

VERSUCH NUMMER 400

## **Reflexion, Brechung und Beugung**

Tim Alexewicz  
tim.alexewicz@udo.edu

Sadiah Azeem  
sadiah.azeem@udo.edu

Durchführung: 31.05.2022

Abgabe: 07.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Geometrische Optik . . . . .	3
2.2 Wellenoptik . . . . .	3
<b>3 Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1 Reflexionsgesetz . . . . .	7
4.2 Brechungsgesetz . . . . .	8
4.3 Prisma . . . . .	8
4.4 Beugung am Gitter . . . . .	10
<b>5 Diskussion</b>	<b>10</b>
5.1 Reflexionsgesetz . . . . .	10
5.2 Brechungsgesetz . . . . .	11
5.3 Ablenkung im Prisma . . . . .	11
5.4 Beugung am Gitter . . . . .	11
<b>Literatur</b>	<b>12</b>

# 1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist die Untersuchung grundlegender Phänomene der Optik, wie zum Beispiel das Snellius'sche Gesetz, Reflexion, Beugung und Brechung.

## 2 Theorie

### 2.1 Geometrische Optik

#### Reflexion

Das Reflexionsgesetz besagt, dass ein Strahlenbündel, das auf eine Grenzfläche trifft, im Winkel

$$\alpha_1 = \alpha_2$$

reflektiert wird.

Hier ist  $\alpha_1$  der Einfallswinkel,  $\alpha_2$  der Ausfallswinkel.

#### Brechung

Die Brechung kann durch das Gesetz von Snellius beschrieben werden. Das besagt, dass

$$n_1 \cdot \sin(\alpha) = n_2 \cdot \sin(\beta) \quad (1)$$

gilt. Hierbei ist  $n_1$  der Brechungsindex des ersten Mediums,  $\alpha$  der Einfallswinkel zum Lot im ersten Medium.

$n_2$  und  $\beta$  die entsprechenden Größen im zweiten Medium.

#### Reflexion und Transmission

Häufig wird das Strahlenbündel weder vollständig reflektiert noch transmittiert.

Es wird, abhängig vom Material, ein Teil  $T$  der Intensität transmittiert, Teil  $R$  reflektiert. Die beiden Anteile stehen in der Relation

$$T + R = 1$$

zueinander, da die gesamte Intensität im System erhalten bleibt.

### 2.2 Wellenoptik

#### Licht als elektromagnetische Welle

Eine elektromagnetische Welle wird durch ihre Frequenz  $\nu$ , Ausbreitungsgeschwindigkeit  $v$  und Wellenlänge  $\lambda$  charakterisiert.

Für die Intensitäten gilt das Superpositionsprinzip, sodass die Intensitäten konstruktiv oder destruktiv interferierender Wellen addiert bzw. subtrahiert werden können. Die Art der Interferenz hängt vom Phasenversatz ab.

### Beugung am Gitter

Die Beugung am Gitter veranschaulicht das Phänomen der Interferenz.

Ihr liegt das Huygenssche Prinzip zugrunde, das besagt „Jeder Punkt einer Welle ist der Ausgangspunkt einer Elementarwelle gleicher Frequenz. Die Einhüllende aller Sekundärwellen stellt zu einem späteren Zeitpunkt die neue Lage der Wellenfront dar.“[3]

Trifft das am Gitter gebeugte Licht auf einen Schirm, werden Intensitätsmaxima in periodeischen Abständen sichtbar. Sie können am Einzelspalt der Breite  $b$  mit der Formel

$$b \cdot \sin(\alpha) = k \cdot \lambda$$

beschrieben werden. Hier ist  $\lambda$  die Wellenlänge,  $k$  der Index des Maximums und  $\alpha$  der Winkel relativ zur geradlinigen Ausbreitungsrichtung.

