

VERSUCHSBERICHT ZU

O1 - GEOMETRISCHE OPTIK

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 04.04.2018
betreut von
Helge Gehring

10. Juni 2018

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Kurzfassung | 3 |
| 2 | Methoden | 3 |
| 3 | Ergebnisse und Diskussion | 4 |
| 3.1 | Beobachtung | 4 |
| 3.1.1 | Demonstrationsversuch | 4 |
| 3.1.2 | Prisma | 4 |
| 3.1.3 | Brechungsindex von Wasser | 4 |
| 3.1.4 | Brennweite der Sammellinse | 4 |
| 3.1.5 | Brennweite der Streulinse | 4 |
| 3.1.6 | Strahlaufweitung und Sammellinse | 4 |
| 3.2 | Datenanalyse | 4 |
| 3.2.1 | Brechungsindex des Prismas | 4 |
| 3.2.2 | Brechungsindex von Wasser | 5 |
| 3.2.3 | Brennweite Streulinse | 6 |
| 3.3 | Diskussion | 6 |
| 4 | Schlussfolgerung | 7 |

1 Kurzfassung

Es wurden mehrere Experimente zur Untersuchung von optischen Komponenten durchgeführt. Zunächst wurde der Brechungsindex eines Prismas aus Flintglas untersucht. Dabei wurde erwartet, dass dieser innerhalb der Unsicherheiten mit einem Literaturwert für Flintglas übereinstimmt. Außerdem wurde dies für zwei verschiedene Wellenlängen durchgeführt, wobei erwartet wurde, dass der Brechungsindex sich nur leicht durch Änderung der Wellenlänge ändert. Es war bekannt, dass typischerweise der Brechungsindex im Bereich des sichtbaren Lichts leicht mit steigender Wellenlänge sinkt, weshalb erwartet wurde, dass der Brechungsindex bei Messung mit einem roten Laser marginal kleiner ist als bei Messung mit einem blauen Laser. Analog wird beim Brechungsindex von Wasser erwartet, dass er innerhalb der Unsicherheiten mit dem Literaturwert übereinstimmt und bei rotem Licht leicht kleiner als bei blauem ist.

2 Methoden

Zunächst wurde ein Demonstrationsversuch beobachtet, der darin bestand, dass ein Laserstrahl leicht gegenüber der horizontalen verkippt durch einen Behälter mit Salzwasser gestrahlt wurde. Dann wurde ein Prisma in den Strahlengang eines roten und dann eines blauen Lasers gebracht und beobachtet, wie sich der Strahlengang ändert, wenn man das Prisma dreht. Dazu wurde das Prisma so gedreht, dass der Winkel, in dem das Prisma den Strahl ablenkt, minimal wurde und dieser Winkel gemessen. Dann wurde für beide Laser die Beugungsmaxima gemessen, die entstehen, wenn man den Laserstrahl durch ein Gitter an einer Halbkreisküvette schickt. Dies wurde einmal mit leerer und einmal mit mit destilliertem Wasser gefüllter Halbkreisküvette durchgeführt. Dann wurden zwei Linsen untersucht. Zunächst wurde bestimmt, welche der Linsen Streu- bzw. Sammellinse ist, indem ein Laserstrahl durch sie geschickt wurde und dahinter der Schirm bewegt wurde, bis der Brennpunkt gefunden wurde oder man sicher war, dass keiner existierte. Die Brennweite der Sammellinse wurde bestimmt, indem der Abstand von Linse zum Brennpunkt gemessen wurde. Dann wurde der Laser durch die Kombination von Streu- und Sammellinse geschickt (in der Reihenfolge) und der Abstand zwischen beiden geändert, bis der Strahl hinter den Linsen wieder kollimiert war. Um zu testen, ob dies der Fall war, wurde ein Schirm hinter beiden Linsen bewegt und getestet, ob sich die Größe des Laserpunktes darauf änderte. Abschließend wurde eine Strahlaufweitung auf den Laser geschraubt und justiert, bis der Laserstrahl kollimiert war. Dann wurde qualitativ beobachtet, was passiert, wenn man den aufgeweiteten Laserstrahl durch die Sammellinse schickt und dabei den Strahl nicht mittig durch die Linse laufen lässt bzw. die Linse gegenüber dem Strahl verkippt.

