \approx 19^\circ$!
- Diese Richtungsveränderung der Lichtspur bezeichnet man als die *Brechung* des Lichts. Sie erfolgt nur, wenn das Licht *schräg* auf eine Grenzfläche trifft. Um den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Ausfallswinkel zu untersuchen, ist ein Halbkreis besonders gut geeignet. Für ihn gilt (Bild 6):

- Trifft die Lichtspur schräg auf die gerade Seite, wird sie in diesem Punkt (A) gebrochen.
- Weil der Punkt A genau in der Mitte dieser Seite liegt, ist die Lichtspur im Inneren ein *Radius* des Halbkreises. Sie erreicht seine Umfangslinie in B.
- Dort trifft sie senkrecht auf und wird deshalb *nicht* gebrochen. Denke dir dazu in B eine Tangente an den Kreis (schwarz gestrichelt in Bild 6). Die zu ihr senkrechte Linie (blau gestrichelt) verläuft dann exakt in Richtung der Lichtspur.

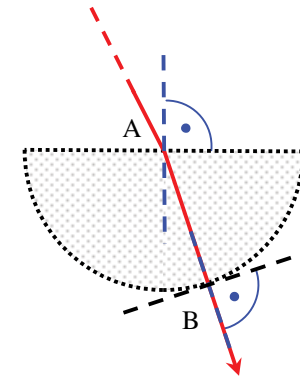
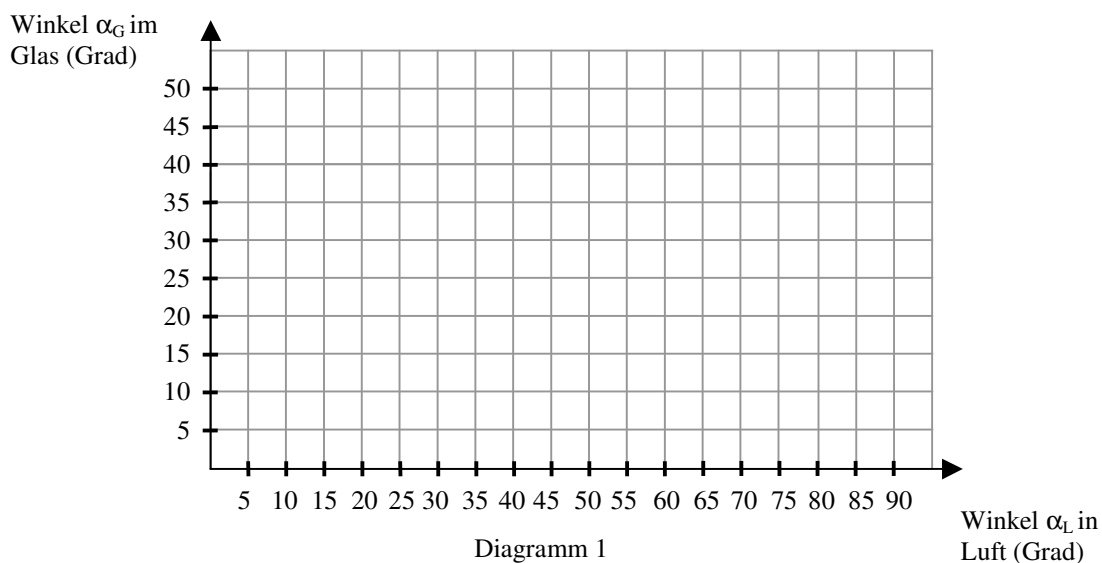


Bild 6

- Beim Durchgang durch den Halbkreis wird das Licht also nur *einmal* gebrochen. So kann man den Zusammenhang zwischen Einfallswinkel und Ausfallswinkel am besten untersuchen.
- Übertrage die Messwerte aus Tabelle 1 ein *Diagramm*. Du kannst die Vorlage („Diagramm 1“) oder eine anders eingeteilte Darstellung verwenden. Benutze kariertes Papier und zeichne das Koordinatensystem so, dass es etwa eine halbe DIN-A-4-Seite groß ist.



- Viele der Messwerte wirst du nicht direkt auf den Achsen des Koordinatensystems finden. Schätze dann die Lage des entsprechenden Punkts ab.