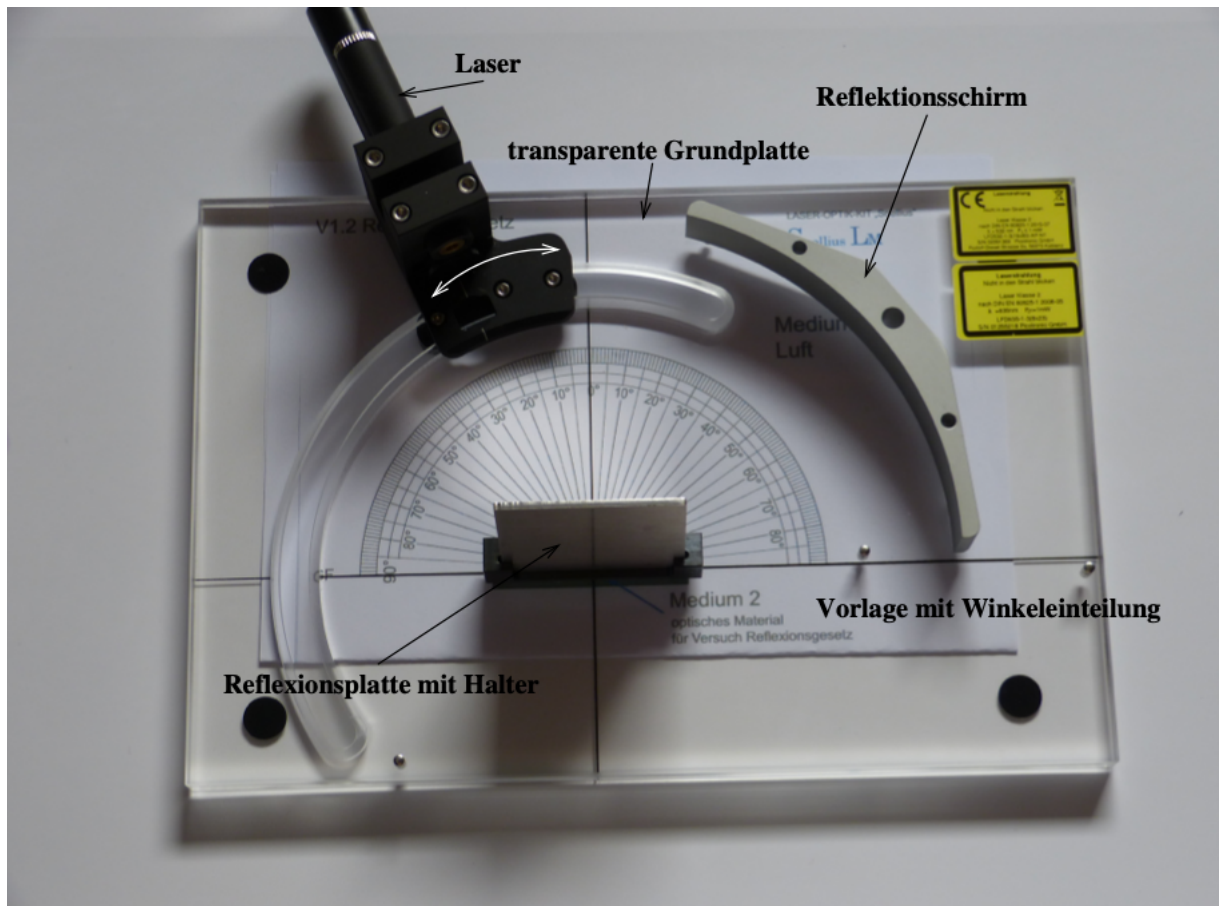
Für Gitter mit mehr als einem Spalt wird die Formel zu

$$d \cdot \sin(\alpha) = k \cdot \lambda.$$

Dabei ist  $d$  die Gitterkonstante.

