

VERSUCHSBERICHT ZU

O1 – GEOMETRISCHE OPTIK

Gruppe Mi 11

Alex Oster(a_oste16@uni-muenster.de)
Jonathan Sigrist(j_sigr01@uni-muenster.de)

durchgeführt am 30.05.2018
betreut von Johannes Feldmann

5. Juni 2018

Inhaltsverzeichnis

1 Kurzfassung	1
2 Demonstrationsversuch	1
2.1 Methoden	1
2.2 Durchführung	1
2.3 Diskussion	2
3 Untersuchung optischer Elemente	4
3.1 Methoden	4
3.2 Durchführung	6
3.3 Datenanalyse	6
3.4 Diskussion	6
4 Schlussfolgerung	7
5 Anhang	8
5.1 Unsicherheiten	8
Literatur	10

1 Kurzfassung

Dieser Bericht beschäftigt sich mit der Untersuchung von geometrischer Optik. Dazu dienen zwei Versuche. Bei dem ersten handelt es sich um einen von dem Betreuer durchgeführten Demonstrationsversuch, bei dem die Brechung von Laserlicht in inhomogenem Salzwasser untersucht wird. Der zweite Versuch besteht darin verschiedene optische Elemente in einen Laserstrahl einzubringen und die Veränderung des Strahlengangs zu untersuchen. Ziel des Ganzen ist alle Beobachtungen über die Theorie der geometrischen Optik erklären zu können und für die ermittelten Brechungsindizes n einiger verwendeten Materialien eine Übereinstimmung mit den Literaturwerten zu finden.

Die Beobachtungen ließen sich alle begründen und für die Brechungsindizes ergaben sich

2 Demonstrationsversuch

2.1 Methoden

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 1 graphisch dargestellt. Zu erkennen sind ein mit Salzwasser gefülltes Glasgefäß und darauf gerichtete Laser. Das Wasser wurde so bearbeitet, dass der Salzgehalt von oben nach unten größer wird.

Im Wesentlichen werden für diesen Versuch nur beide bzw. nur einer der Laser in Betrieb genommen und der Strahlengang, welcher zunächst schräg nach oben in das Gefäß eintreten soll, beobachtet. Abhängig von der Krümmung des Strahlengangs in der Salzlösung lässt sich eine Aussage über den dortigen Brechungsindex n_{Salz} machen.

2.2 Durchführung

Nach Inbetriebnahme beider Laser, wobei einer durch die Salzlösung strahlt und der andere entlang der Glaswand, ließ sich das in Abbildung 2 dargestellte Bild erkennen. Hierbei war eine nach unten gerichtete Krümmung des Laserlichts in der Salzlösung

