

Brechung mit der Laserwasserwaage

Thomas Wilhelm

1. Die Bedeutung der Brechung

Eines der ersten Themen in Physikunterricht ist heute meist die Strahlenoptik, da die direkte Wahrnehmbarkeit optischer Phänomene die Möglichkeit bietet, Erscheinungen aus der Erfahrungswelt der Schüler zu beobachten und zu beschreiben. Zwei wesentliche Eigenschaften der Strahlenoptik, auch geometrische Optik genannt, sind die Reflexion und die Brechung. Ein Spezialfall ist die Totalreflexion, bei der beim Übergang vom optisch dichteren zum optisch dünneren Medium ab einem bestimmten Grenzwinkel keine Brechung mehr auftritt und der einfallende Strahl vollständig reflektiert wird. Die Brechung ist insbesondere wichtig, um später zu verstehen, warum eine Linse einen Lichtstrahl aus seiner ursprünglichen Richtung ablenkt.

2. Sichtbarmachen von Lichtstrahlen

Üblicherweise geht die geometrische Optik von der Prämisse bzw. dem Modell aus, dass sich Licht in Form von Lichtstrahlen in einem homogenen Medium geradlinig ausbreitet. Licht ist aber nur dann sichtbar, wenn es in unser Auge fällt; ein an uns vorbeigehender Lichtstrahl ist damit eigentlich nicht sehbar. Doch genau dies möchte man im Unterricht, um den Lichtweg deutlich zu machen. Grundsätzlich gibt es hier zwei verschiedene Möglichkeiten, Lichtstrahlen sichtbar zu machen:

1. Man nutzt den streifenden Lichteinfall eines Lichtfächers. D.h. es wird die Schnittlinie zwischen einer Lichtebene und einem senkrecht dazu stehenden Schirm sichtbar, weil der Schirm an diesen Stellen das Licht wegstreut. Diese Schnittlinie wird dann als Lichtstrahl interpretiert.
2. Man kann den Lichtstrahl, z.B. einen Laserstrahl, durch ein Medium schicken, das einen Teil des Lichtes nach allen Seiten streut. Ist das Medium Luft, kann man als Streuteilchen Kreidestaub, Zigarettenrauch, vernebeltes Wasser von einem Ultraschallwasserverdampfer oder am besten Nebel aus einer Disco-Nebelmaschine nehmen, wobei es Letztes schon für ca. 40 € im Elektronikhandel gibt und am Effektivsten ist. Verwendet man als Medium Wasser, gibt man einen Tropfen Milch dazu, da die Fettröpfchen als Streuteilchen wirken. Sehr schön ist es, den Laserstrahl durch einen selbst gefertigten Gelatineblock zu schicken [1].

3. Der Standardversuch

Ein Standardversuche zur Brechung und Totalreflexion ist das Beleuchten eines Halbzylinders aus Acrylglas, der sich auf einer drehbaren optischen Scheibe befindet. Da der Lichtstrahl durch die gebogene Seite des Acrylglashalbzylinders ungebrochen hindurchgeht, kann

man sich auf den einen Mediumswechsel an der ebenen Seite konzentrieren. Um dies zu zeigen, wird in der Regel der streifende Lichteinfall eines Lichtfächers verwendet. Dieser wird dadurch erzeugt, dass vor einer Glühbirne eine Schlitzblende gesetzt wird. Von den Lehrmittelfirmen gibt es diesen Versuchsaufbau vorgefertigt für die Magnettafel und für Schülerexperimente (von 3B Scientific auch mit Laser für Magnettafel, siehe Nr. 2 in Tab. 1). Der Vorteil daran ist, dass man praktisch keine Justierarbeit hat.

