

Vers. Nr. 55: Brechungsindex

Version 1.5

1 **Kurzbeschreibung**

In diesem Versuch ermitteln Sie experimentell den Brechungsindex von Wasser sowie eines anderen Materials. Weiterhin messen Sie den Grenzwinkel der Totalreflexion bei Wasser und überprüfen damit dessen theoretische Formel.

2 **Literatur zur Versuchsvorbereitung**

Sie sollten vor der Versuchsdurchführung den Vorlesungsteil zu „Brechung“ bei Lichtstrahlen, sowie zur „Totalreflexion“ von Lichtstrahlen durcharbeiten.

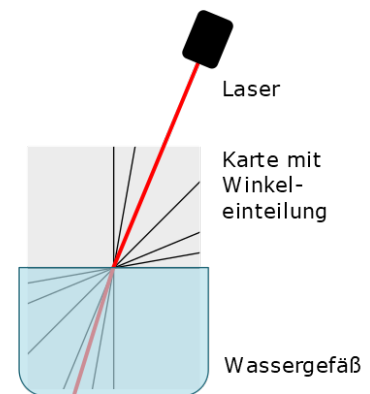
In der Wikipedia können Sie das auch gut nachlesen:

- Konzept der „Brechung“ von Lichtstrahlen: [de.wikipedia.org/wiki/Brechung_\(Physik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Brechung_(Physik))
- Brechungsgesetz: de.wikipedia.org/wiki/Licht#Brechung
- Grenzwinkel Totalreflexion: de.wikipedia.org/wiki/Totalreflexion#Physikalische_Erklärung

3 **Versuchsaufbau**

Für diesen Versuch benötigen Sie folgende Dinge, die Sie vmtl. in Ihrem Haushalt finden können:

- einen **Behälter** mit Wasser
 - an sich geht hier fast alles: ein Wasserglas, eine Glaskaraffe, eine Glas- oder Kunststoffflasche, eine Schüssel oder Ihre Dusch- oder Badewanne
 - für den Versuchsteil zur Totalreflexion sollten die Behälterwände oder der Boden transparent sein, am besten auch plan: z.B. eine eckige Blumenvase, kleines Aquarium, evtl. geht auch die untere Hälfte einer „zurechtgeknickten“ Kunststoffflasche, ...
 - für den Versuchsteil mit einem anderen Material sollte das Fassungsvermögen des Behälters eher unter 1 Liter liegen
- einen **Laserpointer**
 - Nur einen „legalen“ (meist roten) Laserpointer der Laserklasse 2M (oder LK 2 oder 1).
 - **Achtung:** Beachten Sie dessen Sicherheitshinweise: Nie in den Strahl blicken! Nie anderen Menschen ins Gesicht leuchten. Nicht in die Hände von Kindern geben.

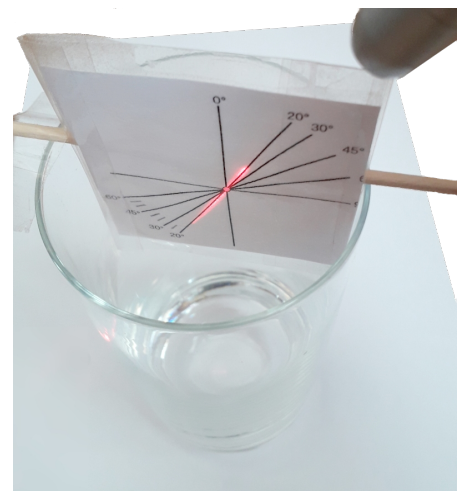


- Wenn Sie die Totalreflexion in einem (größeren) intransparenten Gefäß messen (Schüssel, Badewanne), dann sollten Sie den Laserpointer mit einer transparenten Kunststofftüte wasserdicht einpacken.
- (nur notfalls:) Falls Sie keinen Laserpointer finden, können Sie auch versuchen eine (LED-)Taschenlampe verwenden. Wählen Sie dazu ein Exemplar das schon ein möglichst paralleles Bündel Lichtstrahlen aussendet. Befestigen Sie zusätzlich noch eine Schlitzblende vor der Taschenlampe. Der Schlitz sollte nur ca. einen Millimeter breit sein und ca. 10 cm von der Taschenlampe entfernt (z.B. mit einer Papprolle verbunden) mitten in dessen Lichtstrahl montiert werden. Ziel ist es, auch hiermit ein sehr gut paralleles Bündel Licht zu erzeugen. Doch die Durchführung des Experimentes ist hiermit deutlich schwieriger als mit einem Laserpointer.
- wasserfeste **Folie mit Winkelleinteilung** (oder folierte Pappe)
 - Markierungen mit wasserfestem Stift (oder notfalls mit Bleistift)
- **Wasser** (ggf. ein wenig Milch zugeben)
- ggf. ein **weiteres transparentes Material**
 - am einfachsten eine transparente Flüssigkeit (Salatöl, Weißwein, Wodka, Lampenöl, ...)
 - Es geht aber auch ein transparenter Klotz eines transparenten Festkörpers. (Z. B. ein Stück Plexiglasscheibe oder Glasscheibe, Scheiben sollten mindestens 3mm dick sein.)