- Verbinde die Punkte durch eine *durchgehende* Linie ohne Knicke und *nicht* durch stückweise gerade Strecken (Bilder 7a und 7b). Ober- und unterhalb dieser Linie sollen etwa gleich viele Punkte liegen. Sie beginnt in (0 | 0) und steigt zunächst ziemlich gleichmäßig an. Erst bei großen Winkeln flacht sie sich dann ab.

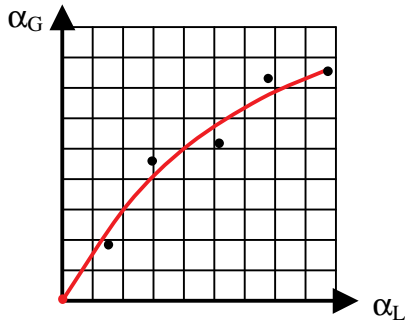


Bild 7a

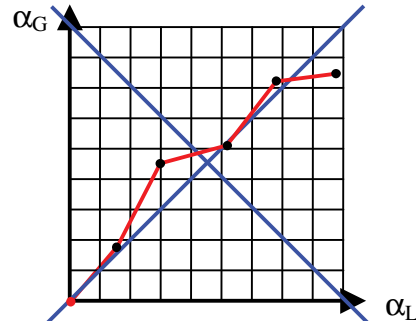


Bild 7b

- Eine solche Linie nennt man *Ausgleichsline*, weil man auf diese Weise kleine Messfehler ausgleichen kann. Ganz am Ende dieser Anleitung (S.110) findest du das fertige Diagramm. Bitte vergleiche es mit deinen Ergebnissen!

Versuch (Teil 2):

- Setze das Leuchtkästchen auf die andere Seite des Winkelpapiers. Die Lichtspur trifft nun auf die *runde* Seite des Halbkreises.
- Die Lichtspur muss die runde Seite des Halbkreises wieder *geradlinig* durchlaufen. Dann trifft sie seine glatte Seite in der Mitte (Bild 8). Schau wieder genau von oben!
- Lies auch hier die Winkelmaße α_G und α_L für vier oder fünf verschiedene Stellungen des Leuchtkästchens ab.

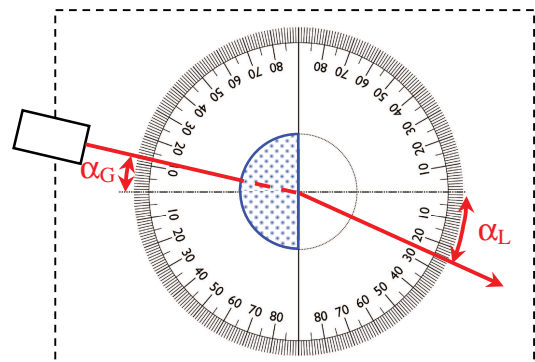


Bild 8

- Störe dich nicht daran, dass sich die Lichtspur hinter dem Halbkreis etwas aufweitet. Besonders bei größeren Winkeln musst du ihren Verlauf abschätzen.
- Trage die Werte wieder in eine Tabelle ein (Tabelle 2). Der Punkt (0 | 0) gehört auch hier dazu.

Winkel α_G in Glas (Grad)	0					
Winkel α_L in Luft (Grad)	0					

Tabelle 2: Übergang von Glas nach Luft

Auswertung (Teil 2):

