

Physikalisches Anfängerpraktikum

Universität Augsburg
Wintersemester 2025/26

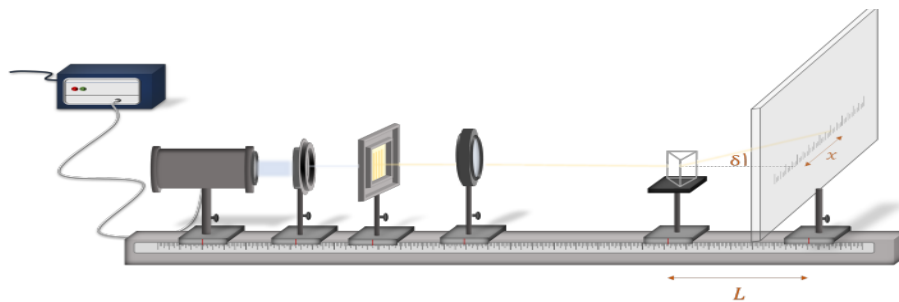
Versuch: O2 Brechungsindex und Dispersi- on

Gruppe: G 04
Versuchsdatum: 29.10.2025
Abgabedatum: 09.11.2025

Gemeinsames Versuchsprotokoll

Ferdinand Frey
Tom Glaser





Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Theoretische Grundlagen	4
2.1	Lichtbrechung	4
2.2	Dispersion	5
3	Versuchsbeschreibung	6
3.1	Versuchsaufbau	6
3.2	Versuchsdurchführung	6
4	Auswertung	8
4.1	Teil 1	8
4.2	Teil 2	11
4.3	Teil 3	12
5	Zusammenfassung	13
6	Anhang	14
7	Literaturverzeichnis	17

1 Einleitung

Überall auf dem Globus ist die Brechung von Licht ein wichtiger Bestandteil des alltäglichen Lebens. Der wahrscheinlich wichtigste Anwendungsfall ist die Brille. Beim Anwendungsfall der Brille kommt es aber nicht nur zur einfachen Brechung von Licht, sondern auch zur Dispersion. Brillen sind jedoch nicht die einzigen Anwendungspunkte, bei denen die Eigenschaften von Linsen und Prismen genutzt werden. Ein paar weitere Anwendungen sind zum Beispiel: Mikroskope, Spiegelreflexkameras oder Fernrohre. Bei all diesen Fällen kommt es ebenfalls zur Dispersion von Licht. Die Dispersion von Licht beschreibt die Abhängigkeit des Brechungsindex von der Wellenlänge. In extremen Fällen kann es in der Anwendung vorkommen, dass das Licht, welches wir als weiß wahrnehmen, in seine einzelnen Bestandteile aufgespalten wird. Dadurch kann ein stark verschwommenes Bild entstehen oder es können bei Messungen starke Verfälschungen auftreten. Der Versuch ist der Kategorie der Optik zuzuordnen und wird durchgeführt, um die Stärke der Dispersion in Abhängigkeit vom Material experimentell nachzuweisen

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Lichtbrechung

Das für uns sichtbare Licht besteht aus vielen Wellenlängen an elektromagnetischen Wellen. Damit diese verschiedenen Wellenlängen einzeln betrachtet werden können, kann man das sichtbare Licht mithilfe eines optischen Prismas brechen. Dieser Vorgang kann in Abbildung 1 beobachtet werden. Die verschiedenen Brechungswinkel hängen mit den unterschiedlich starken Brechungen der unterschiedlichen elektromagnetischen Wellen zusammen. Die Stärke dieser Brechung ist als Brechungsindex bekannt. Der Zusammenhang zwischen dem Brechungsindex und der Wellenlänge der elektromagnetischen Welle wird zu einem späteren Zeitpunkt noch genauer betrachtet.

