

400

Reflexion, Brechung und Beugung

Leander Flottau
leander.flottau@tu-dortmund.de

Jan Gaschina
jan.gaschina@tu-dortmund.de

Durchführung: 22.06.2021

Abgabe: 29.06.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Durchführung	3
2	Fehler	3
3	Auswertung	3
4	Vorbereitungsaufgaben	3
4.0.1	Brechungsindizes	3
4.0.2	Gitterkonstanten	4
4.1	Überprüfung des Reflexionsgesetzes	4
4.2	Brechungsgesetz	4
4.3	Planparallele Platten	5
4.4	Das Prisma	5
4.5	Beugung am Gitter	6
5	Diskussion	7
6	Literatur	8
7	Anhang	8

1 Durchführung

2 Fehler

Der Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=0} x_i \quad (1)$$

Die Standardabweichung:

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

Der Fehler des Mittelwertes:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Die Gaußsche Fehlerfortpflanzung:

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n}\right)^2 \sigma_{x_n}^2} \quad (4)$$

Die Prozentuale Abweichung:

$$Abweichung = \frac{ExperimentellerWert - Theoriewert}{Theoriewert} \times 100 \quad (5)$$

3 Auswertung

In diesem Kapitel sollen die aufgenommenen Messwerte Ausgewertet und verrechnet werden.

4 Vorbereitungsaufgaben

4.0.1 Brechungsindizes

In Quelle 2 können folgende Brechungsindizes nachgeschlagen werden. Luft: $n_{Luft} = 1$,
Wasser: $n_{Wasser} = 1,333$,
Kronglas: $n_{Kron} = 1,5$,
Plexiglas: $n_{Plex} = 1,49$,
Diamant: $n_{Dia} = 2,42$.

4.0.2 Gitterkonstanten

Die Gitterkonstanten sind der Kehrwert der Anzahl der Gitterlinien pro mm. Das führt zu den Gitterkonstanten:

$$\begin{aligned}d_1 &= 0,01 \text{ 1/mm für } 100\text{L/mm}, \\d_2 &= \text{für } 300\text{L/mm und} \\d_3 &= \text{für } 600\text{L/mm}.\end{aligned}$$

4.1 Überprüfung des Reflexionsgesetzes

Nach dem Reflexionsgesetz ist der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel ($\alpha_1 = \alpha_2$). Es wird aus verschiedenen definierten Winkeln α_1 ein Laserstrahl auf einen Spiegel gerichtet und der Reflexionswinkel α_2 von einem Schirm abgelesen. Die theoretischen und gemessenen Winkel sowie die Abweichung sind in ?? dargestellt.

Tabelle 1: Einfalls- und Ausfallswinkel eines auf einen Spiegel gerichteten Laserstrahls.

$\alpha_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$\alpha_{2,theo} / ^\circ$	Abweichung / %
20	20 ± 1	20	0,0
30	30 ± 1	30	0,0
35	35 ± 1	35	0,0
40	40 ± 1	40	0,0
45	45 ± 1	45	0,0
50	50 ± 1	50	0,0
60	60 ± 1	60	0,0

Da der Lasepunkt auf dem Schirm eine Ausdehnung von dem Equivalent eines Grades hat und die Skala für Einfalls- und Ausfallswinkel ebenfalls nur gradweise eingeteilt ist können die Winkel auch nur auf höchstens $\pm 1^\circ$ genau bestimmt werden.

4.2 Brechungsgesetz

Um den Brechungsindex zu bestimmen wird der Brechungswinkel bestimmt. Der Brechungsindex kann dann leicht über den Zusammenhang:

$$n_2 = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

bestimmt werden. Es werden die Werte für n_2 einzeln bestimmt, anschließend über Gleichung 1 gemittelt und in Tabelle 2 dargestellt. Die Fehler ergeben sich zunächst über Gleichung 4 und dann für den Mittelwert über Gleichung 3 Mit dem berechneten Wert für n lässt sich über die folgende Beziehung leicht die Lichtgeschwindigkeit v_2 im Medium berechnen.

$$v_2 = \frac{v_1}{n_2}, \quad v_1 = c = 29979 \times 10^8 \text{ m/s}$$

Diese liegt demnach bei $v_2 = (2.034 \pm 0.019) \times 10^8 \text{ m/s}$

Tabelle 2: Brechung eines Laserstrahls im Medium.