Wer nun nicht über eine Magnettafel verfügt, wird für einen Demonstrationsversuch neben der optischen Scheibe eine Reuterlampe mit einer Schlitzblende stellen (siehe Abb. 1). Hier muss nun richtig justiert werden. Das Ergebnis, insbesondere Länge und Breite des Lichtweges auf der Scheibe, ist nämlich abhängig von der

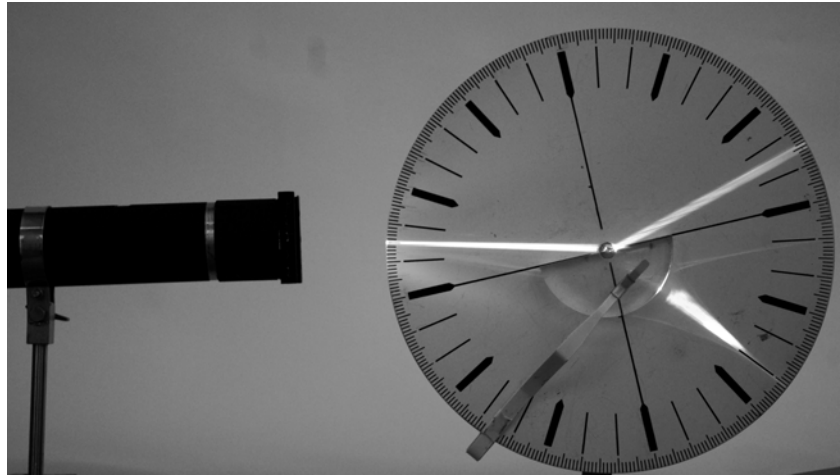


Abb. 1: Standard-Demonstrationsversuch mit Reuterlampe und Schlitzblende

Entfernung der Glühbirne von der eingebauten Linse, von der Entfernung der gesamten Lampe von der optischen Scheibe, von der Breite der Schlitzblende und vom Winkel zwischen Schirm und optischer Achse der Lampe. Bei schlechter Einstellung ist der sichtbare „Lichtstrahl“ zu kurz oder zu breit. Insbesondere wenn man die Totalreflexion zeigen will, hat man kurz vor der Totalreflexion evtl. einen recht breiten gebrochenen „Strahl“. Zusätzlich treten hier aufgrund der Dispersion farbige Ränder auf.

So ist es nahe liegend, statt dem weißen Licht der Glühbirne das monochromatische und parallele Licht eines Laserstrahls zu nutzen. Die dazu notwendige Aufweitung des Strahles zu einem Fächer kann erreicht werden, indem man vor dem Laser einen Glasrührstab stellt, der eine zylinderförmige Sammellinse mit sehr kleiner Brennweite darstellt [2]. Hinter dem Brennpunkt ergibt sich ein divergierender Lichtfächer. Für die in Tab. 1, Nr. 1 angegebenen Werte wurde ein Acrylglasstab mit einem Durchmesser von 1 cm verwendet, bei dem der Brennpunkt nur ca. ein Viertel Zentimeter nach dem Stab liegt. Damit erhält man nicht nur eine engere Lichtlinie auf der optischen Scheibe, sondern kann den Grenzwinkel der Totalrefle-

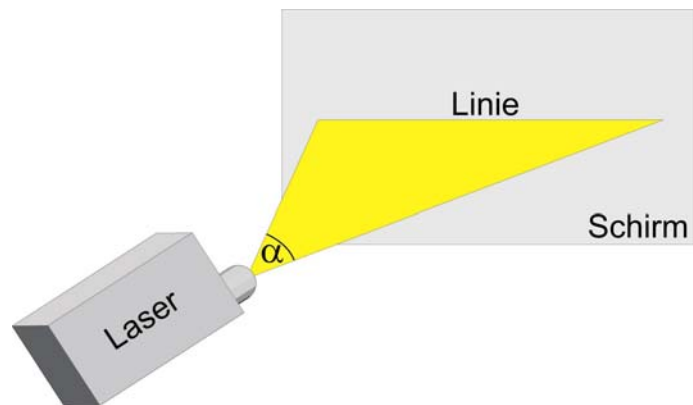


Abb. 2: Lichtfächer aus einer Hand-Laserwasserwaage (Form wie Nr. 5 in Tab. 1)

xion ohne Dispersion viel genauer bestimmen. Nun hat man allerdings noch ein Objekt mehr im Versuchsaufbau, so dass die Justierung noch aufwändiger wird.