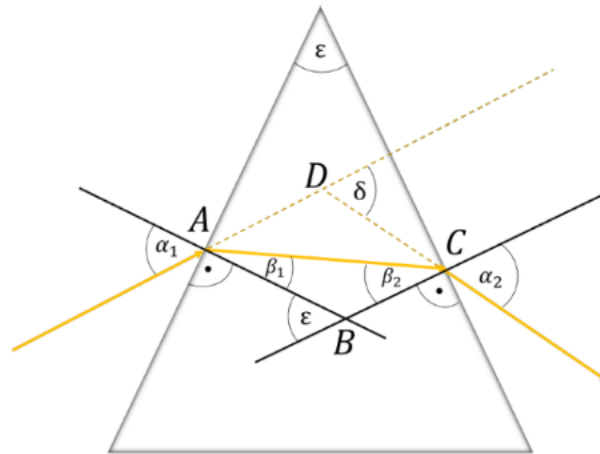


Abbildung 1: Der Strahlengang eines gebrochenen Lichtstrahles innerhalb eines Prisma mit den wichtige Winkeln

Um den Brechungsindex für einzelne Wellenlängen bestimmen zu können, betrachtet man zunächst den Ablenkungswinkel δ . Dieser wird minimal für $\alpha_1 = \alpha_2$ und $\beta_1 = \beta_2$, womit für beide Winkel

$$\beta_1 = \frac{\varepsilon}{2} \quad (1)$$

und

$$\alpha_1 = \frac{\delta_{\min} + \varepsilon}{2} \quad (2)$$

gilt. Wenn diese Gleichungen nun mit dem Snelliusschen Brechungsgesetz kombiniert werden

$$n_1 \cdot \sin(\alpha_1) = n_2 \cdot \sin(\beta_1) \quad (3)$$

mit $n_1 = n_{\text{Luft}} \stackrel{!}{=} 1$ und den Winkeln aus Gleichung (1) und (2) folgt für den Brechungsindex n des Prismas

$$n = n_2 = \frac{\sin\left(\frac{\delta_{\min} + \varepsilon}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\varepsilon}{2}\right)}. \quad (4)$$

2.2 Dispersion

Dispersion beschreibt in dem betrachteten Fall den Zusammenhang zwischen der Wellenlänge der betrachteten elektromagnetischen Wellen und dem Brechungsindex. Diese Abhängigkeit lässt sich am Thomson-Atommodell erklären. Dieses Atommodell beschreibt ein Atom als homogen positiv geladene Kugel, in der die Elektronen frei beweglich sind. In diesem Modell können Elektronen durch elektromagnetische Wellen zu Schwingungen angeregt werden. Diese Schwingung lässt sich durch die folgende Differentialgleichung beschreiben.

$$m_0 r \cdot \ddot{r} + m_0 \gamma \cdot \dot{r} + m_0 \cdot \omega_0^2 \cdot r = -e \cdot E \quad (5)$$

Wobei ω_0 die Eigenfrequenz der Elektronen beschreibt, $m_0 \cdot \gamma \cdot \dot{r}$ ist die Darstellung des Dämpfungsterms, e die Elementarladung und E die elektrische Feldstärke des anregenden Photons.

Bei der Dispersion können zwei Fälle auftreten. Der erste Fall ist für $\omega \ll \omega_0$ oder bei $\omega_0 \ll \omega$, bei diesem Fall kann man die Dämpfung vernachlässigen, und es kommt zu normaler Dispersion. Bei $\omega \approx \omega_0$ kommt es zu anomaler Dispersion. Dieses Ereignis ist als Resonanzkatastrophe bekannt und tritt zum Beispiel auf, wenn eine Armee im Gleichschritt über eine große Brücke marschiert. Bei normaler Dispersion nimmt der Brechungsindex mit steigender Frequenz/sinkender Wellenlänge zu, während bei der anomalen Dispersion genau das Gegenteil geschieht, dort nimmt der Brechungsindex bei steigender Wellenlänge zu.