Lesen Sie sich bitte die folgende Versuchsanleitung einmal komplett durch, bevor Sie mit dem **Zusammenbau** Ihrer Versuchsanordnung beginnen. Dann können Sie Ihren Versuchsaufbau so konstruieren, dass er gut für die von Ihnen geplanten Versuche geeignet ist.

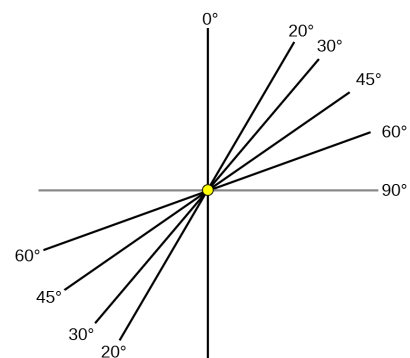
Bauen Sie sich mit diesen Teilen den Aufbau zusammen, wie er in obiger Skizze dargestellt ist. Das Ergebnis könnte beispielsweise so aussehen wie rechts im Foto (noch ohne Wasser). Sie sollten

- eine Winkel-Skala erstellen
- und an Ihrer Folie (oder folierter Pappe) anbringen
- und dabei die Winkel-Skala so zurechtschneiden und in Ihrem Gefäß befestigen, dass sie komplett plan bleibt (der Lichtstrahl soll sich ja daran entlang ausbreiten können).
- Die 90° Linie soll später genau entlang der Wasseroberfläche verlaufen.



Die **Winkel-Skala** könnte ungefähr wie rechts abgebildet aussehen:

Doch erstellen Sie bitte die Linien in einem feineren Winkelraster, so dass Sie daran nach Möglichkeit etwas genauer als auf 5° ablesen können.



4 Durchführung der Messungen

Die Versuchsdurchführung besteht aus drei Teilen. Führen Sie bitte auf jeden Fall Teil 1 durch. Danach können Sie sich einen der beiden Teile 2 oder 3 aussuchen, und diesen zusätzlich durchführen. Wählen Sie diesen weiteren Teil ggf. nach den in Ihrem Haushalt vorhandenen oder fehlenden Hilfsmitteln aus. Gerne können Sie natürlich auch alle drei Versuchsteile durchführen.

4.1 Teil 1: Brechung an Wasser

Füllen Sie Ihren Behälter mit Leitungswasser und positionieren Sie Ihre Winkelskala so, dass dessen zentraler Kreuzungspunkt ungefähr mittig an der Wasseroberfläche sitzt. Sie Skala sollte so weit oben im Gefäß befestigt sein, dass Sie auch die größeren Einfallswinkel noch realisieren können.

Lassen Sie die Wasseroberfläche sich beruhigen, damit sich dort eine plane Grenzfläche von Luft zu Wasser ergibt. Reduzieren Sie die Beleuchtung Ihres Zimmers so weit, dass Sie den Lichtstrahl gut erkennen können. Leuchten Sie mit Ihrem Laserpointer entlang einer der Linien auf Ihrer Winkelskala auf der Luft-Seite. Zielen Sie so, dass der Laserstrahl möglichst genau am zentralen Kreuzungspunkt der Skala ins Wasser eintritt. Sie sollten den Lichtstrahl nun auch innerhalb des Wassers an Ihrer Winkelskala erkennen.

Falls Ihr Laserstrahl sehr schmal ist und Sie ihn daher nur schwierig an der Luft und gleichzeitig innerhalb des Wasser erkennen können, dann probieren Sie folgende Hilfestellungen:

- Bewegen Sie den Laserstrahl ein wenig „seitlich“ hin und her, so dass der rote Punkt auf ein und derselben Winkel-Linie Ihrer Skale auf und ab läuft.
- Reflektieren Sie den Laserstrahl an einem (glänzenden) Löffel um ihn zu vergrößern. (Leider erscheint der Strahl dann auf der Skala nicht nur länger sondern auch breiter.)

Lesen Sie den Ausfallswinkel innerhalb des Wassers an Ihrer Skala ab. (Falls Sie einen recht breiten Lichtstrahl verwenden, dann schätzen Sie die Winkellage der *Mitte* des Lichtstrahls.) Beginnen Sie mit einem großen Einfallswinkel (45° oder 60°) um am Anfang den Effekt deutlich zu erkennen.

- a) Führen Sie diese Messung für alle in der folgenden Tabelle aufgeführten Einfallswinkel durch und notieren den **gemessenen Ausfallswinkel**. (Diese Winkel werden zum Lot gemessen.)

