

V400

Reflexion, Brechung und Beugung

Lukas Bertsch
lukas.bertsch@tu-dortmund.de

Steffen Kober
steffen.kober@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.06.2022

Abgabe: 21.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel	3
2 Theorie	3
2.1 Reflexion	4
2.2 Brechung	4
2.3 Reflexion und Transmission	6
2.4 Beugung	6
3 Durchführung	7
3.1 Messaufgabe 1: Reflexionsgesetz	7
3.2 Messaufgabe 2: Brechungsgesetz	8
3.3 Messaufgabe 3: Brechung im Prisma	8
3.4 Messaufgabe 4: Beugung am Gitter	8
3.5 Vorbereitungsaufgaben	8
4 Auswertung	9
4.1 Reflexionsgesetz	9
4.2 Brechungsgesetz	10
4.3 Brechung im Prisma	11
4.4 Beugung am Gitter	11
5 Diskussion	13
Literatur	14
Anhang	15

1 Ziel

In diesem Versuch werden die fundamentalen physikalischen Gesetze der Strahlenoptik untersucht. Dazu werden experimentelle Messwerte mit den theoretisch zu erwartenden Resultaten verglichen. Es wird die Beugung, Brechung und Reflexion von monochromatischem Licht betrachtet.

2 Theorie

Licht ist eine elektromagnetische Welle. Daher kann Licht in komplexer Weise durch die Maxwell-Gleichungen beschrieben werden. Dies ist für die fundamentalen Gesetze der Strahlenoptik nicht nötig. Es genügt, Licht auf ein fundamentaleres Verhalten zu vereinfachen. Dazu wird Licht ,aufbauend auf die Überlegungen des niederländischen Physikers *Christiaan Huygens*, auf das Ausbreitungsverhalten reduziert. Gemäß des *Huygensschen Prinzips* breitet sich Licht entlang der Wellennormalen aus. Die Wellennormale steht immer orthogonal zur *Wellenfront* und ist in Abbildung 1 durch einen roten Pfeil skizziert. Das Huygenssche Prinzip sagt nun aus, dass sich die Welle ausbreitet, indem an jedem Punkt der Wellenfront eine neue radiale Elementarwelle gleicher Frequenz entsteht. Durch Überlagerung aller dieser Elementarwellen ergibt sich eine neue Wellenfront. Dies beschreibt eine gradlinige Propagation einer Lichtwelle ohne Veränderung des Ausbreitungsmediums. Trifft eine Lichtwelle in diesem gedanklichen Modell nun auf ein anderes Medium, wird die Welle *gebrochen, gebeugt* und oder *reflektiert*. Diese Wechselwirkung mit einem anderen Medium entsteht, da sich Wellen, so auch die Elementarwellen nach Huygens, in unterschiedlichen Medien unterschiedlich schnell ausbreiten. Die drei genannten Wechselwirkungen treten dann in Abhängigkeit von den Eigenschaften der Lichtwelle und des Beugungsmaterials auf.

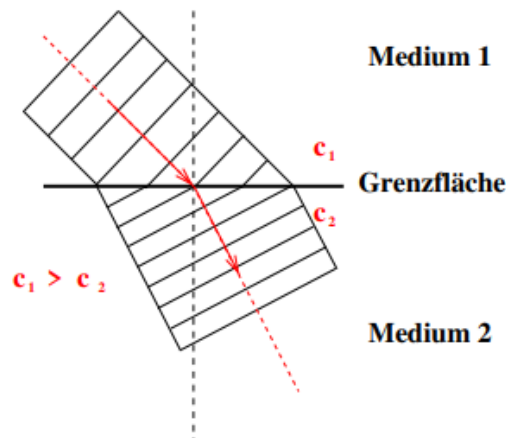


Abbildung 1: In dieser Abbildung ist das Huygenssche Prinzip schematisch dargestellt.
[4].