3 Versuchsbeschreibung

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einer Lampe, die hinter einer verstellbaren Spaltblende montiert wird. Vor der Spaltblende wird eine Halterung für Farbfilter und eine Sammellinse montiert. Als letztes Bauteil auf der optischen Bank wird ein Podest benötigt, auf welches während der Versuchsdurchführung Prismen gestellt werden können. Vor dem Podest wird nun ein Schirm mit einer montierten Skala aufgebaut. Das Podest hat eine Entfernung von 38,5 cm zum Schirm.



Abbildung 2: Ein Bild vom Versuchsaufbau, von vorne nach hinten. Lampe, Spaltblende, Farbfilterhalterung, Sammellinse, Podest und Schirm.

3.2 Versuchsdurchführung

Nun zur Versuchsdurchführung: Zuerst wird die Lampe eingeschaltet und mithilfe der Spaltblende und der Sammellinse auf dem Schirm fokussiert. Nun wird der fokussierte Punkt als X_0 vermerkt und die Entfernung des Podests zum Schirm gemessen. Sobald diese Schritte erledigt sind, kann mit der Durchführung richtig begonnen werden. Für den ersten Teil der Messung werden die zwei Vollprismen verwendet. Dazu wird das erste Prisma auf das Podest in den Lichtstrahl gestellt und so lange vorsichtig gedreht, bis das entstehende Farbspektrum nicht mehr weiter in Richtung des Punktes X_0 wandert. Nun werden nacheinander die Farbfilter in die Farbfilterhalterung gesteckt, um die genaue

Messung der verschiedenen Farben zu vereinfachen, denn jetzt wird die Entfernung der jeweiligen Farblinie zu dem Punkt X_0 ermittelt. Sobald dies für alle Farbfilter durchgeführt wurde, werden die beiden Prismen getauscht und der gesamte Vorgang wird wiederholt. Der zweite Teil des Experiments läuft analog zum ersten Teil ab, doch jetzt werden nicht die Vollprismen verwendet, sondern die Hohlprismen, die mit Flüssigkeit gefüllt sind.

4 Auswertung

4.1 Teil 1

Für die Länge L , also den Abstand zwischen Prisma und Schirm, wurde ein Wert von $385 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ bestimmt. Dieser Fehler entsteht zum einen durch die Ungenauigkeit des Lineals, zum anderen dadurch, dass das Prisma mit Augenmaß in der Mitte des Prismaständers platziert werden musste. Die Messung der Farbstreifen, die durch das große Prisma (im Folgenden *Prisma 1* genannt) entstanden, ergab folgende Werte.

Farbe	Entfernung x zum Nullpunkt in mm
Rot	406 ± 1
Gelb	409 ± 1
Grün	415 ± 2
Blau	421 ± 2

Tabelle 1: Die Entfernung x zum Nullpunkt der verschiedenen Farben von *Prisma 1*

Mit Hilfe Der Formel für Den Winkel δ_{\min} :

$$\tan(\delta_{\min}) = \frac{x}{L} \Leftrightarrow \delta_{\min} = \arctan\left(\frac{x}{L}\right) \quad (6)$$

ergibt sich folgende Tabelle für den Winkel δ_{\min} :

Farbe	δ_{\min}	$\Delta\delta_{\min}$
Rot	46.5°	$\pm 0.22^\circ$
Gelb	46.7°	$\pm 0.22^\circ$
Grün	47.15°	$\pm 0.29^\circ$
Blau	47.56°	$\pm 0.28^\circ$

Tabelle 2: Minimaler Ablenkungswinkel δ_{\min} für verschiedene Farben.