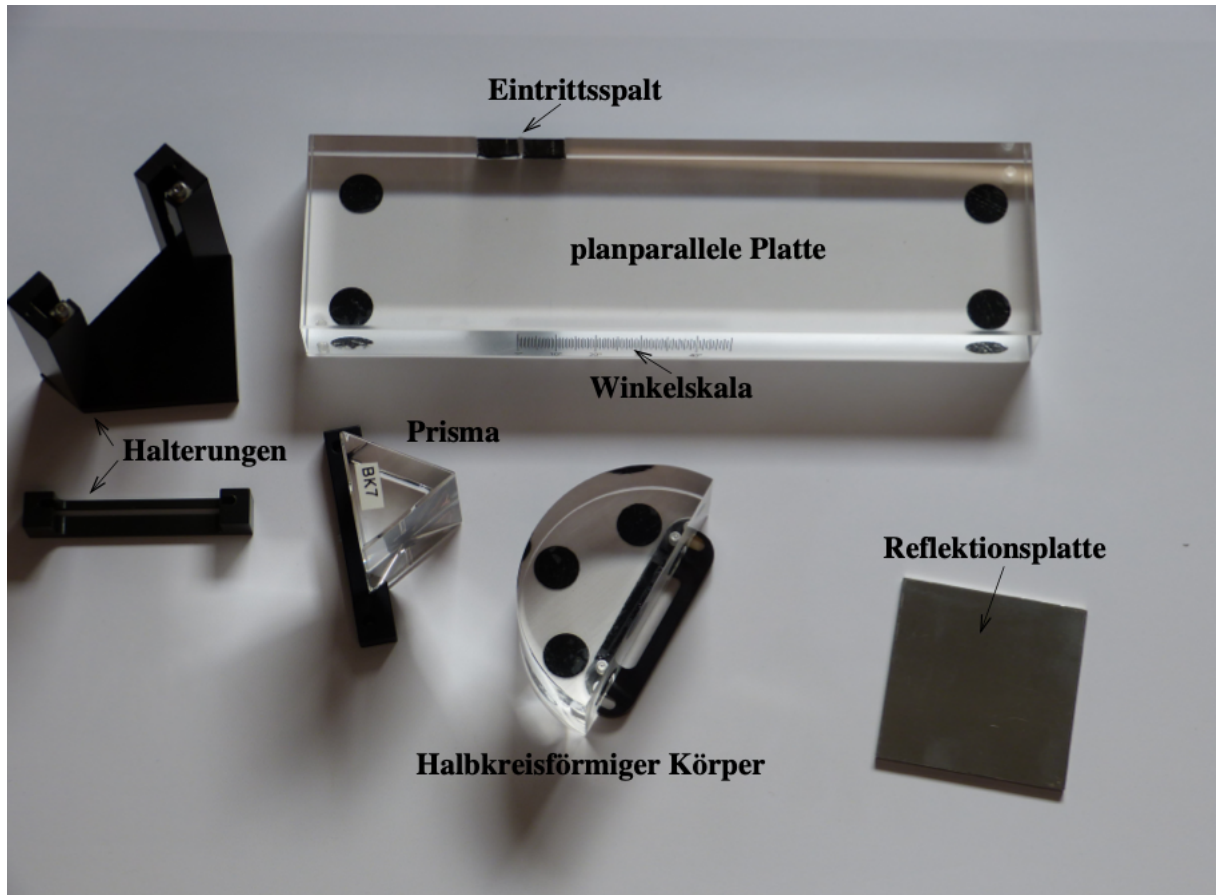
## 3 Durchführung

Die verwendeten Gerätschaften sind in Abbildung 1 zu sehen.



**Abbildung 1:** Die verwendete Versuchsaapparatur. [3]

An der Grundplatte sind ein roter und ein grüner Laser angebracht. Die Laser lassen sich auf einer Schiene im Halbkreis drehen. Auf der Platte befindet sich im Mittelpunkt des Halbkreises eine Vorrichtung, auf der die optischen Elemente platziert werden. Es wurden die optischen Elemente aus Abbildung 2 in den verschiedenen Versuchsteilen verwendet.



**Abbildung 2:** Die verwendeten optischen Elemente. [3]

Außerdem liegen verschiedene Winkelskalen vor, die unter die Grundplatte gelegt werden, um die Messdaten der verschiedenen optischen Elemente ablesen zu können.

### **Aufgabenteil 1**

Es wird ein Spiegel in die Vorrichtung gesetzt und mit dem grünen Laser 7 Messwertepaare zur Verifikation von Abschnitt 2.1 genommen.

### **Aufgabenteil 2**

Mit der planparallelen Platte werden 7 Wertepaare gemessen, mit denen Gleichung 1 überprüft wird. Die Platte verfügt über eine Skala, an der der Brechungswinkel direkt abgelesen werden kann. Es wird der grüne Laser verwendet.

### **Aufgabenteil 3**

Es wird aus den Messdaten von Aufgabenteil 2 der Strahversatz berechnet.

## Aufgabenteil 4

Die planparallele Platte wird durch das Prisma ersetzt. Mit beiden Lasern werden jeweils 5 Wertepaare für Ein- und Ausfallswinkel genommen.

## Aufgabenteil 5

Mit drei Gittern der Gitterkonstanten 100, 300 und 600 werden für alle sichtbaren Intensitätsmaxima die Winkel zum Mittelpunkt vermessen.