4. Die Laserwasserwaage

Eine sehr einfache und billige Lösung des Problems findet man im Baumarkt in der Form von Laserwasserwaagen, mit denen man gerade Linien an die Wand projizieren kann (siehe Abb. 2). Hier befindet sich bereits vom Hersteller eine Zylinderlinse vor einem roten Diodenlaser (Wellenlänge um die 650 nm, etwa

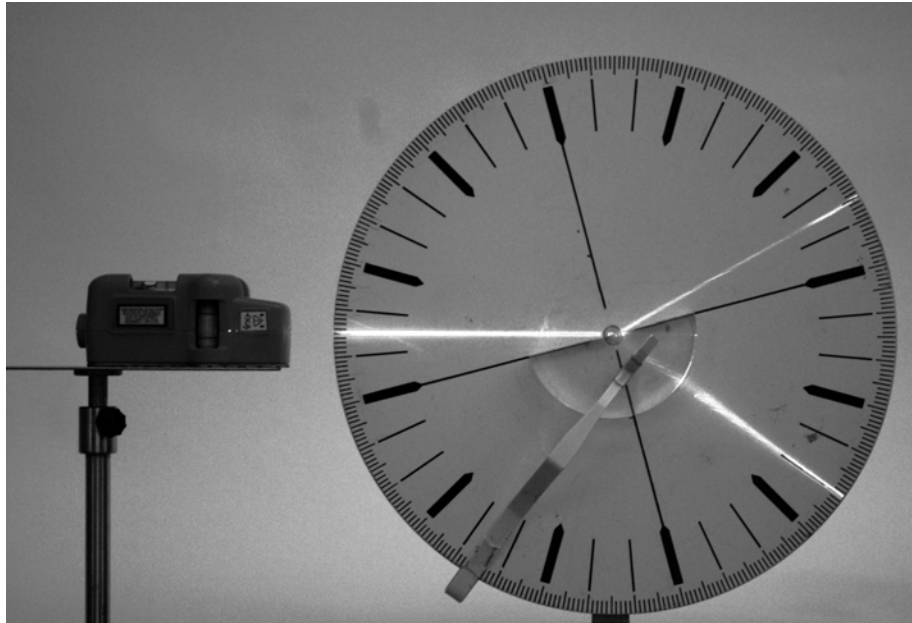


Abb. 3: Der Standard-Demonstrationsversuch mit einer Mini-Laserwasserwaage (verwendet: Nr. 5 in Tab. 1)

635 bis 670 nm). Da der Öffnungswinkel des Lichtfächers recht groß ist, ist die Justierung sehr einfach (siehe Abb. 3). Es genügt sogar, das Gerät per Hand hinzuhalten, so dass der Aufbau sehr schnell geht. Allenfalls kann es passieren, dass man unerwünscht auf dem Acrylglas eine Verlängerung des einfallenden Strahles sieht.

Laser werden entsprechend ihrer Gefährlichkeit in Geräteklassen eingeteilt (früher DIN VDE 0837, heute nach DIN EN 60825-1). In der Schule sind nur Laser der Klassen 1, 1M, 2 und 2M erlaubt. Laser der Klasse 2 und 2M sind ungefährlich, wenn der Laserstrahl für maximal 0,25 Sekunden ins Auge leuchtet. Dies ist durch den Lidschlussreflex des Auges sichergestellt. Alle betrachteten Laserwasserwaagen gehörten zur Laserklasse 2 oder 2M, worauf auch zu achten ist, und sind deshalb in der Schule erlaubt. Von ausländischen Billigstgeräten, die evtl. nicht richtig klassifiziert sind, ist hier aber abzuraten [3].

Punktförmige Laserpointer (keine ausgedehnte Quelle) dürfen heute nur benutzt werden, wenn deren Leistung 1 mW nicht überschreitet. Bei dem dargestellten Versuch ist aber zu bedenken, dass die Laserintensität nicht auf einem Punkt konzentriert ist, sondern über eine längere Linie verteilt ist. So hat z.B. das Gerät Nr. 5 in Tab. 1 eine Leistung von kleiner als 3,5 mW und ist trotzdem erlaubt (Klasse 2M). Durch die starke Aufweitung durch die fest eingebaute Zylinderlinse entspricht dieser Laser bei Abständen über 1 m sogar nur noch einem Laser der Klasse 1, die als völlig sicher gilt. Die Grenze von 1 mW muss aber eingehalten werden, falls die Zylinderlinse entfernbar ist.