$\alpha_1 / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	n_2
20	$14,0 \pm 0,5$	$1,413 \pm 0,084$
30	$20,5 \pm 0,5$	$1,427 \pm 0,055$
35	$22,5 \pm 0,5$	$1,499 \pm 0,049$
40	$25,5 \pm 0,5$	$1,493 \pm 0,041$
45	$28,0 \pm 0,5$	$1,506 \pm 0,036$
50	$31,0 \pm 0,5$	$1,487 \pm 0,031$
60	$35,5 \pm 0,5$	$1,491 \pm 0,024$
\emptyset		$1,474 \pm 0,014$

4.3 Planparallele Platten

Wenn Licht durch zwei planparallele Schichtgrenzen hindurchfällt erfährt es einen Strahlversatz s . Dieser berechnet sich über:

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

Es wird einerseits der Einfallswinkel α_1 und der Brechungswinkel β_{gemessen} gemessen und andererseits wird der Winkel $\beta_{\text{berechnet}}$ aus dem Einfallswinkel und dem Brechungsindex aus Unterabschnitt 4.2 berechnet. Für beide wird dann der Strahlversatz berechnet und in Tabelle 3 dargestellt. Die Fehler ergeben sich über die Gaußsche-Fehlerfortpflanzung Gleichung 4. Die am Ende berechneten Mittelwerte ergeben sich mit ihrem Fehler über Gleichung 1 und Gleichung 3. Die berechneten Mittelwerte unterscheiden sich kaum

Tabelle 3: Brechung eines Laserstrahls im Medium.

$\alpha_1 / ^\circ$	$\beta_{\text{gemessen}} / ^\circ$	s_1 / cm	$\beta_{\text{berechnet}} / ^\circ$	s_2 / cm
20	$14,0 \pm 0,5$	$0,630 \pm 0,116$	$13,417 \pm 0,668$	$0,689 \pm 0,040$
30	$20,5 \pm 0,5$	$1,031 \pm 0,119$	$19,828 \pm 0,655$	$1,098 \pm 0,049$
35	$22,5 \pm 0,5$	$1,370 \pm 0,118$	$22,899 \pm 0,646$	$1,331 \pm 0,054$
40	$25,5 \pm 0,5$	$1,623 \pm 0,120$	$25,854 \pm 0,635$	$1,589 \pm 0,060$
45	$28,0 \pm 0,5$	$1,937 \pm 0,120$	$28,666 \pm 0,623$	$1,875 \pm 0,067$
50	$31,0 \pm 0,5$	$2,222 \pm 0,121$	$31,312 \pm 0,609$	$2,194 \pm 0,074$
60	$35,5 \pm 0,5$	$2,980 \pm 0,120$	$35,981 \pm 0,577$	$2,943 \pm 0,088$
\emptyset		$1,68 \pm 0,30$		$1,67 \pm 0,28$

voneinander und liegen im gegenseitigen Fehlerintervall.

4.4 Das Prisma

In einem Prisma wird Licht in abhängigkeit von seiner Wellenlänge λ gebrochen. In diesem Versuch trifft ein Laserstrahl in unterschiedlichen Winkeln α_1 auf das Prisma

und tritt im Winkel α_2 wieder aus. Die anderen Winkel ergeben sich dann über die Beziehungen:

$$\begin{aligned}\beta_2 &= \arcsin\left(\frac{\sin\alpha}{n_{kron}}\right), \\ \beta_1 &= \gamma - \beta_2 \text{ und} \\ \delta &= (\alpha_1 + \alpha_2) - (\beta_1 + \beta_2).\end{aligned}$$

Mit n_{kron} dem Brechungsindex von Kronglas aus Unterunterabschnitt 4.0.1 Für den grünen Laserstrahl sind die Ergebnisse in Tabelle 4 und für den roten in Tabelle 5 dargestellt. Die Messfehler ergeben sich hierbei über Gleichung 4 und der am Ende berechnete Mittelwert ergibt sich mit dem zugehörigen Fehler über Gleichung 1 und Gleichung 3.