2.1 Reflexion

Nun wird ein Lichtstrahl betrachtet, welcher in einem Winkelintervall von $[0^\circ, 90^\circ]$ zum Lot auf ein Grenzmedium trifft. Es wird nur der reflektierte Teil der Lichtwelle betrachtet. Diese Situation ist in Abbildung 2 dargestellt. In dieser Abbildung beschreibt α_1 den Einfallswinkel der Lichtwelle und α_2 den *Reflexionswinkel*. Für Reflexion gilt gemäß der Strahlenoptik

$$\alpha_1 = \alpha_2. \quad (1)$$

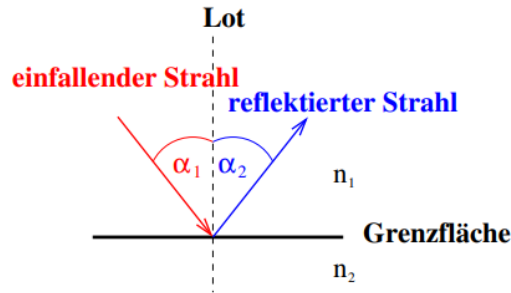


Abbildung 2: In dieser Abbildung wird die Reflexion eines Lichtsstrahles gemäß der Strahlenoptik dargestellt. [4].

2.2 Brechung

Nun wird bei selbiger Ausgangslage der transmittierte Teil des Lichts betrachtet. Aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeiten läuft das Licht nun mit einem Brechungswinkel β durch das Medium. Diese Situation wird in Abbildung 3 dargestellt. Dieses Konzept kann ebenfalls aus dem Huygenschen Prinzip hergeleitet werden. Nach dem *Snelliusschen Brechungsgesetz* verhalten sich Einfalls- und Brechungswinkel gemäß

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta \quad (2)$$

zueinander.

Wird nun die Brechung an einem Quader betrachtet fällt auf, dass bei vollständigem Durchlauf eines Lichtstrahls, der austretende Lichtstrahl parallel zum Einfallenden verläuft. Allerdings erfährt er dabei einen *Strahlenversatz*. Diese Situation kann der Abbildung 4 entnommen werden. Der Strahlenversatz kann gemäß

$$s = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta} \quad (3)$$

berchnet werden.

Weiter kann nun auf die Doppelbrechung durch ein Prisma geschlossen werden. Die hierbei entstehende Situation kann Abbildung 5 entnommen werden. Der gesamte Ablenkwinkel δ kann gemäß

$$\delta = (\alpha_1 + \alpha_2) - (\beta_1 + \beta_2) \quad (4)$$

berechnet werden.

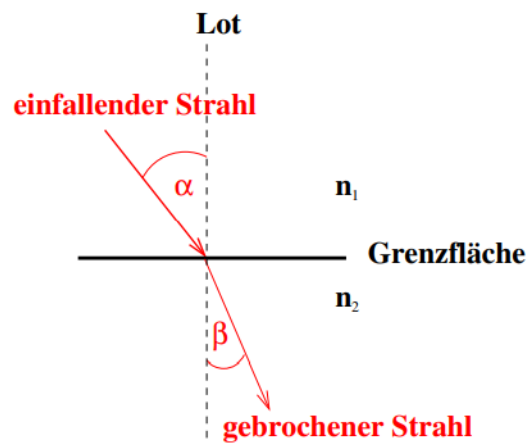


Abbildung 3: In dieser Abbildung wird die Brechung eines Lichtsstrahles gemäß der Strahlenoptik dargestellt. [4].

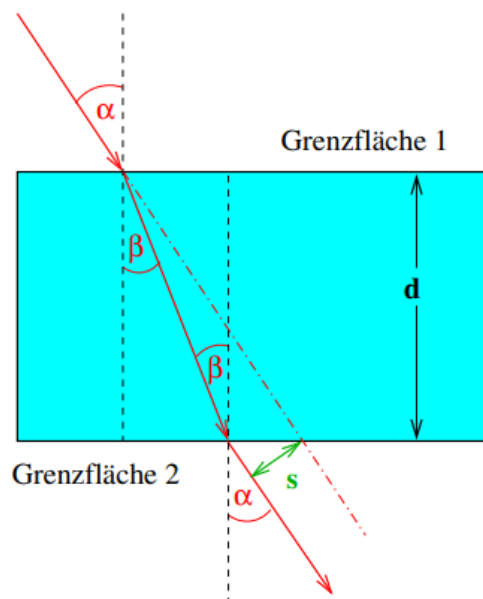


Abbildung 4: In dieser Abbildung wird der Effekt des Strahlenversatzes dargestellt. [4].