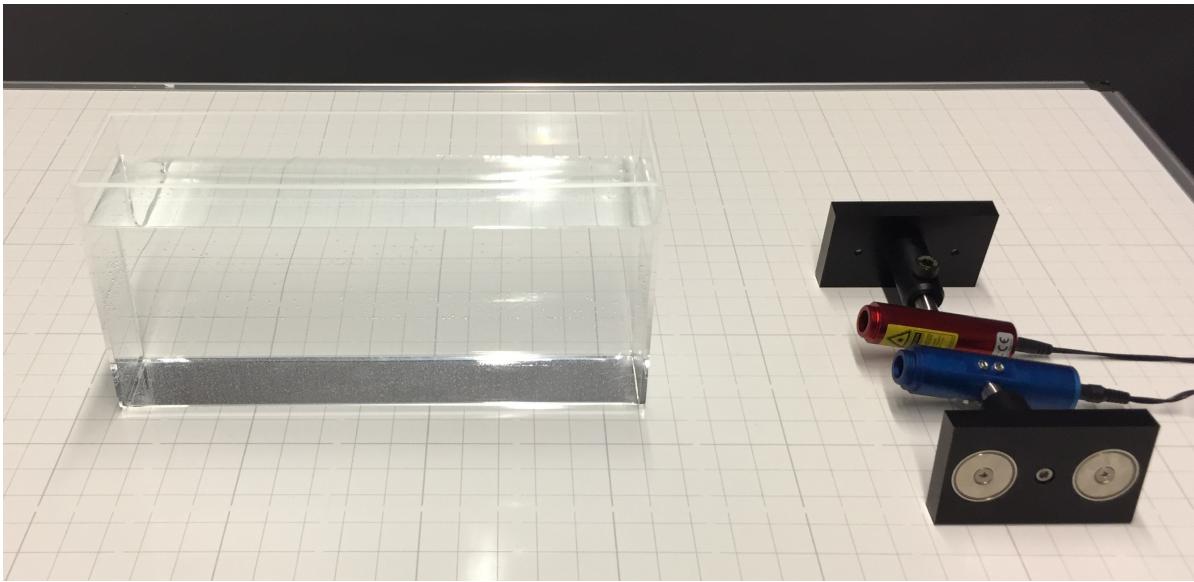


Abbildung 1: Aufbau des Demonstrationsversuches.[1]

erkennen.

2.3 Diskussion

Die bei dem Versuch beobachtete Krümmung führt zu der Annahme, dass der Brechungsindex n_{Salz} der Salzlösung nicht konstant ist. Um zu bestimmen, ob dieser mit der Tiefe des Lichts in der Salzlösung größer oder kleiner wird dient das Snelliussche Brechungsgesetz: $n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2$. Diese Winkel entsprechen denen, die zwischen dem Strahlengang und der Normalen durch den Eintrittspunkt an der Grenzfläche zwischen Glasgefäß und Luft liegen. Daraus folgt, dass wenn der Strahl, wie beobachtet, zu der Normalen hin gekrümmmt wird, gerade $n_{\text{Salz}} > n_{\text{Luft}}$ gilt. Und da dieser Strahlengang sich mit steigender Tiefe weiter krümmt, folgt dass durch den steigendem Salzgehalt auch der Brechungsindex n_{Salz} größer wird.