Der Fehler $\Delta\delta_{\min}$ ist gegeben durch:

$$\Delta\delta_{\min} = \pm \left(\left| \frac{\partial\delta_{\min}}{\partial x} \right| \cdot \Delta x + \left| \frac{\partial\delta_{\min}}{\partial L} \right| \cdot \Delta L \right) = \pm \left(\frac{L \cdot \Delta x}{x^2 + L^2} + \frac{x \cdot \Delta L}{x^2 + L^2} \right) \quad (7)$$

Analog ie Messwerte des zweiten Prismas:

Farbe	Entfernung x zum Nullpunkt in mm
Rot	530 ± 1
Gelb	543 ± 3
Grün	553 ± 1
Blau	575 ± 3

Tabelle 3: Die Entfernung x zum Nullpunkt der verschiedenen Farben von Prisma 2

Farbe	δ_{\min}	$\Delta\delta_{\min}$
Rot	46.5°	$\pm 0.19^\circ$
Gelb	46.7°	$\pm 0.28^\circ$
Grün	47.15°	$\pm 0.19^\circ$
Blau	57.56°	$\pm 0.28^\circ$

Tabelle 4: Minimaler Ablenkswinkel δ_{\min} für verschiedene Farben.

Unter Verwendung von Gleichung (4) können die Brechungsindizes berechnet werden. Dabei ist $\epsilon = 60^\circ \pm 2^\circ$ da es sich bei allen Prismen um ein gleichseitige Prismen handelt, bei welchen alle relevanten Winkel 60° sind. Der Fehler $\Delta\epsilon$ ist mit ± 2 recht hoch, was daher kommt, dass die Prismen zum Teil stark abgenutzt sind. Der Fehler in n ist:

$$\Delta n = \pm \left(\left| \frac{\partial n}{\partial \delta_{\min}} \right| \cdot \Delta \delta_{\min} + \left| \frac{\partial n}{\partial \epsilon} \right| \cdot \Delta \epsilon \right) \quad (8)$$

Daraus folgt:

$$\Delta n = \pm \left(\frac{\cos\left(\frac{\delta_{\min} + \epsilon}{2}\right)}{2 \sin\left(\frac{\epsilon}{2}\right)} \cdot \Delta \delta_{\min} + \frac{\cos\left(\frac{\epsilon}{2}\right) \sin\left(\frac{\delta_{\min} + \epsilon}{2}\right) + \sin\left(\frac{\epsilon}{2}\right) \cos\left(\frac{\delta_{\min} + \epsilon}{2}\right)}{2 \sin^2\left(\frac{\epsilon}{2}\right)} \cdot \Delta \epsilon \right) \quad (9)$$

Farbe	n	Δn
Rot	1,602	$\pm 0,071$
Gelb	1,605	± 0.071
Grün	1,609	$\pm 0,071$
Blau	1,613	$\pm 0,071$

Tabelle 5: Brechungsindizes mit Fehlern für Prisma 1 (Kronglas)

Da dieses Prisma einen geringeren Brechungsindex als Prisma 2 hat, handelt es sich hierbei um das Kronglas. Die ermittelten Brechungsindizes stimmen jedoch nicht mit

Literaturwerten überein, wie sie zum Beispiel in [1] zu finden sind, wo ein Brechungsindex von 1,50 bis 1,54 für Silikatkronglas angegeben wird. Diese Werte liegen auch nicht annähernd innerhalb der Fehlergrenze Δn . Somit muss es sich um einen großen systematischen Fehler handeln. Es wurde in Erwägung gezogen, dass der Nullpunkt der Skala nicht von den gemessenen x -Werten abgezogen wurde. Dies konnte jedoch anhand von Abbildung 2 ausgeschlossen werden, da die Spektren fast am Rand, also ca. bei 700 mm, gemessen wurden. Eine weitere Fehlerquelle könnte ein falscher L -Wert sein. Es könnte zum Beispiel sein, dass der notierte Wert von $385 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ gemessen wurde und die optische Bank anschließend nach hinten verschoben wurde. Dies würde dann zu einem falschen δ_{\min} und somit auch zu einem falschen n führen. Dieses ΔL müsste aber im Bereich von etwa 200 mm liegen. Ein weiterer Grund für diese Abweichung könnte ein Fehler am Prisma sein. Dies könnte dazu führen, dass der Strahlengang nicht wie in Abbildung 1 verläuft, was ebenfalls zu einem verfälschten δ_{\min} führen würde. Dies ist auch plausibel, da die verwendeten Prismen bereits starke Gebrauchsspuren aufgewiesen haben. Da sich diese Differenz aber durch alle Messungen mit verschiedenen Prismen durchzieht, ist von einem Fehler von ähnlicher Art, wie dem falschem L auszugehen.