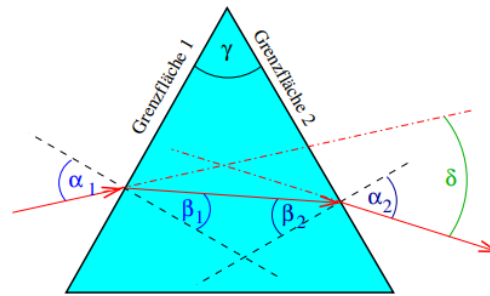


Abbildung 5: In dieser Abbildung wird die Doppelbrechung in einem Prisma dargestellt. [4].

2.3 Reflexion und Transmission

In den letzten beiden Abschnitten wurden Transmission und Reflexion voneinander getrennt betrachtet. Allerdings tritt in der Regel meist eine Mischung aus beiden Effekten auf. Das bedeutet, ein Teil des Strahl wird reflektiert und der andere Teil wird transmittiert und somit gebrochen. Die Gesetze der einzelnen Effekte ändern sich bei Überlagerung nicht. Allerdings teilt sich die Intensität des einfallenden Strahles in die Intensität des reflektierten- und transmittierten Teils auf. Dabei beschreibt R den Anteil der reflektierten Intensität an der einfallenden Intensität und T den Anteil der transmittierten Intensität. Aufgrund der Energieerhaltung muss $R + T = 1$ gelten.

2.4 Beugung

Die Beugung einer Welle kann nicht durch die Strahlenoptik beschrieben werden. Daher wird nun das Phänomen der Beugung durch *Wellenoptik* beschrieben. Licht ist eine elektromagnetische Welle, weshalb das Superpositionsprinzip gelten muss. Daher können zwei Lichtwellen miteinander interferieren. Trifft eine Lichtwelle auf ein Objekt oder einen Spalt, welches oder welcher jeweils klein gegenüber der Wellenlänge ist, tritt nach der Wechselwirkung ein Interferenzmuster auf einem Schirm auf. Dies bestätigt sich durch einfache Überlegungen gemäß des Huygensschen Gesetzes für eine Welle, welche auf einen Spalt trifft. Nun wird nicht nur ein Spalt betrachtet, sondern ein Gitter. Ein Gitter kann vereinfacht als zahlreiche Einzelspalte betrachtet werden. Dabei wird erkannt, dass an einem Gitter derselbe Beugungseffekt auftritt. Allerdings treten aufgrund der Anzahl der Einzelspalte nun für jede Wellenlänge Intensitätsmaxima k -ter Ordnung auf. Das Interferenzmuster einer monochromatischen Lichtwelle der Wellenlänge λ , welche an einem Gitter mit der Gitterkonstante d gebeugt wird, kann in Abhängigkeit vom Winkel α durch die Formel

$$d \sin \alpha = k \lambda \quad (5)$$

beschrieben werden.

3 Durchführung

Der Aufbau dieses Versuches besteht im Wesentlichen aus einer transparenten Grundplatte, auf welcher zwei verschiebbare Laser mit Wellenlängen $\lambda_{\text{rot}} = 635 \text{ nm}$ und $\lambda_{\text{grün}} = 532 \text{ nm}$ befestigt sind. Durch die Transparenz der Platte lassen sich Papiervorlagen mit Winkelskalen unterlegen, die die Auswertung der verschiedenen Teilversuche vereinfachen. Die Grundplatte und elementare Bauteile sind in Abbildung 6 zu sehen.