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtung

3.1.1 Demonstrationsversuch

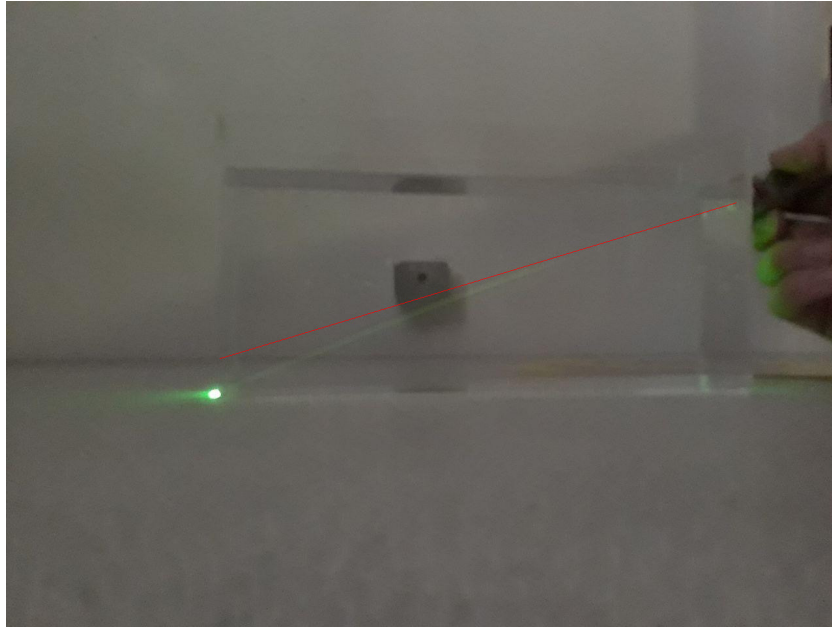


Abbildung 1: In einen Behälter mit Salzwasser wurde schräg von der Seite mit einem grünen Laser eingestrahlt. Die rote Linie dieht lediglich zur Veranschaulichung des ursprünglich geraden Verlaufs des Lasers.

3.1.2 Prisma

3.1.3 Brechungsindex von Wasser

3.1.4 Brennweite der Sammellinse

3.1.5 Brennweite der Streulinse

3.1.6 Strahlaufweitung und Sammellinse

3.2 Datenanalyse

3.2.1 Brechungsindex des Prismas

In der Einleitung wurde Gleichung (1) zur Bestimmung des Brechungsindex des Prismamaterials bei einer minimalen Ablenkung δ_m aufgeführt.

$$n = \frac{\sin [(\delta_m + \alpha)/2]}{\sin (\alpha/2)} \quad (1)$$

$$u(n) = u(\delta_m) \cdot \left| \frac{\sin(a/2) \cos[(a + \delta_m)/2]}{\cos(\alpha) - 1} \right| \quad (2)$$

Dabei wurde in einem Abstand d eine orthogonale Auslenkung a gemessen. Der Apexwinkel α beträgt 60° . Es folgt eine minimale Auslenkung $\delta_m = \arctan(a/d)$. Die aus den Messungen folgenden Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Aus gemessener Auslenkung des Lichtstrahls und Abstand des Lineals lässt sich der Ablenkungswinkel δ bestimmen. Der Brechungsindex des Prismas folgt wiederum aus dem minimalen Ablenkungswinkel δ_m .

| Laser | Auslenkung a | Abstand d | δ_m | n |
|-------|-----------------------|---------------------|---------------------------|-------------------|
| rot | $(13,23 \pm 0,14)$ cm | $(12,0 \pm 0,2)$ cm | $(0,8341 \pm 0,0098)$ rad | $1,616 \pm 0,006$ |
| blau | $(14,82 \pm 0,14)$ cm | $(12,0 \pm 0,2)$ cm | $(0,8901 \pm 0,0094)$ rad | $1,648 \pm 0,005$ |

3.2.2 Brechungsindex von Wasser

Das Snelliussche Brechungsgesetz lautet:

$$n_i \cdot \sin(\vartheta_i) = n_t \cdot \sin(\vartheta_t) \quad (3)$$

Somit kann der Brechungsindex n_{Wasser} mit

$$n_{\text{Wasser}} = n_{\text{Luft}} \frac{\sin(\vartheta_{\text{Luft}})}{\sin(\vartheta_{\text{Wasser}})} \quad (4)$$

$$u(n_{\text{Wasser}}) = n_{\text{Luft}} \sqrt{\left(\frac{\cos(\vartheta_{\text{Luft}})}{\sin(\vartheta_{\text{Wasser}})} u(\vartheta_{\text{Luft}}) \right)^2 + \left(\frac{\sin(\vartheta_{\text{Luft}}) \cos(\vartheta_{\text{Wasser}})}{\sin(\vartheta_{\text{Wasser}})^2} u(\vartheta_{\text{Wasser}}) \right)^2} \quad (5)$$

bestimmt werden. Die Messwerte sowie resultierende Brechungsindizes sind in Tabelle 2 aufgeführt. Gemittelt ergibt sich ein Brechungsindex für Wasser bei rotem Licht von $1,309 \pm 0,010$ und bei blauem $1,318 \pm 0,012$.