Da die Geräte sehr billig und sehr leicht handhabbar sind, ist dieser Versuchsaufbau sogar für Schülerübungen geeignet. Die Strahlenschutzkommission [3] empfiehlt aber, (punktförmige) Laserpointer vor Kindern zu verwahren. Deshalb sollte man nur Laserwasserwaagen verwenden, die keinen punktförmigen Strahl erlauben, sondern nur eine harmlosere Linie projizieren.

5. Vergleich verschiedener Laserwasserwaagen

Nr.	Name	Art	Funktionen	Preis	Winkel	Länge in 1m Entfernung
1	He-Ne-Laser (Laserklasse 2)	Schullaser plus Glasrührstab	Punkt oder Linie, 1 mW	642,60 €bis 833,00 €	5,7° klein	≥ 10 cm unsauber
2	Laserraybox von 3B Scientific	Spezialgerät für Magnettafel	bis zu fünf parallele Linien, max. 1 mW	291,55 €	7,4° klein	13 cm schön
3	Powerfix Laser-Wasserwaage mit Stativ 670 (KH 4008)	Wasserwaage 40 cm mit edlem Alu-Stativ	Punkt oder Linie, 1 mW	15,99 € beim Discounter	33°	60 cm schön
4	Lux-Tools Laser-Mouse 575 579	Handgerät, magnetisch (auflegbar)	zwei verschiedene Linien, max. 1mW	16,49 € im Baumarkt	18° / 22° klein	32 cm / 38 cm schön
5	Black & Decker LZR310-XJ	Handgerät	Nur eine Linie, verschiedene Befestigungsmöglichkeiten, < 3,5 mW	19,90 € im Baumarkt	55° ideal	105 cm am Besten
6	Walter CR-7HL10X	Handgerät	Punkt oder Linie (horizontal oder vertikal), mit Maßband, < 1 mW	20 € beim Discounter	84° groß	180 cm schön
7	Lifetime Laser Edge ZJ-99602	Handgerät (auflegbar)	Nur eine ungleichmäßige Linie, billigst und schlecht	1,00 € bei ebay	24°	42 cm unsauber

Tab. 1: Einige Daten einiger ausgewählter Geräte

Ein Besuch von drei Baumärkten ergab über 20 verschiedene Geräte, die eine Laserlinie erzeugen können. Ungeeignet sind allerdings Rotationslaser (50 – 60 €), bei denen der Laserpunkt im Kreis herumläuft, und Rundumlaser (100 – 150 €), die kontinuierlich auf 360° eine Laserlinie projizieren. Eher ungünstig sind auch selbstnivellierende Laser (35 – 150 €), die für den Handwerker ideal sind.

Für den Brechungsversuch verwendbar sind die langen Wasserwaagen (40 cm, 15 – 45 €), die wie eine herkömmliche Wasserwaage verwendet werden können (z.B. Nr. 3 in Tab. 1). Zusätzlich gibt es dazu ein großes Alu-Stativ und der eingebaute Laser kann sowohl als Punktstrahl laser oder wie hier gewünscht mit der Laserlinienfunktion betrieben werden. Für die Linienfunktion wird einfach eine zusätzliche Zylinderlinse aufgesteckt, die den Strahl entsprechend aufweitet. Für unseren Versuch sind diese Laserwasserwaagen allerdings eher zu groß und unhandlich.