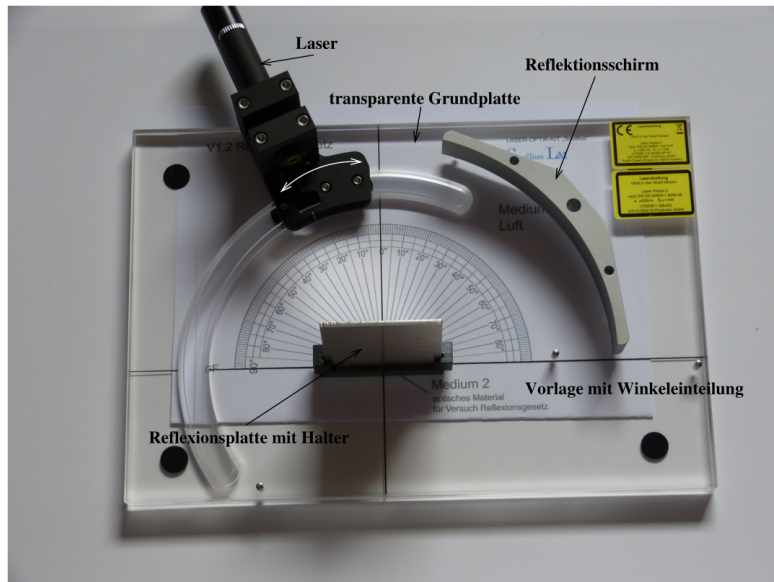


Abbildung 6: Im Versuch verwendete Grundplatte. Zu sehen sind die Laser, eine Spiegelhalterung, der Reflexionsschirm und eine Papiervorlage zur Winkelmessung [4].

Auf dieser Grundplatte können ein Spiegel, ein Prisma, eine planparallele Platte und verschiedene Gitter installiert werden, die in den folgenden Teilversuchen verwendet werden.

3.1 Messaufgabe 1: Reflexionsgesetz

Für den ersten Teilversuch wird der grüne Laser und ein Spiegel, sowie die Papiervorlage A verwendet. Der Laser wird in 7 verschiedenen Einfallswinkeln α_1 zum Lot der Reflexionsfläche eingestellt. Die Ausfallswinkel α_2 können ebenfalls an einer Skala abgelesen werden. Die jeweiligen Winkel werden notiert. Es sollte darauf geachtet werden, den Spiegel in der korrekten Ausrichtung einzusetzen, um systematische Fehler der Messung zu verhindern. Die Messwerte können mit der Theorieerwartung "Einfallswinkel = Ausfallswinkel" verglichen werden.

3.2 Messaufgabe 2: Brechungsgesetz

Zur Überprüfung des Brechungsgesetzes wird die planparallele Platte verwendet. Bei korrekter Platzierung dieser, kann der Winkel β des gebrochenen Lichtstrahls direkt an der Rückseite der planparallelen Platte abgelesen werden. Es werden zu 7 Einfallswinkeln Messwerte des Brechungswinkels genommen. Aus den Messwerten kann der Brechungsindex n und die Lichtgeschwindigkeit im Material der Platte (Acrylglas (Plexiglas)) bestimmt werden. Außerdem kann der Strahlenversatz mithilfe der Formel Gleichung 3 berechnet werden. Der Winkel β kann dabei sowohl experimentell abgelesen, als auch über das Brechungsgesetz bestimmt werden. Die beiden Ergebnisse der unterschiedlichen Methoden werden verglichen.

3.3 Messaufgabe 3: Brechung im Prisma

Für diesen Versuchsteil wird die Papiervorlage C und das Prisma verwendet. Außerdem werden die Messungen für den grünen- und roten Laser durchgeführt. Das Prisma wird in der Mitte der Grundplatte befestigt. Für 7 verschiedene Einfallswinkel α_1 werden die Austrittswinkel α_2 bestimmt. Die Winkel sollten dabei in einem Bereich von 10° bis 60° gewählt werden. Aus den Messwerten kann die Ablenkung δ mithilfe des Brechungsindex von Kronglas bestimmt werden.

3.4 Messaufgabe 4: Beugung am Gitter

Für diesen Versuch wird eine Halterung mit verschiedenen Beugungsgittern verwendet. Es wird eine geeignete Winkelskala hinter der Grundplatte aufgebaut. An der Seite der Grundplatte, die dem Laser gegenüber steht, kann eine Halterung mit verschiedenen Beugungsgittern platziert werden. Nachdem der Laser so justiert ist, dass er ohne Beugungsgitter genau den Nullpunkt der Skala trifft, können die verschiedenen Beugungsgitter eingesetzt werden. Es entsteht ein Beugungsbild, an welchem Ordnungen der Beugung und zugehörige Winkel abgelesen werden können. Mithilfe dieser kann ein experimenteller Wert der Wellenlängen der beiden Laser bestimmt werden. Dieses Vorgehen wird für alle drei Gitter durchgeführt.