Tabelle 2: Für einen roten und einen roten Laser sind die Winkel Beugungsmaxima die durch ein Gitter erzeugt werden aufgeführt. Unmittelbar hinter dem Gitter befand sich eine Halbkreisküvette einmal mit Luft und einmal mit destilliertem Wasser gefüllt. Aus der Winkeländerung lassen sich die Brechungsindizes von Wasser nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz bestimmen.

| Laser | Maximum Ordnung | ϑ_{Luft} | $\vartheta_{\text{Wasser}}$ | n_{Wasser} |
|-------|-----------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------|
| rot | -2 | $(52,8 \pm 0,3)^\circ$ | $(37,5 \pm 0,3)^\circ$ | $1,308 \pm 0,010$ |
| | -1 | $(23,8 \pm 0,3)^\circ$ | $(18,0 \pm 0,3)^\circ$ | $1,306 \pm 0,026$ |
| | 1 | $(24,0 \pm 0,3)^\circ$ | $(18,0 \pm 0,3)^\circ$ | $1,316 \pm 0,026$ |
| | 2 | $(53,5 \pm 0,3)^\circ$ | $(38,0 \pm 0,3)^\circ$ | $1,306 \pm 0,010$ |
| blau | -3 | $(48,0 \pm 0,3)^\circ$ | $(34,5 \pm 0,3)^\circ$ | $1,312 \pm 0,012$ |
| | -2 | $(30,0 \pm 0,3)^\circ$ | $(22,2 \pm 0,3)^\circ$ | $1,323 \pm 0,021$ |
| | -1 | $(14,5 \pm 0,3)^\circ$ | $(10,9 \pm 0,3)^\circ$ | $1,324 \pm 0,045$ |
| | 1 | $(14,5 \pm 0,3)^\circ$ | $(11,0 \pm 0,3)^\circ$ | $1,312 \pm 0,044$ |
| | 2 | $(30,0 \pm 0,3)^\circ$ | $(22,2 \pm 0,3)^\circ$ | $1,323 \pm 0,021$ |
| | 3 | $(48,5 \pm 0,3)^\circ$ | $(34,8 \pm 0,3)^\circ$ | $1,312 \pm 0,012$ |

3.2.3 Brennweite Streulinse

In der Einführung wurde die Brennweite eines Linsensystems mit folgender Formel beschrieben:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} - \frac{d}{f_1 f_2} \quad (6)$$

Im Falle eines eintreffenden kollimierten Strahls, der nach dem Linsensystem erneut kollimiert ist, liegt der Fokus im Unendlichen. Der Kehrwert $1/f$ nähert sich also Null an. Für Gleichung (6) folgt daraus, dass $d = f_1 + f_2$ gelten muss. Die Brennweite der Sammellinse beträgt $(7,5 \pm 1,2)$ cm und der Abstand der Linsen d war $(10,7 \pm 1,2)$ cm. Es ergibt sich also eine Brennweite von $(3,2 \pm 1,7)$ cm für die Streulinse.

3.3 Diskussion

Die Literatur gibt für den Brechungsindex von Flintglas einen Wert von 1,613 an [flintglasref]. Da hier nicht eindeutig ist, wo im sichtbaren Spektrum dieser Wert gemessen wurde, kann er zwar nicht die Messwerte bezogen auf ihre präzise Wellenlänge bestätigen, aber da er innerhalb der Unsicherheiten des gemessenen Brechungsindex bei rotem Laser ($1,616 \pm 0,006$) liegt, kann der Literaturwert für den Bereich des roten Lichts bestätigt werden. Außerdem kann die Vermutung, dass der Brechungsindex bei rotem Licht leicht kleiner als bei blauem ist, mit hinreichender Signifikanz bestätigt werden (vgl. Tabelle 1).

Für Wasser gibt die Literatur einen Brechungsindex von 1,333 an [flintglasref]. Dies liegt innerhalb der 1,3-fachen Unsicherheit des Mittelwerts für blaues Licht. Dies ist ausreichend, um den Literaturwert für einen Bereich des sichtbaren Lichts zu bestätigen. Dass der Brechungsindex mit steigender Wellenlänge sinkt, entspricht zwar den Messwerten von $1,309 \pm 0,010$ bei rotem Licht und 1,318 bei blauem, aber die Signifikanz ist

hier (aufgrund der geringen Differenz dieser Werte im Vergleich zu ihren Fehlern) sehr gering.

4 Schlussfolgerung