Einfallswinkel α_1 (an Luft)	Ausfallswinkel α_2 (im Wasser)	→ Brechungsindex n_2
0°		
20°		
30°		
45°		
60°		

Erstellen Sie während dieser Messung auch einen kurzen Videofilm, der Sie bei der Messung zeigt, und den Sie am Ende des Versuches einreichen werden.

Formen Sie diese Formel des Brechungsgesetzes nach dem Brechungsindex n_2 (des Wassers) um:

$$n_1 \cdot \sin(\alpha_1) = n_2 \cdot \sin(\alpha_2)$$

Den Brechungsindex n_1 (hier der Luft) können Sie als $n_1=1$ annähern.

- b) Tragen Sie die so **berechneten Werte für n_2** in der rechten Spalte der obigen Tabelle ein.
- c) Ermitteln Sie einen „**Bestwert**“ für den **Brechungsindex n_2 des Wassers** aus all Ihren obigen Messdaten. Sie können diesen beispielsweise als Mittelwert berechnen, ignorieren Sie ggf. erkannte „schwere Messfehler“ für diese Berechnung. Geben Sie eine sinnvolle Messunsicherheit für Ihren Bestwert von n_2 an:

Ergebnis: $n_2 = \underline{\hspace{2cm}} \pm \underline{\hspace{2cm}} .$

- d) Erstellen Sie (mit Excel oder Octave) ein **Diagramm**, das folgendes zeigt, und fügen es hier als Screenshot ein:
- Ihre Winkel-Messdaten (α_1 und α_2 aus obiger Tabelle) als Kreuze (ohne Verbindungslinie)
 - Eine berechnete Theorie-Kurve, die Sie aus Ihrem ermittelten „Bestwert“ für n_2 , sowie $n_1=1$ und dem Wertebereich von $\alpha_1 = 0^\circ \dots 60^\circ$ erhalten. Bitte fügen Sie diese Theorie-Kurve als Linie in dasselbe Diagramm hinzu, in dem sich Ihre Winkel-Messdaten schon befinden.
 - Denken Sie an Achsenbeschriftungen, einen Titel, und eine Legende.

4.2 Teil 2: Totalreflexion an Wasser

Die Versuchsdurchführung in diesem Teil ist ähnlich zu der in Teil 1. Nur kommt Ihr einfallender Lichtstrahl diesmal von unten (also von der Wasserseite) an die Wasseroberfläche.

Sie können diesen Versuchsteil daher nur durchführen, wenn Sie diese Geometrie mit Ihrem Wasserbehälter realisieren können. Dazu sollte Ihr Behälter transparente Seitenwände und/oder einen transparenten Boden haben. Und diese Seitenwände oder der Boden sollten auch noch ausreichend plan sein, so dass Sie Ihren Lichtstrahl dann innerhalb des Wassers noch entlang Ihrer

Winkelskala als gebündelten Strahl erkennen können. Falls das mit Ihrem Gefäß nicht klappt, so führen Sie bitte alternativ den folgenden Teil 3 des Versuches durch.

Leuchten Sie nun also derart in Ihr Wasserbehältnis, dass Sie innerhalb des Wassers einen Lichtstrahl erzeugen, der „von unten nach oben“ durch das Wasser auf den Kreuzungspunkt Ihrer Winkelskala zuläuft. Dieser Winkel im Wasser ist nun der Einfallswinkel.

- e) Beobachten Sie für alle in der folgenden Tabelle genannten Einfallswinkel (im Wasser) den **Ausfallswinkel (an Luft)** und notieren ihn. Für bestimmte Einfallswinkel werden Sie gar keinen an der Luft auslaufenden Strahl mehr erhalten, das ist die „Totalreflexion“. In diesem Fall notieren Sie ein „x“ in der Tabelle. Messen Sie noch weitere Einfallswinkel, um möglichst genau den „Grenzwinkel der Totalreflexion“ herauszufinden, also den maximal möglichen Einfallswinkel, so dass Sie gerade noch einen auslaufenden Strahl an der Luft erhalten.