3.5 Vorbereitungsaufgaben

Vor der Durchführung des Versuches sollen einige Literaturwerte von Brechungsindizes festgestellt werden. Diese sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Des Weiteren gilt es die Gitterkonstanten verschiedener Gitter zu berechnen. Diese sind Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 1: Brechungsindizes verschiedener Materialien. [1]

Material	Brechungsindex n
Luft	1,00029
Wasser	1,3304
Kronglas	1,5067
Acrylglas	1.489
Diamant	2,4173

Tabelle 2: Gitterkonstanten für Gitter mit 600, 300, und 100 Linien pro Millimeter.

Linien / mm	d / μm
600	1,667
300	3,333
100	10

4 Auswertung

Die Fehlerrechnung dieses Kapitels genügt der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta F = \sqrt{\sum_i \left(\frac{dF}{dy_i} \Delta y_i \right)^2}.$$

Die Standardfehler des Mittelwertes ergeben sich nach

$$\sigma(x) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_i (x_i - \bar{x})^2}.$$

Die Fehlerrechnung wird in *Python* unter Verwendung des Paketes *uncertainties* [3] durchgeführt.

4.1 Reflexionsgesetz

Zur Überprüfung des Reflexionsgesetzes werden die in Tabelle 3 aufgeführten Messwerte betrachtet. Die Differenz zwischen Einfallswinkel α_1 und Ausfallswinkel α_2 sollte nach der Theorie 0° ergeben.

Zu den Messwerten kann eine Unsicherheit von jeweils 1° angenommen werden, die auf Ableseungenauigkeiten und Abweichungen durch den Aufbau der Apparatur beruht. Auch in Anbetracht dieser Unsicherheit von insgesamt $\pm 2^\circ$ lässt sich das Reflexionsgesetz nicht bestätigen, die Ursachen für dieses Ergebnis werden in Abschnitt 5 erörtert.

Tabelle 3: Messwerte zur Überprüfung des Reflexionsgesetzes. α_1 : Einfallswinkel, α_2 : Ausfallswinkel.

$\alpha_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$ \alpha_1 - \alpha_2 / ^\circ$
25	22,5	2,5
30	28	2
35	32,5	2,5
40	37	3
45	43	2
50	47	3
55	51,5	3,5

4.2 Brechungsgesetz

Um das Brechungsgesetz (2) zu überprüfen, werden Messwerte der Einfallswinkel α und zugehörige Brechungswinkel β aus Tabelle 4 verwendet. Durch Umstellen der Gleichung 2 und Einsetzen des Brechungsindizes von Luft $n_{\text{Luft}} \approx 1$ ergibt sich der Brechungsindex

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

des verwendeten Acrylglases (Plexiglas). Dieser ist ebenfalls zu den jeweiligen Messwerten in Tabelle 4 eingetragen.

Tabelle 4: Messwerte zur Überprüfung des Brechungsgesetzes. α : Einfallswinkel, β : Brechungswinkel. Zu Jedem Messwert wird wieder eine Unsicherheit von 1° angenommen. Die Theoriewerte β_{Theo} ergeben sich durch das Brechungsgesetz unter Verwendung des im Folgenden berechneten Brechungsindizes.

$\alpha / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	n	$\beta_{\text{Theo}} / ^\circ$
25	16,5	$1,49 \pm 0,10$	$16,5 \pm 0,6$
30	19,5	$1,50 \pm 0,09$	$19,7 \pm 0,6$
35	23	$1,47 \pm 0,07$	$22,7 \pm 0,7$
40	25,5	$1,49 \pm 0,06$	$25,6 \pm 0,7$
45	28,5	$1,48 \pm 0,05$	$28,4 \pm 0,7$
50	31	$1,49 \pm 0,05$	$31,0 \pm 0,7$
55	33,5	$1,48 \pm 0,04$	$33,5 \pm 0,8$

Als Mittelwert ergibt sich $n_{\text{exp}} = 1,486 \pm 0,026$. Der Literaturwert des Brechungsindizes von Acrylglas lautet $n_{\text{Lit}} = 1,489$ [1]. Aus dem experimentell ermittelten Wert lässt sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Licht in Acrylglas zu

$$c_{\text{Acryl}} = \frac{c_{\text{Vakuum}}}{n_{\text{Acryl}}} = (2,018 \pm 0,036) \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

bestimmen. Dazu wird die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit $c_{\text{Vakuum}} = 2,998 \text{ m/s}$ [2] verwendet.