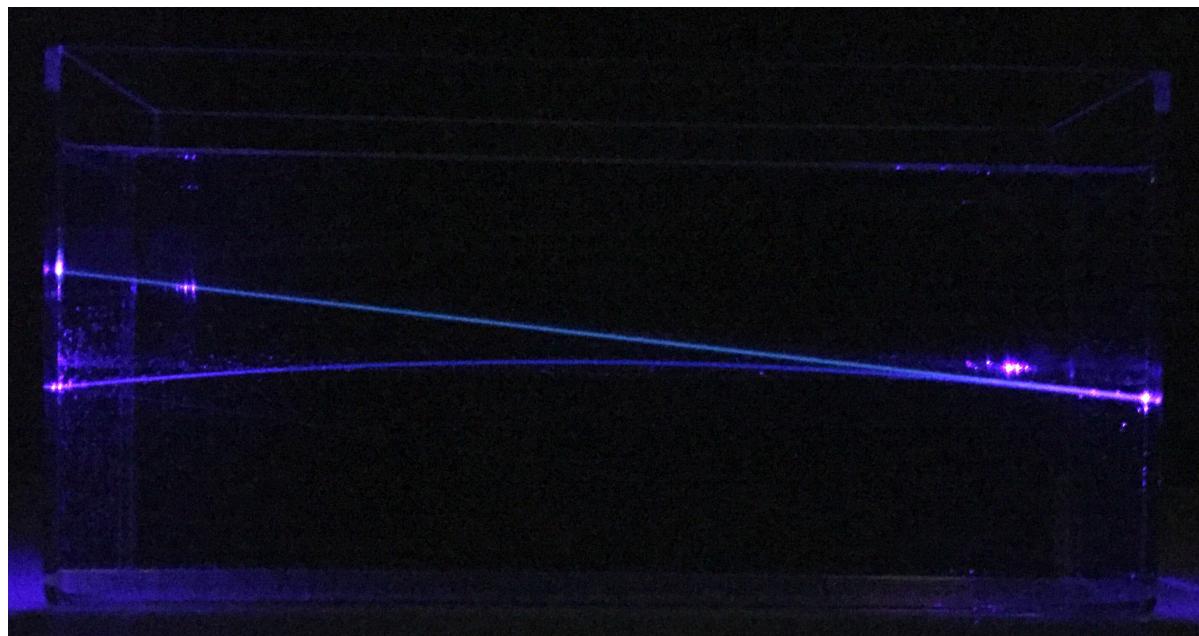


Abbildung 2: Strahlengang durch das Salzwasser (gebrochen) und entlang der Wand des Glasgefäßes (gerade).[1]

3 Untersuchung optischer Elemente

3.1 Methoden

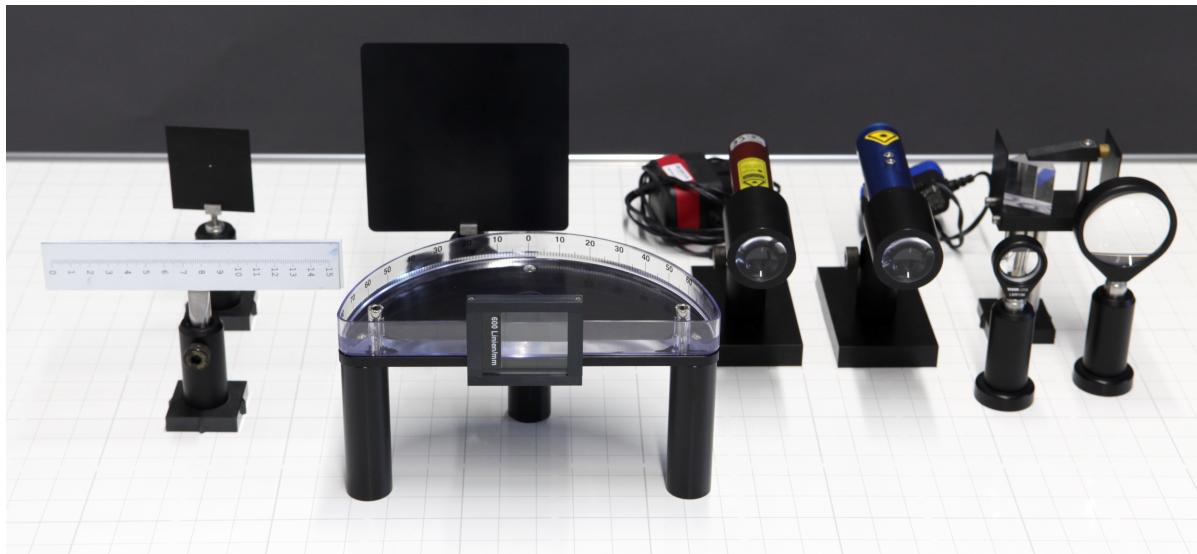


Abbildung 3: Für den Versuch verwendete Materialien.[1]

Abbildung 3 zeigt die für diesen Versuch verwendeten Materialien. Alle dieser befinden sich auf einer magnetischen Unterlage, sodass diese nicht einfach während der Messung verrutschen können. Zu den Materialien gehören ein roter Laser ($\lambda = 650 \text{ nm}$), ein blauer Laser ($\lambda = 405 \text{ nm}$) und eine Lochblende zur Ausrichtung eines geraden Strahlengangs, welcher parallel zu dem Raster auf der magnetischen Unterlage verlaufen soll. Für beide Laser soll dieser durch das Prisma und das Gitter verlaufen und für einen einzelnen durch die Linsen.