Tabelle 4: Dispersion eines grünen Laserstrahls im Medium.

$\alpha_{1,grn} / ^\circ$	$\alpha_{2,grn} / ^\circ$	$\beta_{1,grn} / ^\circ$	$\beta_{2,grn} / ^\circ$	$\delta / ^\circ$
30	81±1	17,929±0,512	42,071±0,513	51,0±1,414
35	68±1	21,023±0,549	38,977±0,549	43,0±1,414
40	61±1	23,605±0,573	36,395±0,573	41,0±1,414
55	43±1	32,440±0,628	27,559±0,628	38,0±1,414
60	38±1	35,312±0,640	24,688±0,639	38,0±1,414
65	34±1	37,706±0,648	22,294±0,672	39,0±1,414
70	31±1	39,549±0,653	20,451±0,653	41,0±1,414
\emptyset				41,6±1,7

Tabelle 5: Dispersion eines roten Laserstrahls im Prisma.

$\alpha_{1,rot} / ^\circ$	$\alpha_{2,rot} / ^\circ$	$\beta_{1,rot} / ^\circ$	$\beta_{2,rot} / ^\circ$	$\delta / ^\circ$
30	79±1	18,245±0,517	41,755±0,517	49,0±1,414
35	67±1	21,356±0,552	38,643±0,552	42,0±1,414
40	60±1	24,019±0,577	35,981±0,577	40,0±1,414
55	42±1	33,003±0,630	26,997±0,630	37,0±1,414
60	37±1	35,903±0,642	24,097±0,642	37,0±1,414
65	33±1	38,316±0,650	21,684±0,649	38,0±1,414
70	30±1	40,172±0,655	19,828±0,655	40,0±1,414
\emptyset				40,4±1,6

4.5 Beugung am Gitter

Um die Wellenlänge der verwendeten Laser zu messen werden drei optische Beugungsgitter in den Strahlverlauf gestellt und die Beugungswinkel gemessen. Aus diesen lässt sich über die Beziehung:

$$\lambda = \frac{d \sin \alpha}{k}$$

mir d den in ?? berechneten Gitterkonstanten und k der Beugungsordnung, die Wellenlänge berechnen. Der Fehler pflanzt sich dabei über Gleichung 4 fort. Die berechneten λ sind in Tabelle 6 dargestellt und über Gleichung 1 gemittelt worden. Der Mittelwertfehler ergibt sich dabei mit Gleichung 3.

Tabelle 6: Beugung des roten und grünen Laserstrahls an verschiedenen Gittern.

$d / 1/\text{mm}$	k	$\alpha_{rot} / ^\circ$	$\lambda_{rot} / \mu\text{m}$	$\alpha_{grn} / ^\circ$	$\lambda_{rot} / \mu\text{m}$
0,01	1	4 ± 1	$0,697 \pm 0,174$	3 ± 1	$0,523 \pm 0,174$
	2	7 ± 1	$0,609 \pm 0,087$	6 ± 1	$0,523 \pm 0,087$
	3	11 ± 1	$0,636 \pm 0,057$	9 ± 1	$0,521 \pm 0,057$
	4	15 ± 1	$0,647 \pm 0,042$	12 ± 1	$0,519 \pm 0,043$
	5	19 ± 1	$0,651 \pm 0,033$	16 ± 1	$0,551 \pm 0,034$
	6	23 ± 1	$0,651 \pm 0,019$	19 ± 1	$0,543 \pm 0,028$
	7	27 ± 1	$0,648 \pm 0,022$	22 ± 1	$0,535 \pm 0,023$
	8	31 ± 1	$0,644 \pm 0,019$	26 ± 1	$0,548 \pm 0,019$
0,003	1	11 ± 1	$0,636 \pm 0,057$	9 ± 1	$0,521 \pm 0,057$
	2	22 ± 1	$0,624 \pm 0,027$	19 ± 1	$0,542 \pm 0,028$
	3	35 ± 1	$0,637 \pm 0,637$	28 ± 1	$0,522 \pm 0,017$
0,0016	1	23 ± 1	$0,651 \pm 0,027$	19 ± 1	$0,543 \pm 0,027$
\emptyset			$0,644 \pm 0,006$		$0,5327 \pm 0,0035$