Der Strahlenversatz s des gebrochenen Strahles zu einem Strahl, welcher den Acrylblock nicht durchläuft kann über Gleichung 3 berechnet werden. Dazu wird die Dicke $d = 5,85 \text{ cm}$ und der Brechungswinkel β benötigt. Für den Brechungswinkel werden zu einer Methode 1 die direkt aufgenommenen Messwerte und für eine Methode 2, die aus dem Brechungsgesetz berechneten Werte verwendet. Dabei wird der zuvor bestimmte Mittelwert des Brechungsindex verwendet. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 4 eingetragen. Die Ergebnisse der Rechnung sind in Tabelle 5 aufgeführt.

Tabelle 5: Berechneter Strahlenversatz der zwei genannten Methoden zu den ausgewählten Einfallswinkeln.

	Methode 1	Methode 2
$\alpha / ^\circ$	s / cm	s / cm
25	$0,90 \pm 0.15$	$0,90 \pm 0.06$
30	$1,13 \pm 0.15$	$1,11 \pm 0.06$
35	$1,32 \pm 0.15$	$1,35 \pm 0.07$
40	$1,62 \pm 0.15$	$1,61 \pm 0.08$
45	$1,89 \pm 0.15$	$1,90 \pm 0.09$
50	$2,22 \pm 0.14$	$2,22 \pm 0.09$
55	$2,57 \pm 0.14$	$2,57 \pm 0.10$

4.3 Brechung im Prisma

Bei der Untersuchung der Brechung im Prisma, wurden Messwerte der Einfallswinkel α_1 und der Austrittswinkel α_2 zu einem grünen- und einem roten Laser genommen. Aus diesen Messwerten lässt sich die Ablenkung δ gemäß Gleichung 4 der Strahlen berechnen. Dazu werden die Brechungswinkel β_1 über das Brechungsgesetz (2) bestimmt und der Winkel β_2 über den Zusammenhang $\beta_1 + \beta_2 = \gamma$ berechnet. Der brechende Winkel des Prismas ist $\gamma = 60^\circ$. Das Prisma besteht aus Kronglas und hat somit einen Brechungsindex von $n_{\text{Prisma}} = 1.5067$ [1]. Die Messwerte, sowie die Ergebnisse der Rechnung sind Tabelle 6 zu entnehmen.

4.4 Beugung am Gitter

Im letzten Teil des Versuches wird die Beugung eines roten und eines grünen Lasers an einem Gitter untersucht. Dazu werden drei verschiedene Gitter mit den Gitterkonstanten $d_1 = 1,67 \mu\text{m}$, $d_2 = 3,3 \mu\text{m}$ und $d_3 = 10 \mu\text{m}$ verwendet. Bei der Messung wurden, wenn dies optisch möglich war, zwei Beugungswinkel pro Ordnung k gemessen, da theoretisch eine symmetrische Verteilung um das Lot auftreten sollte. Die aufgenommenen Messwerte sind in den Tabellen 7, 8 und 9 dargestellt. Aus den aufgenommenen Beugungswinkeln kann für die k -te Ordnung mit der zugehörigen Gitterkonstante d gemäß Gleichung 5

Tabelle 6: Messwerte zur Brechung im Prisma und daraus resultierende Ablenkung δ .

	Grüner Laser		Roter Laser	
$\alpha_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$\delta / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$\delta / ^\circ$
60	38,5	38,5	38	38
50	47,5	37,5	47	37
40	60	40	59	39
30	78	48	76,5	46,5
35	66,5	41,5	65,5	40,5

eine experimentelle Wellenlänge bestimmt werden. Dies wird zu jedem Beugungswinkel durchgeführt und die daraus resultierenden Wellenlängen werden in den Tabellen 7, 8 und 9 dargestellt.

Tabelle 7: In dieser Tabelle sind die Messwerte zur Beugung am Gitter der Gitterkonstante $1,67\text{ }\mu\text{m}$, sowie die daraus resultierenden Wellenlängen aufgeführt.