## Vorbereitung

**Tabelle 1:** Brechungsindizes verschiedener Materialien. [1]

Material	Brechungsindex $n$
Luft	1,000292
Wasser	1,33
Kronglas	1,46 ... 1,65
Plexiglas (PMMA)	1,49
Diamant	2,42

Es wird in der Auswertung mit  $n_{Kronglas} = 1,55$  gerechnet. Die außerdem zu bestimmenden Gitterkonstanten lauten

$$\begin{aligned}d_{100} &= 10\text{m} \\d_{300} &= 2,5\text{m} \\d_{600} &= 1,67\text{m}\end{aligned}$$

## 4 Auswertung

### 4.1 Reflexionsgesetz

Die Messungen werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

**Tabelle 2:** Die gemessenen Einfalls- und Ausfallswinkel.

$\alpha_1/^\circ$	$\alpha_2/^\circ$
20	20
25	25
30	30
35	35
40	40
45	45
50	50

## 4.2 Brechungsgesetz

Das Brechungsgesetz wurde an einer aus Plexiglas bestehenden planplanaren Platte überprüft. Es wurden die Werte aus Tabelle 3 gemessen und mit Gleichung 1 der zugehörige Brechungsindex sowie die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Plexiglas berechnet.

**Tabelle 3:** Einfallswinkel des Lasers, Brechungswinkel im Plexiglas, Brechungsindizes des Plexiglasses und Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Plexiglas.

$\alpha/^\circ$	$\beta/^\circ$	n	$v \cdot 10^8 / (\text{s/m})$
10	7.5	1.33	2.2534
20	13.5	1.47	2.0462
25	17	1.45	2.0740
30	21	1.40	2.1487
35	23	1.47	2.0422
40	26	1.47	2.0445
45	28	1.51	1.9904

Werden die Brechungsindizes in

$$\bar{n} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m n_i$$

$$\Delta \bar{n} = \sqrt{\frac{1}{m(m-1)} \sum_{i=1}^m (n_i - \bar{n})^2} \quad (2)$$

eingesetzt, ergibt sich der Mittelwert und Fehler

$$\bar{n} \pm \Delta \bar{n} = 1.44 \pm 0.02$$

für den Brechungsindex von Plexiglas.

Mit den selben Formeln aus Gleichung 2 ergibt sich der Mittelwert und Fehler

$$\bar{v} \pm \Delta \bar{v} = 2.0856 \pm 0.03$$

der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtes im Plexiglas.

## 4.3 Prisma

Während des Experiments wurden die Einfallswinkel  $\alpha_1$  und Ausfallswinkel  $\alpha_2$  aus Tabelle 5 für den grünen und roten Laser gemessen.



**Tabelle 4:** Einfallswinkel und Ausfallswinkel für den grünen und roten Laser.

$\alpha_{1_g}/^\circ$	$\alpha_{2_g}/^\circ$	$\alpha_{1_r}/^\circ$	$\alpha_{2_r}/^\circ$
30	67	25	73
35	59	30	63
40	53	35	59
45	47	40	51
50	41	45	46

Aus Gleichung 1 und  $\alpha_1$  lassen sich die jeweiligen Brechungswinkel für  $\beta_1$  und mit der Winkelbeziehung  $\gamma = \beta_1 + \beta_2$  mit  $\gamma = 60^\circ$  die Brechungswinkel  $\beta_2$  berechnen. Diese werden in Tabelle 6 zusammengefasst.

**Tabelle 5:** Brechungswinkel für den grünen und roten Laser.

$\beta_{1_g}/^\circ$	$\beta_{2_g}/^\circ$	$\beta_{1_r}/^\circ$	$\beta_{2_r}/^\circ$
19.61	40.39	16.48	43.52
22.64	37.36	19.61	40.39
25.56	34.44	22.64	37.36
28.33	31.67	25.56	34.44
30.94	29.06	28.33	31.67

Mit den Informationen aus Tabelle 3 und Tabelle 5 errechnen sich die Ablenkungen aus Tabelle 6.

**Tabelle 6:** Ablenkungen für die Werte aus Tabelle 3 und Tabelle 5.

	$\delta_g$	$\delta_r$
$\delta_1$	7	8
$\delta_2$	4	3
$\delta_3$	3	4
$\delta_4$	2	1
$\delta_5$	1	1

Aus Tabelle 6 ergeben sich mit Gleichung 2 die Mittelwerte und Fehler für die Ablenkungen

$$\begin{aligned}\bar{\delta}_g \pm \Delta\bar{\delta}_g &= 3.40 \pm 1.03 \text{ und} \\ \bar{\delta}_r \pm \Delta\bar{\delta}_r &= 3.40 \pm 1.29\end{aligned}$$

des grünen und roten Lasers.