5 Diskussion

In diesem Versuch wurde zunächst in Unterabschnitt 4.1 das Reflexionsgesetz überprüft. Hier entsteht, im Rahmen der eingeschränkten Messgenauigkeit, bei keinem aufgenommenen Messwert eine Abweichung von der Erwartung. Die Messgenauigkeit ist eingeschränkt, da der Lasepunkt auf dem Schirm eine Ausdehnung besitzt und die Skala nur gradweise und nicht direkt auf dem Schirm sondern nur darunter aufgetragen ist. Im nächsten Schritt, Unterabschnitt 4.2, wird dann der Brechungsindex von Plexiglas bestimmt. Der hier gemessene Wert liegt bei $n_{plex} = 1,474 \pm 0,014$ und weicht somit um etwa 1,08% von dem in Unterabschnitt 4.0.1 nachgeschlagenen Wert ab und liegt so knapp außerhalb des Fehlerintervalls. Ebenfalls wurde in diesem Kapitel die Lichtgeschwindigkeit in Plexiglas bestimmt, sie liegt bei $v_2 = (2.034 \pm 0.019) \times 10^8 \text{m/s}$ und weicht somit ebenfalls um etwa 1% vom Theoriewert $v_{theo} = 201\,202\,991 \text{m/s}$ ab. Im Anschluss daran wird in Unterabschnitt 4.3 der Strahlversatz an planparallelen Platten auf zwei verschiedene Weisen berechnet. Die berechneten Werte liegen bei $s_1 = 1.68 \pm 0.30 \text{cm}$ und $s_2 = 1,67 \pm 0,28 \text{cm}$. Sie unterscheiden sich also nur um etwa 0,6% und liegen gegenseitig im Fehlerintervall. In Unterabschnitt 4.4 werden dann die Wellenlängen abgelesen.

Brechungswinkel welche durch ein Prisma erzeugt werden gemessen sie liegen für den grünen Laser bei $\delta_g = 41,6 \pm 1,7^\circ$ und für den roten laser bei $\delta_r = 40,4 \pm 1,6^\circ$. Hier leigen keine Theoriewerte zum Vergleich vor. Im letzten Kapitel Unterabschnitt 4.5 werden dann die Wellenlängen der benutzten Laser zu $\lambda_{rot} = 644,0 \pm 6\text{nm}$ und $\lambda_{grn} = 532,7 \pm 3,5\text{nm}$ bestimmt. Es liegen auch hier keine Werte zum Vergleich vor, jedoch sind die berechneten Wellenlängen in einem für die Lichtfarben typischen Bereich. Fehler können in diesen Versuchen vorallem durch ungenaue oder schlecht ablesbare Skalen entstehen. Die gemessenen Werte zeigen jedoch durchweg eine geringe Abweichung von der Erwartung. Die prozentualen Abweichungen werden über Gleichung 5 berechnet.

6 Literatur

1. TU-Dortmund, V204: Wärmeleitung von Metallen
2. Brechungsindexdatenbank, www.filmetrics.de abgerufen am 26.06.2021

7 Anhang

Auf der folgenden Seite befinden sich ein Scan der Orginalwerte.