Ordnung k	$\alpha_{\text{grün}} / ^\circ$	$\alpha_{\text{rot}} / ^\circ$	$\lambda_{\text{grün}} / \text{nm}$	$\lambda_{\text{rot}} / \text{nm}$
1	19,5	23,5	556,34	664,58
1	20,0	24,0	570,03	677,89

Tabelle 8: In dieser Tabelle sind die Messwerte zur Beugung am Gitter der Gitterkonstante $3,3\text{ }\mu\text{m}$, sowie die daraus resultierenden Wellenlängen aufgeführt.

Ordnung k	$\alpha_{\text{grün}} / ^\circ$	$\alpha_{\text{rot}} / ^\circ$	$\lambda_{\text{grün}} / \text{nm}$	$\lambda_{\text{rot}} / \text{nm}$
1	9,0	11,0	521,45	636,03
1	9,5	11,0	550,16	636,03
2	19,0	22,5	542,61	637,81
2	19,0	23,0	542,61	664,58
3	29,0	35,0	538,68	637,31
3	29,0	35,0	538,68	637,31

Aus den berechneten Wellenlängen wird nun ein Mittelwert der Wellenlänge gebildet. Für den grünen Laser ergibt sich eine Wellenlänge von $\bar{\lambda}_{\text{grün}} = (543,51 \pm 14,21)\text{ nm}$. Der Fehler genügt dem Mittelwertfehler gemäß der Formel (4). Für den roten Laser wird eine Wellenlänge von $\bar{\lambda}_{\text{rot}} = (650,18 \pm 17,81)\text{ nm}$ bestimmt.

Tabelle 9: In dieser Tabelle sind die Messwerte zur Beugung am Gitter der Gitterkonstante $10\text{ }\mu\text{m}$, sowie die daraus resultierenden Wellenlängen aufgeführt.

Ordnung k	$\alpha_{\text{grün}} / ^\circ$	$\alpha_{\text{rot}} / ^\circ$	$\lambda_{\text{grün}} / \text{nm}$	$\lambda_{\text{rot}} / \text{nm}$
1	3,0	4,0	523,36	697,56
1	3,0	3,5	523,36	610,49
2	6,0	7,5	522,64	652,63
2	6,0	7,5	522,64	652,63
3	9,5	11,0	550,16	636,03
3	9,5	11,5	550,16	664,56
4	12,5	15,0	541,10	647,05
4	13,0	15,0	562,38	647,05
5	16,0	19,0	551,27	651,14
6	19,5	23,0	556,34	651,22
7	23,0	27,0	558,19	648,56
8	26,0	31,5	547,96	653,12

5 Diskussion

Im ersten Teil dieses Versuches wurde versucht das Reflexionsgesetz (1) nachzuweisen. Dazu wurde die absolute Differenz von Einfallswinkel und Ausfallswinkel gebildet. Dabei ergab sich eine mittlere Differenz von $\alpha = 2,64^\circ$. Aufgrund dieser großen Differenz wurde das Reflexionsgesetz (1) nicht nachgewiesen. Da die Differenz keinen großen Schwankungen unterliegt ist nicht von einem statistischen Fehler auszugehen. Diese Konstanz deutet also auf einen systematischen Fehler hin. Dieser liegt vermutlich darin, dass der Reflexionsspiegel in falscher Orientierung eingesetzt wurde und so in einem kleinen Winkel zur eigentlich erwünschten Reflexionsfläche stand. Des Weiteren sind andere Fehlerquellen, wie eine schiefe Unterlage der Messskala nicht auszuschließen.

Danach wurde das Brechungsgesetz (2) untersucht. Dabei ergab sich ein experimentell bestimmter Brechungsindex $n_{\text{exp}} = 1,486 \pm 0,026$. Dieser weicht zum Literaturwert $n_{\text{Lit}} = 1,489$ eine Abweichung von $\Delta n = 0,2\%$. Aufgrund der sehr geringen Abweichung ist die Messung lediglich durch Ablesefehler behaftet. Daher ist diese Messung als qualitativ anzunehmen. Aus dem experimentellen Brechungsindex wurde dann die Lichtgeschwindigkeit in Acryl errechnet. Diese ergab sich zu $c_{\text{Acryl}} = (2,018 \pm 0,036) \cdot 10^8 \text{ m/s}$ und kann aufgrund der zugrunde liegenden kleinen Abweichung ebenfalls als qualitativ angenommen werden.