Farbe	n	Δn
Rot	1,677	$\pm 0,071$
Gelb	1,684	$\pm 0,071$
Grün	1,688	$\pm 0,071$
Blau	1,698	$\pm 0,071$

Tabelle 6: Brechungsindizes mit Fehlern für Prisma 2 (Flintglas)

Bei Prisma 2 handelt es sich um Flintglas. Dieses hat einen höheren Brechungsindex als Kronglas. Die gefundenen Brechungsindizes sind durchaus in dem Bereich von üblichem Flintglas. So wird in [1] angegeben, dass Silikatflintglas bei kurzwelligem Licht einen Brechungsindex von ca. $n = 1,67$ hat. Bei langwelligem Licht ca. 1,60. Auch wenn diese Werte nicht in der Fehlerschranke enthalten sind, sind die gemessenen durchaus denkbar.

4.2 Teil 2

Mit den gleichen Formeln wie bei Teil 1 ergeben sich für die Hohlprismen, gefüllt mit destilliertem Wasser, folgende Brechungszahlen:

Farbe	n	Δn
Rot	1,396	$\pm 0,069$
Gelb	1,397	$\pm 0,069$
Grün	1,400	$\pm 0,069$
Blau	1,407	$\pm 0,070$

Tabelle 7: Brechungsindizes mit Fehlern für das Hohlprisma dass mit destilliertem Wasser gefüllt ist

Die Literaturwerte aus [2] sind hier 1,340 für Blaues Licht sowie 1,335 für rotes Licht. Auch hier Stimmen die gemessenen Werte nicht mit den Literaturwerten überein, auch mit der Abweichungen durch Messungenauigkeiten Δn . Genau wie bei Prisma 1 sind die gemessenen Brechungsindizes zu hoch. Es kann also von einem der in Teil 1 erläuterten Systemischen Fehlern ausgegangen werden.

Die errechneten Brechungsindizes für Zimtsäureethylester:

Farbe	n	Δn
Rot	1,594	$\pm 0,071$
Gelb	1,603	$\pm 0,071$
Grün	1,609	$\pm 0,071$
Blau	1,628	$\pm 0,072$

Tabelle 8: Brechungsindizes mit Fehlern für das Hohlprisma dass mit Zimtsäureethyl-ester gefüllt ist

Hier sind Literaturwerte aus [3]: 1,59 Für Blaues Licht sowie 1,54 Für Rotes Licht. Auch hier sind die gemessenen Brechungsindizes zu hoch. Für eine Fehleranalyse sie Teil 1.