Für den beschriebenen Versuch am Besten geeignet sind kleine Handgeräte (15 - 45 €), auch als Mini-Laserwasserwaage bezeichnet, die wegen ihrer Kürze nicht als herkömmliche Was-

serwaage verwendet werden können (z.B. Nr. 4 – 7 in Tab. 1). Manche können direkt auf die Fläche aufgelegt werden, auf der die Linie sichtbar werden soll (z.B. Nr. 2, 4 und 7 in Tab. 1), während die anderen unter einem bestimmten Winkel seitlich vor die Fläche gestellt werden müssen. Magnetische Geräte (z.B. Nr. 2 und 4) können sogar auf der magnetischen Wandtafel verwendet werden.

Die verschiedenen Geräte unterscheiden sich auch bezüglich des Öffnungswinkels des Laserfächers (siehe Abb. 2 und Tab. 1). Je größer der Winkel ist, desto einfacher ist die Justierung. Ein größerer Öffnungswinkel bedeutet aber leider auch, dass die Lichtintensität auf eine größere Strecke aufgeteilt wird. Die Geräte Nr. 4 bis 6 haben sich aber alle als geeignet erwiesen.

6. Weitere Versuche

Mit der Laserwasserwaage sind natürlich noch weitere Versuche außer dem Standardversuch mit dem optischen Halbzylinder möglich. So kann nicht nur die Brechung am Grenzübergang Luft-Glas, sondern auch am Grenzübergang Luft-Wasser gezeigt werden. In Abbildung 4 geht der Laserstrahl von unten in ein Gefäß mit Wasser. In dem Gefäß steht außerdem ein weißer Schirm, auf dem der einfallende und der gebrochene Strahl gut und der reflektierte Strahl schwach sichtbar werden.

Beim Thema Totalreflexion bieten sich verschiedene Anwendungen an. So kann man z.B. die Lichtleitung in Glasfasern [2] oder der Windschutzscheibe des Autos [1] thematisieren. Ein schmales langes Stück Acrylglas kann dabei als Modell dienen (siehe Abb. 5).

Eine weitere technische Anwendung ist die Verwendung von Glas- und Kunststoffprismen als Spiegel, wobei die Totalreflexion an einer oder mehreren Prismenflächen ausgenutzt wird. Die Reflexion ist dabei entscheidend besser als bei Glasspiegeln. Fällt das Licht bei einem gleichschenkelig-rechtwinkligen Prisma senkrecht durch eine Kathetenfläche, wird es an der Hypotenusenfläche total reflektiert (90°-Umlenkprisma). Fällt es senkrecht auf die Hypotenusenfläche, wird es an den Kathetenflächen zweimal total reflektiert (180°-Umlenkprisma), wobei Bilder auf den Kopf gestellt werden (Umkehrprisma), was im

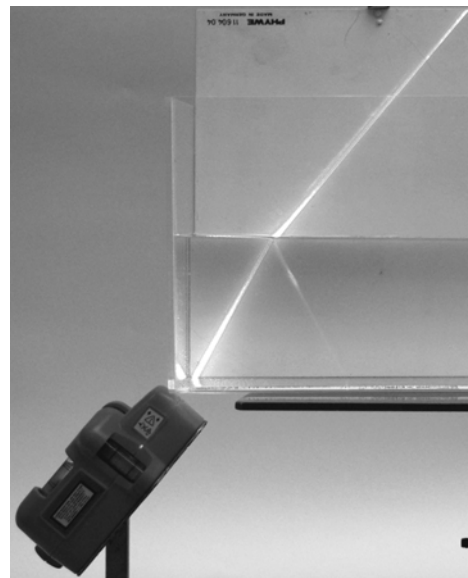


Abb. 4: Brechung beim Übergang von Wasser nach Luft (verwendet: Nr. 5 in Tab. 1)