Das Prisma besteht aus Flintglas und besitzt von vorne betrachtet die Form eines gleichseitigen Dreiecks ($\alpha = 60^\circ$). Die Strahlen der beiden Laser sollen so gerichtet werden, dass sie durch den Apex des Prismas verlaufen. Als Schirm zur Messung der Ablenkung dient die horizontal ausgerichtete Messleiste. Zu beobachten ist die Änderung der Ablenkung bei dem Drehen des Prismas. Bei symmetrischem Strahlengang ist die Ablenkung minimal. Aus Abstand zur Messleiste h und Ablenkung x von der Nulllage

(keine Ablenkung) lässt sich über

$$\tan \delta_m = \frac{h}{x} \Leftrightarrow \delta_m = \arctan \frac{h}{x} \quad (3.1)$$

der minimale Ablenkinkel δ_m bestimmen. Zur Veranschaulichung dient Abb. 4. Für den

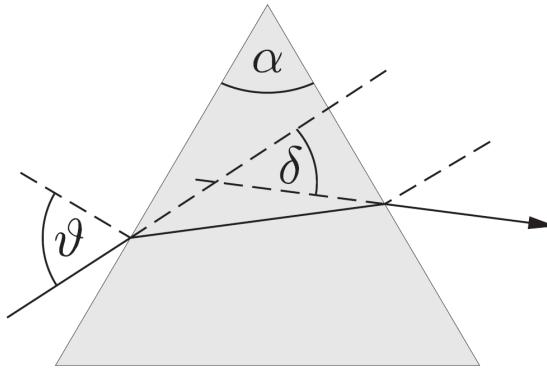


Abbildung 4: Durchgang eines Lichtstrahls durch ein Prisma.[1]

symmetrischen Durchgang des Lichtstrahls durch das Prisma entfällt das ϑ in der Skizze und es lässt sich für den Brechungsindex n_{Prisma} des Prismas folgendes aufstellen:

$$n = \frac{\sin[(\delta_m + \alpha)/2]}{\sin[\alpha/2]}. \quad (3.2)$$

Das Gitter ist an einem offenen flachen Halbzylinder bzw. einer Halbkreisküvette angebracht, sodass die Ablenkung des Strahlengangs auf dem Gradmaß zu messen ist, welches auf der Innenseite dieser Küvette angebracht ist. Da diese offen ist, lässt sie sich mit einem anderem Material, hier destilliertes Wasser, füllen und daher eine andere Ablenkung des Strahls auf dem Gradmaß messen. An dieser Stelle lässt sich der Brechungsindex n_{Wasser} des destillierten Wassers über das Snelliussche Brechungsgesetz $n_{\text{Wasser}} \sin \alpha_{\text{Wasser}} = n_{\text{Luft}} \sin \alpha_{\text{Luft}}$ bestimmen.

Für die Linsen soll zunächst herausgefunden werden, um welche Typen es sich handelt. Dazu wird die Ablenkung des Laserstrahls bei den einzelnen Linsen betrachtet. An dieser Stelle soll zudem die Brennweite der Sammellinse bestimmt werden. Um diese zu bestimmen wird der Schirm verwendet und der Abstand von der Linse gesucht, bei dem alle Strahlen sich in einem Punkt treffen, auf dem Schirm der Laser also am kleinsten

ist. Danach sollen die Linsen so kombiniert werden, dass der Strahl vergrößert wird und dabei noch kollimiert ist. Hierfür ist der richtige Abstand zwischen den Linsen relevant. Aus diesem und der Brennweite der Sammellinse lässt sich die Brennweite der Streulinse einfach dadurch ermitteln, dass beide Brennpunkte aufeinander liegen müssen. Zuletzt soll noch betrachtet werden wie sich der Strahlengang bei Drehung und Verkippung der Sammellinse verhält, wenn der Strahl mit einer Strahlenaufweitung aufgeweitet wird.

3.2 Durchführung

3.3 Datenanalyse

3.4 Diskussion

Auch hier stellt sich nun die Frage, ob die Ziele der Untersuchung erreicht wurden.