- Das Licht wird nur an der flachen Seite des Halbkreises gebrochen, denn nur dort trifft es *schräg* auf eine Grenzfläche (Glas \rightarrow Luft). An der runden Seite erfolgt keine Brechung, weil die Lichtspur wieder senkrecht zu dieser Grenzfläche (Luft \rightarrow Glas) verläuft.
- Bei der in Bild 8 gezeigten „Lichtstrahlung“ (von links nach rechts) ist jetzt α_G der *Einfallswinkel*, denn er liegt auf der Seite des ankommenden Lichts. Entsprechend ist α_L nun der *Ausfallswinkel*, denn er liegt auf der Seite des austretenden Strahls. Auch diese Winkel werden gegen das Lot auf der jeweiligen Grenzfläche gemessen.
- Übertrage auch diese Messwerte in Diagramm 1. Achte darauf, dass du den Winkel α_G auf der senkrechten Achse und den Winkel α_L auf der waagerechten Achse findest.
- Die Messungen aus diesem Versuchsteil „passen“ zu denen aus dem ersten. Der Zusammenhang zwischen den Winkeln α_G und α_L ist also der gleiche wie im ersten Versuchsteil.
- Also ist die *Form* der Lichtspur in beiden Fällen gleich:
 - Bild 9a zeigt den Verlauf der Lichtspur im ersten Versuchsteil. Das Licht kommt von rechts unten und wird in A gebrochen, weil es dort schräg auf die Grenzfläche zwischen Luft und Glas trifft. In B wird es nicht gebrochen, weil es diese Grenzfläche senkrecht durchläuft. Verglichen mit seiner ursprünglichen Richtung (rot gepunktet) wird es also „zum Lot hin“ gebrochen. Dies zeigt der blaue Pfeil in Bild 9a.
 - In Bild 9b kommt das Licht von links oben. Es trifft das Glas im Punkt B senkrecht und ändert seine Richtung deshalb nicht. Beim Verlassen des Glases in A trifft es aber schräg auf die Grenzfläche „Glas \rightarrow Luft“ und wird deshalb in Richtung des blauen Pfeils gebrochen. Hier erfolgt die Brechung also „vom Lot weg“ (blauer Pfeil in Bild 9b).

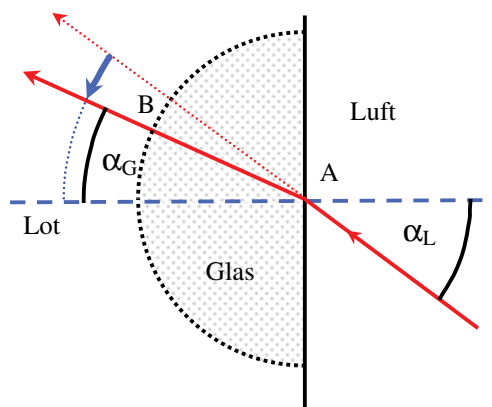


Bild 9a

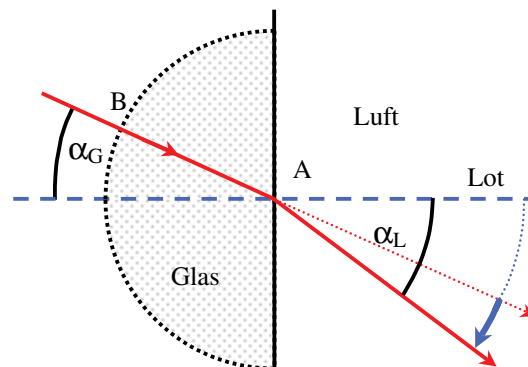


Bild 9b

- Die *Form* der Lichtspur ist also unabhängig von der „*Lauf-Richtung*“ des Lichts. Dies bestätigt wieder eine der wichtigsten Regeln der Optik². Sie lautet:

Jeder Lichtweg ist umkehrbar

- Deshalb kannst du das Diagramm zur Brechung zwischen Luft und Glas in *beiden* Richtungen lesen:
 - Kennst du den Einfallswinkel in Luft (α_L), suchst du dir diese Stelle auf der *waagerechten* Achse. Der dazu gehörende Wert auf der senkrechten Achse ist dann der Ausfallswinkel α_G . Er ist kleiner als α_L , weil die Brechung „Luft → Glas“ *zum Lot hin* erfolgt.
 - Kennst du den Einfallswinkel in Glas (α_G), suche diese Stelle auf der *senkrechten* Achse. Der zugehörige Wert auf der waagerechten Achse nennt dann den Ausfallswinkel α_L . Er ist größer als α_G , weil die Brechung „Glas → Luft“ *vom Lot weg* erfolgt.

Ergebnis:

- (I) Trifft ein Lichtstrahl schräg auf die Grenzfläche von zwei durchsichtigen Stoffen (z.B. Luft und Glas), wird er *gebrochen*.
- (II) Beim Übergang von Luft nach Glas erfolgt die Brechung *zum Lot hin*. Verläuft der Lichtstrahl von Glas nach Luft, wird er *vom Lot weg* gebrochen.
- (III) Das Diagramm der Brechungswinkel für den Übergang zwischen z.B. Luft und Glas kann man in beiden Richtungen lesen, weil der Lichtweg umkehrbar ist.