4.3 Teil 3

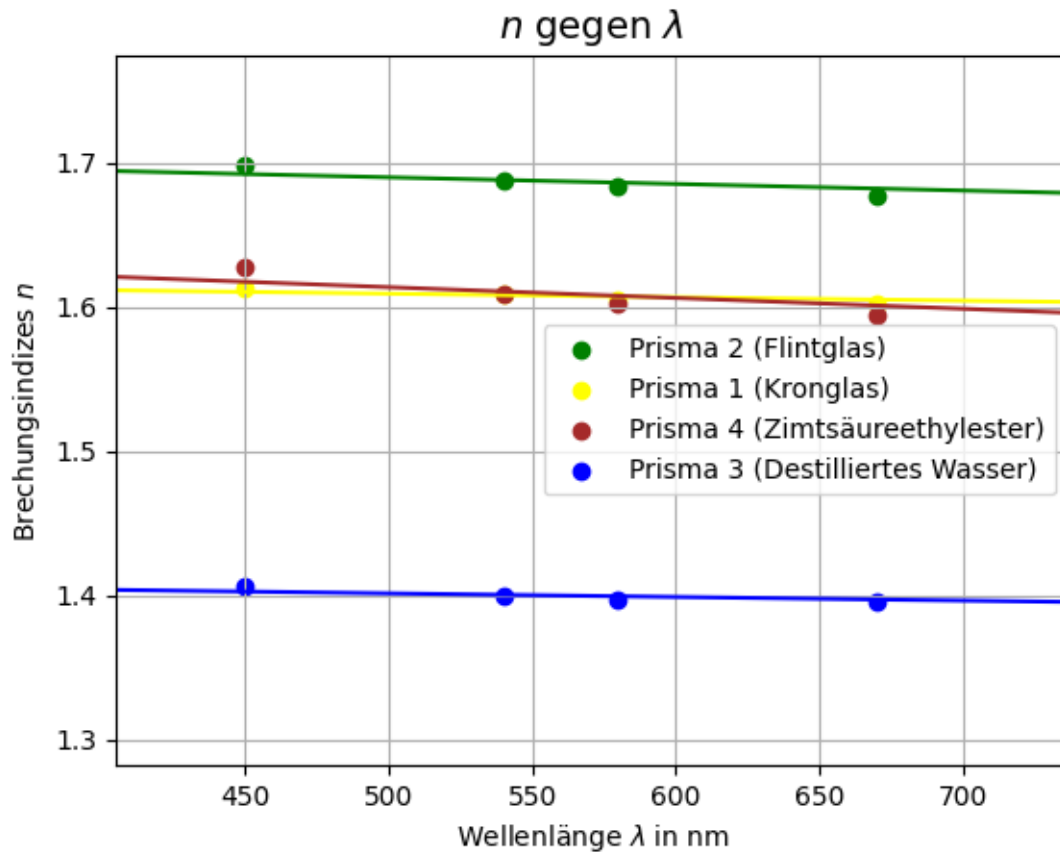


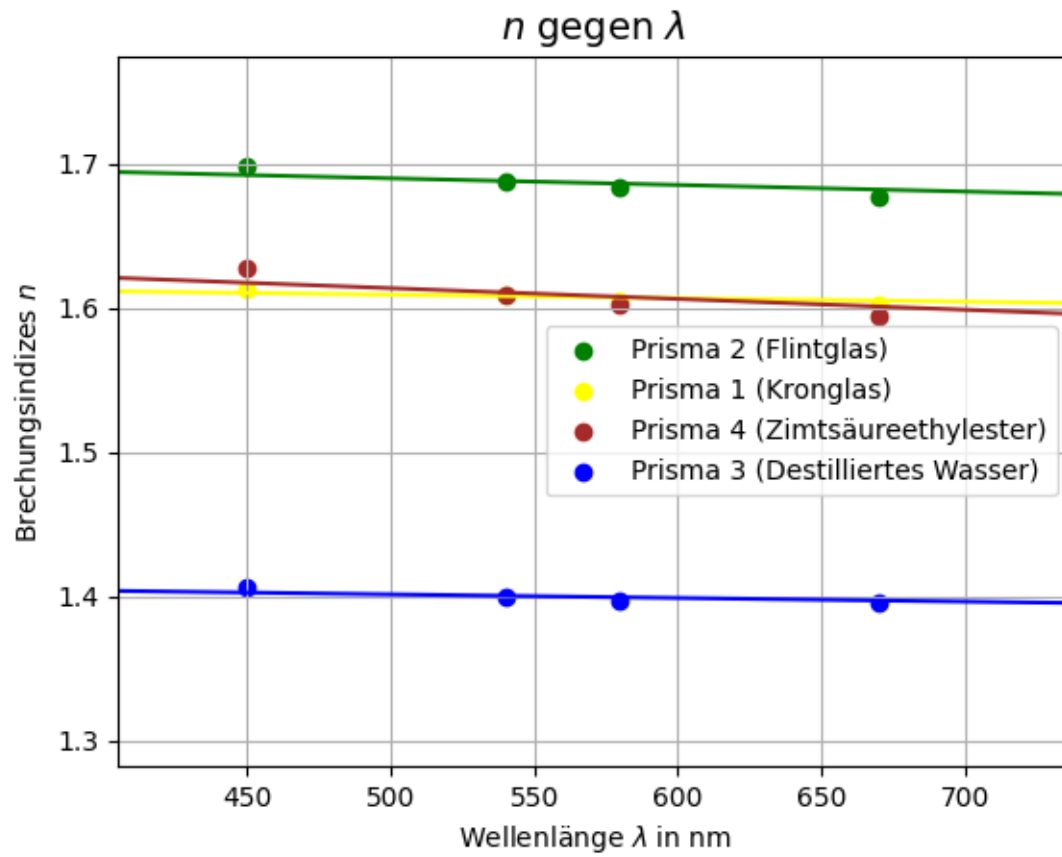
Abbildung 3: Die Brechungsindizes der verschiedenen Prismen, aufgetragen gegen die jeweiligen Wellenlängen. Folgende Wellenlängen wurden für die Farben verwendet: Blau: 450nm, Grün: 540nm, Gelb: 580nm, Rot: 570nm