Einfallswinkel α_1 (im Wasser)	Ausfallswinkel α_2 (an Luft), oder x
0°	
20°	
30°	
45°	
60°	

- f) Welchen „**Grenzwinkel der Totalreflexion**“ haben Sie gemessen? (Geben Sie auch eine Unsicherheit für diesen Wert an, die beschreibt in welchem Winkelintervall dieses Ergebnis liegen könnte, ohne Ihren Messwerten zu widersprechen):

→ Ergebnis der Messung: $\alpha_{\text{TIR}} = \text{_____}^\circ \pm \text{_____}^\circ$

- g) Nun berechnen Sie (mit Ihrem gemessenen Wert für den Brechungsindex des Wassers aus Teil 1, diesmal als n_1) mit folgender Theorie-Formel den Grenzwinkel der Totalreflexion.

$$\alpha_{\text{TIR}} = \arcsin(n_2/n_1) \quad (\text{Verwenden Sie für die Luft wieder } n_2=1.)$$

→ **Theorie-Wert** (aus gemessenem Brechungsindex): $\alpha_{\text{TIR}} = \text{_____}^\circ$

- h) **Diskussion:** Passen Ihr gemessener Wert für α_{TIR} und der Theorie-Wert α_{TIR} „im Rahmen der Messunsicherheit“ zueinander? (Ja/Nein?) Bitte begründen Sie Ihre Antwort auch kurz:

4.3 Teil 3: Brechung an einem anderen Medium

Die Versuchsdurchführung in diesem Teil ist identisch zu der in Teil 1 mit Leitungswasser. Nur dass Sie jetzt den Brechungsindex eines anderen transparenten Mediums bestimmen. Die Wahl, welches (originelle) Medium Sie hier bei der Brechungsindex-Messung verwenden, liegt bei Ihnen.

Falls Sie eine Flüssigkeit vermessen, können Sie diese wieder in den selben Aufbau wie in Teil 1 hineintun.

Sollten Sie einen transparenten Festkörper für diese Messung wählen, dann konstruieren Sie Ihren Aufbau ggf. etwas um. Es könnte zum Beispiel leichter sein, den gesamten Aufbau dann liegend, also mit dem Lichtstrahl parallel zur Tischoberfläche, zu verwenden. Ihr Festkörper sollte mindestens eine plane und glatte Fläche aufweisen, an der Sie den Lichtstrahl eintreten lassen können. Positionieren Sie Ihre Winkelskala wieder so, dass Sie um diesen Eintrittspunkt herum positioniert ist und die 0°-Markierung senkrecht zu dieser Eintrittsfläche orientiert ist.

Erstellen Sie auch während dieser Messung einen kurzen Videofilm, der Sie bei der Messung zeigt.

- i) Führen Sie diese Messung für alle in der folgenden Tabelle aufgeführten Einfallswinkel durch und notieren den gemessenen **Ausfallswinkel**.

Einfallswinkel α_1	Ausfallswinkel α_2	→ Brechungsindex n_2
0°		
20°		
30°		
45°		
60°		

- j) Berechnen Sie wieder aus der Formel des Brechungsgesetzes jeweils den Brechungsindex Ihres Materials. Tragen Sie die so **berechneten Werte für n_2** in der rechten Spalte der obigen Tabelle ein.

- k) Ermitteln Sie wieder einen „**Bestwert**“ für den **Brechungsindex n_2 Ihres Materials** aus all Ihren obigen Messdaten und geben Sie eine sinnvolle Messunsicherheit für Ihren Bestwert an:

Material: _____ Ergebnis: $n_2 =$ _____ \pm _____ .

5 Laborbericht

Nach vollständiger Bearbeitung dieses Versuches, reichen Sie bitte die folgende Dateien über die Moodle-Kursseite ein.

- Einen **einfachen Laborbericht**: Diesen erhalten Sie, in dem Sie alle oben aufgeführten Auswertungsfragen (a, b, c, ...) in dieser Laboranleitung ausfüllen. Von Ihrem (Excel-) Diagramm machen Sie bitte einen Screenshot und fügen diesen auch an der entsprechenden Stelle des Dokumentes ein. Zum Schluss scannen Sie das Dokument ein (es gibt auch Apps um das mit der Handy-Kamera zu machen) und laden es als eine einzige PDF-Datei hoch.
- Einen **kurzen Dokumentations-Film**, mit maximal 1-2 Minuten Laufzeit. Dieser Film wird auch für all Ihre Mitstudentinnen und Studenten sichtbar sein. In diesem Film soll mindestens folgendes zu sehen sein:
 - Wie Sie den Teil 1 der Messung („Brechungsindex von Wasser“) durchführen. Das Wasserbehältnis sowie die Winkelskala sollen einmal erkennbar sein.
 - Wie Sie den Teil 2 („Totalreflexion an Wasser“) oder den Teil 3 („Brechung an einem anderen Medium“) der Messung durchführen.
 - Nennen Sie zu Beginn des Films alle Namen aus Ihrer Laborgruppe.
 - Wenn Sie es technisch hinbekommen, wäre es super wenn Sie ganz am Ende dieses Films auch noch Ihre zwei Messergebnisse einblenden, also z.B.
„ Brechungsindex Mondwasser: $n_{\text{Mond}} = 3,5 \pm 0,3$,
Grenzwinkel Totalreflexion (Mondwasser): $\alpha_{\text{TIR}} = 33^\circ$ “
- Ein begleitendes Textdokument als Laborbericht ist nicht nötig.