In diesem Versuch hast du den Übergang zwischen Luft und Glas untersucht. Ähnliche Ergebnisse ergeben sich auch für die Grenzfläche z.B. zwischen Luft und Wasser.

Dabei nennt man Luft den *optisch dünneren* Stoff, Glas oder Wasser sind in Bezug auf Luft die *optisch dichteren* Stoffe. Die *optische Dichte* eines Stoffs wird durch seine Brechzahl n angegeben³.

Luft hat die Brechzahl $n \approx 1$, für den hier verwendeten Kunststoff ist $n \approx 1,5$. Wasser hat eine Brechzahl von $n \approx 1,33$. Je größer der Unterschied zwischen den Brechzahlen der beiden Stoffe ist, desto stärker wird das Licht gebrochen.

² Sie wurde auch schon im Versuch „Die Reflexion des Lichts“ genannt.

³ Die „optische Dichte“ ist etwas ganz anderes als die z.B. in „g pro cm³“ angegebene „spezifische Dichte“.

Diese Brechung des Lichts ist der Grund, warum dir deine unter Wasser stehenden Beine kürzer erscheinen:

- Das von jedem Punkt deines Beins ausgehende Licht wird auf dem Weg in dein Auge (A) an der Wasseroberfläche vom Lot *weg* gebrochen, weil es „von dicht nach dünn“ wechselt.
- Bild 12a zeigt den Lichtweg von drei unter Wasser liegenden Punkten⁴ bis in dein Auge als schwarze Linien. In Bild 12b ist der untere Teil dieses Bildes noch einmal vergrößert gezeichnet. *Tatsächlich* kommt das Licht von den schwarzen Punkten. Dein Auge ist aber daran gewöhnt, dass Licht geradlinig verläuft. Also *scheint* das Licht von den roten Punkten zu kommen.
- Der schwarze Doppelpfeil gibt den *tatsächlichen* Abstand zwischen den Punkten an, der rote den *scheinbaren* Abstand. Weil der scheinbare Abstand kleiner ist als der tatsächliche, erscheint dir der unter Wasser liegende Teil deines Beins verkürzt. Auch die Entfernung zwischen z.B. deinem Knie und der Wasseroberfläche ist scheinbar geringer geworden.

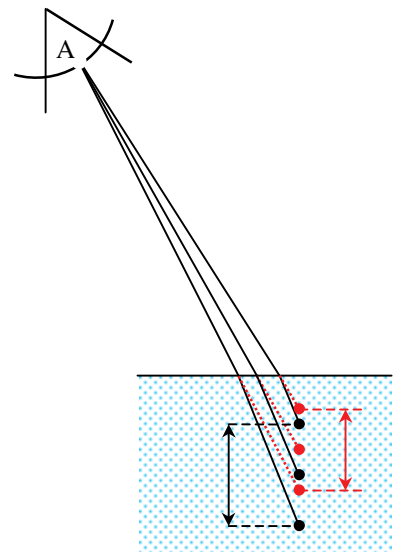


Bild 12a

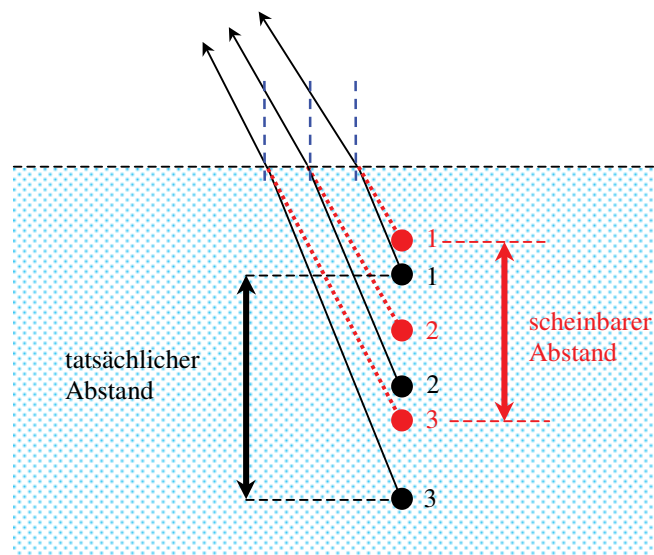


Bild 12b

⁴ z.B. Knöchel, Schienbein und Knie