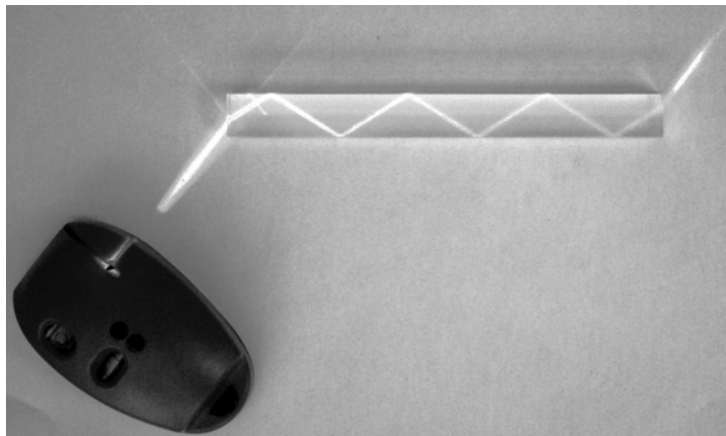


Abb. 5: Modell einer Glasfaser (verwendet: Nr. 4 in Tab. 1)

Prismenfernglas verwendet wird (siehe Abb. 6). Fällt das Licht unter 45° auf eine Kathetenfläche, erhält man durch Brechung und Totalreflexion ein geradsichtiges Wendeprisma.

Acrylglasstücke mit geraden Kanten können günstig in beliebigen gewünschten Formen selbst hergestellt werden. Dazu wird eine Acrylglasplatte im Baumarkt gekauft, an der Kreissäge zugeschnitten und dann werden mit immer feinerem Schleifpapier bis hin

zur Schleifpaste die Seiten geschliffen, an denen man Licht ein- oder auskoppeln will. So kann man sich ein Prisma oder ein Modell für einen langen Lichtleiter oder einen Brillanten herstellen, was allerdings einige Geduld beim Schleifen erfordert, aber in einem Projekt auch von Schülern gemacht werden kann.

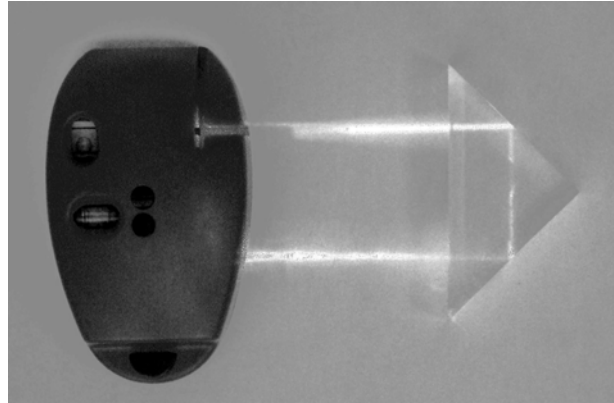


Abb. 6: Lichtstrahl in einem 180° -Umlenkprisma (verwendet: Nr. 4 in Tab. 1)

7. Fazit

In Zeiten knapper Kassen ist die Verwendung einer Laserwasserwaage eine attraktive Variante für Brechungsversuche. Einfacher Aufbau und gute Versuchsergebnisse sprechen dafür. Die Verwendung von handelsüblichen Baumarktgeräten hilft vielleicht auch, die Kluft zwischen Physikunterricht und Alltagswelt zu verringern.

Danksagung

Die Idee für diese Versuchsvariante mit der Laserwasserwaage entstand im Gespräch mit Markus König. Vielen Dank für die Anregung und die Hilfen.

Literatur

- [1] *Geßner, T.; Wilhelm, T.*: Der Regensensor im Unterricht - In: Praxis der Naturwissenschaften – Physik in der Schule 57, Nr. 1, 2008, S. 24 - 31
- [2] *Koppelman, G.; Rehnert, H.*: Demonstrationsversuche zur Totalreflexion und zur Lichtleitung in optischen Fasern - In: Praxis der Naturwissenschaften - Physik 38, 1989, Nr. 2, S. 9 – 14
- [3] *Strahlenschutzkommission*: Gefährdungen durch Laserpointer, Empfehlung der Strahlenschutzkommission verabschiedet in der 204. Sitzung der Kommission am 8./9. Dezember 2005, veröffentlicht durch Bekanntmachung vom 15. März 2006 (BAnz. Nr. 75 vom 20.04.2006 S. 3029)

Anschrift des Verfassers:

AR Dr. *Thomas Wilhelm*, Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Am Hubland, 97074 Würzburg, wilhelm@physik.uni-wuerzburg.de, www.physik.uni-wuerzburg.de/~wilhelm