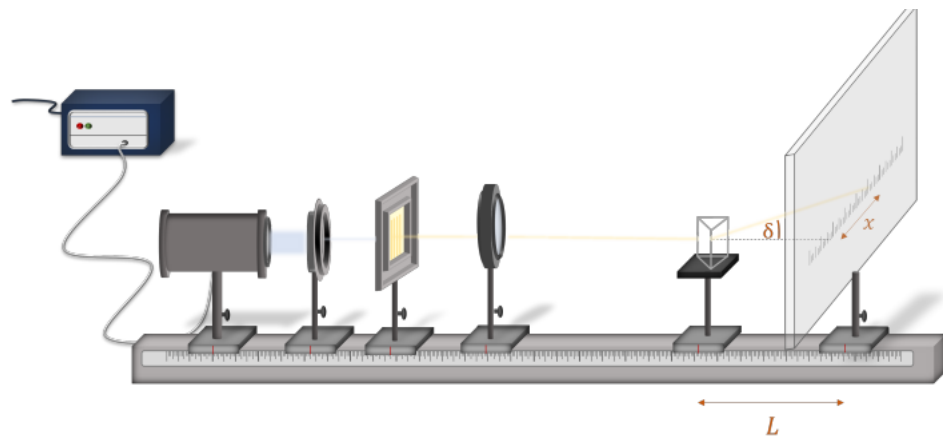
Bei allen vier Materialien nimmt der Brechungsindex mit steigender Wellenlänge des einfallenden Lichts ab. Somit ist bei allen Materialien bei sichtbarem Licht eine normale Dispersion vorzufinden. Wie in der Theorie besprochen, gilt somit, dass die Kreisfrequenz des einfallenden Lichts ω entweder viel größer oder viel kleiner als die Kreisfrequenz ω_0 der Elektronen im Material ist. Den größten Brechungsindex der getesteten Materialien hat Flintglas, den niedrigsten hat Wasser.

5 Zusammenfassung

Der soeben durchgeführte Versuch zeigt die normale Dispersion für die Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Es wurde gezeigt dass Verschiedene Materialien unterschiedliche Brechungsindizes haben. Die Literaturwerte dieser Indizes konnten aber nicht reproduziert werden, da eine der gemessenen Größen falsch war oder die Prismen beschädigt sind. Zudem konnte bestätigt werden dass bei zunehmender Wellenlänge der Brechungsindex abnimmt.

6 Anhang





7 Literaturverzeichnis

Literatur

- [1] P. T. und G. Mosca, *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure*, hrsg. von P. Kersten (Springer Spektrum, 2019).
- [2] G.M.Hale und M.R.Querry, „Optical Constants of Water in the 200-nm to 200µm Wavelength Region“, *Applied Optics* (1973).
- [3] P. K. S. N. N. B. E. S. S. S. F. F. A. Kienle, *Optical phantoms with adjustable subdiffusive scattering parameters*, (2015) <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26473589> (besucht am 20.10.2015).