4 Schlussfolgerung

5 Anhang

5.1 Unsicherheiten

Jegliche Unsicherheiten werden nach GUM bestimmt und berechnet. Die Gleichungen dazu finden sich in 5 und 6. Für die Unsicherheitsrechnungen wurde die Python Bibliothek „uncertainties“ herangezogen, welche den Richtlinien des GUM folgt. Alle konkreten Unsicherheitsformeln stehen weiter unten. Für Unsicherheiten in graphischen Fits wurden die y -Unsicherheiten beachtet und die Methode der kleinsten Quadrate angewandt. Dafür steht in der Bibliothek die Methode „scipy.optimize.curve_fit()“ zur Verfügung.

Für digitale Messungen wird eine Unsicherheit von $u(X) = \frac{\Delta X}{2\sqrt{3}}$ angenommen, bei analogen einer von $u(X) = \frac{\Delta X}{2\sqrt{6}}$.

Bodenlinien Auf der magnetischen Unterlage sind zum genauen platzieren und ausrichten der Komponenten Gitterlinien aufgetragen. Diese hatten einen regelmäßigen Abstand und eine analoge Unsicherheit von $\Delta h = 2 \text{ cm}$.

Messleiste Die Messleiste wurde senkrecht zum vom Laser ausgesendeten Lichtstrahls ausgerichtet. Es konnten Werte analog auf $\Delta x = 0,1 \text{ mm}$ genau abgelesen werden.

Grad Auf der Gradskala des Wasserbeckens konnten Winkel auf $\Delta\varphi = 1^\circ$ abgelesen werden.

$$x = \sum_{i=1}^N x_i; \quad u(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u(x_i)^2}$$

Abbildung 5: Formel für kombinierte Unsicherheiten des selben Typs nach GUM.

$$f = f(x_1, \dots, x_N); \quad u(f) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right)^2}$$

Abbildung 6: Formel für sich fortpflanzende Unsicherheiten nach GUM.

$$\tan \delta_m = \frac{h}{x} \Leftrightarrow \delta_m = \arctan \frac{h}{x}$$

$$u(\delta_m) = \frac{1}{1 + \frac{h^2}{x^2}} \frac{h}{x} \sqrt{\frac{u^2(h)}{h^2} + \frac{u^2(x)}{4x^2}}$$

Abbildung 7: Unsicherheitsformel des Ablenkwinkels nach dem Prisma.

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

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

Abbildung 8: Unsicherheitsformel des Brechungsindexes von dem Prisma (Flintglas).

$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2 \Leftrightarrow n_2 = n_1 \frac{\sin \alpha_1}{\alpha_2}$$

$$u(n_2) = n_1 \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} \sqrt{\cot^2 \alpha_1 + \cot^2 \alpha_2} u(\alpha)$$

$$= n_2 \cdot \sqrt{\cot^2 \alpha_1 + \cot^2 \alpha_2} u(\alpha)$$

Abbildung 9: Unsicherheitsformel für den Brechungsindex von destilliertem Wasser nach Snellius. n_1 ist dabei der Brechungsindex von Luft $n_1 = n_L \approx 1$. Beide Winkel haben die gleiche Unsicherheit $u(\alpha_1) = u(\alpha_2) = u(\alpha)$.

$$f_{\text{konkav}} = f_{\text{kongvex}} - \Delta h$$

$$u(f_{\text{konkav}}) = \sqrt{2}u(h)$$

Abbildung 10: Unsicherheitsformel für die Brennweite der konkaven Linse.
Dabei ist $u(f_{\text{konkav}}) = u(Delta h) = u(h)$.

Literatur

- [1] WWU Münster. *01 - Geometrische Optik*. URL: [https://sso.uni-muenster.de/
LearnWeb/learnweb2/course/view.php?id=28561§ion=19](https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/course/view.php?id=28561§ion=19) (besucht am
04.06.2018).