Anschließend wurde der Strahlenversatz an einem Prisma untersucht. Dabei wurde der Strahlenversatz über zwei Methoden berechnet. Zwischen den beiden Methoden ergibt sich eine maximale Abweichung von $\Delta s = 2,2\%$. Daher können beide Methoden als gleichwertig angenommen werden.

Weiter wurde an einem Prisma der Gesamtreflexionswinkel δ untersucht. Der Tabelle 6 ist zu entnehmen, dass beide verwendeten Methoden eine ähnlich gute Qualität haben und somit keine eindeutige Präferenz für eine der Methoden ausgesprochen werden kann.

Zuletzt wurde die Beugung an einem Gitter untersucht. Dabei wurde ein roter Laser der Wellenlänge $\lambda_{\text{theo, rot}} = 635 \text{ nm}$ und ein grüner Laser der Wellenlänge $\lambda_{\text{theo, grün}} = 532 \text{ nm}$ verwendet. Aus der Messung ergaben sich für die beiden Laser experimentell bestimmte Mittelwerte von $\bar{\lambda}_{\text{rot}} = (650,18 \pm 17,81) \text{ nm}$ und $\bar{\lambda}_{\text{grün}} = (543,51 \pm 14,21) \text{ nm}$. Für den roten Laser ergibt sich daher eine Abweichung von $\Delta\lambda_{\text{rot}} = 2,4 \%$. Der experimentelle Wert des grünen Laser weicht um $\Delta\lambda_{\text{grün}} = 2,2 \%$ vom angegebenen Wert ab. Da dies beides sehr kleine Abweichungen sind ist die Bestimmung der Wellenlänge qualitativ gelungen und unterliegt lediglich kleinen statistischen Fehlern. Insgesamt wurden die geforderten Gesetze mit zufriedenstellender Genauigkeit bestätigt. Lediglich des Reflexionsgesetz konnte nicht eindeutig bewiesen werden.

Literatur

- [1] Horst Czichos und Manfred Hennecke. *Das Ingenieurwissen*. Springer Verlag, 2012. ISBN: 978-3-642-22850-6.
- [2] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] *V400 - Reflexion, Brechung und Beugung*. TU Dortmund. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1933349/mod_resource/content/5/V400.pdf (besucht am 14.06.2022).

Anhang

V400: Brechung, Reflexion & Beugung

1) $\alpha_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	(2) $\alpha_1 / ^\circ$	$\beta / ^\circ$
25	22,5	25	16,5
30	28	30	19,5
35	32,5	35	23
40	37	40	25,5
45	43	45	28,5
50	47	50	31
55	51,5	55	33,5

(4):

$\alpha_1 / ^\circ$	grün $\alpha_2 / ^\circ$	rot $\alpha_2 / ^\circ$
60	58	60
60	58,5	58,5
60	38,5	38
80		
50	47,5	47
40	60	59
30	78	76,5
35	66,5	65,5

(5)

600/mm:	$\delta\alpha = 0,5^\circ$	
	grün	rot
$h=1$		
$h=1$:	19,5	23,5
$h=1$:	20	24
<u>300/mm:</u>		
$h=1$:	9	11
	9,5	11
$h=2$:	19	22,5
	19	23
$h=3$:	29	35
	29	35

(5) 100/mm:	$k=1$	$k=2$	$k=3$	$k=4$
grün	3°:3°	6°:6°	9,5°:9,5°	12,5°:13°
rot	4°:3,5°	7,5°:7,5°	11°:11,5°	15°:15°

(5)	100/mm				
	$h=5$	$h=6$	$h=7$	$h=8$	
grün	16°	$19,5^\circ$	23°	26°	
rot	19°	23°	27°	$31,5^\circ$	

$$\lambda_{\text{rot}} = 635 \text{ nm}$$

$$\lambda_{\text{grün}} = 532 \text{ nm} \quad 7. \text{Lichter}$$