## 4.4 Beugung am Gitter

Die Wellenlänge der Laser kann durch

$$\lambda = d \frac{\sin(\varphi)}{k}$$

berechnet werden, wobei  $d$  die Gitterkonstante,  $k$  die Beugungsordnung und  $\varphi$  der Beugungswinkel ist. In Tabelle 7 werden die Beugungsordnungen, Winkel und Wellenlängen für die jeweiligen Gitter und Laser zusammengefasst.

**Tabelle 7:** Beugungsordnungen, Winkel und Wellenlängen der jeweiligen Gitter und Laser

$d/\mu\text{m}$	$k$	$\varphi_g / ^\circ$	$\varphi_r / ^\circ$	$\lambda_g$	$\lambda_r$
10	1	1	0.5	174.50 nm	87.30 nm
	2	4	14	348.80 nm	1.21 $\mu\text{m}$
	3	7	27.5	406.20 nm	1.54 $\mu\text{m}$
3.33	1	2.5	9.5	145 nm	550 nm
	2	17	20.5	486.80 nm	583 nm
1.67	1	19.5	22	557 nm	625.60 nm

Mit den Wellenlängen aus Tabelle 7 können die Mittelwerte und Fehler durch Gleichung 2 zu

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_{g10} \pm \Delta\bar{\lambda}_{g10} &= (309.83 \pm 69.83) \text{ nm}, \\ \bar{\lambda}_{g3.33} \pm \Delta\bar{\lambda}_{g3.33} &= (315.9 \pm 170.9) \text{ nm}, \\ \bar{\lambda}_{g1.67} \pm \Delta\bar{\lambda}_{g1.67} &= 557 \text{ nm}, \\ \bar{\lambda}_{r10} \pm \Delta\bar{\lambda}_{r10} &= (945.8 \pm 439.7) \text{ nm}, \\ \lambda_{r3.33} \pm \Delta\bar{\lambda}_{r3.33} &= (566.5 \pm 16.5) \text{ nm und} \\ \lambda_{r1.67} \pm \Delta\bar{\lambda}_{r1.67} &= 625.6 \text{ nm}\end{aligned}$$

für den grünen und roten Laser berechnet werden. Insgesamt ergibt sich mit Gleichung 2 für die Wellenlänge der Mittelwert und Fehler

$$\begin{aligned}\bar{\lambda}_g \pm \Delta\bar{\lambda}_g &= (394.18 \pm 81.43) \text{ nm und} \\ \bar{\lambda}_r \pm \Delta\bar{\lambda}_r &= (712.63 \pm 117.83) \text{ nm}\end{aligned}$$

für den grünen und roten Laser.

## 5 Diskussion

### 5.1 Reflexionsgesetz

Das Reflexionsgesetz wird eindeutig durch das Experiment bestätigt.

## 5.2 Brechungsgesetz

Der Brechungsindex von Plexiglas ist

$$n = 1.49$$

und wird dieser mit dem aus dem Experiment ermittelten Brechungsindex verglichen, ergibt sich die Abweichung

$$\left| \frac{n_{th} - n_{exp}}{n_{exp}} \right| = 0.035 = 3.5\%,$$

die noch im Rahmen liegt [2]. Diese Abweichung kann durch die Papierschablone verursacht worden sein, bei der sehr leicht Abgleichungs- oder Ablesefehler entstehen können. Die theoretische Geschwindigkeit im Plexiglas

$$v_2 = 2.0120 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

ergibt sich aus Gleichung 1. Im Vergleich mit der experimentell bestimmten Geschwindigkeit des Lichtes im Plexiglas, ergibt sich

$$\left| \frac{v_{th} - v_{exp}}{v_{exp}} \right| = 0.035 = 3.5\%$$

für die Abweichung der Geschwindigkeit. Auch hier musste eine Papierschablone benutzt werden, die die gleichen Mali wie oben aufweist.

## 5.3 Ablenkung im Prisma

Zur Ablenkung kann keine Aussage getroffen werden, weil es keinen Vergleichswert gibt.

## 5.4 Beugung am Gitter

Nach [1] ist die Wellenlänge

$$\lambda_g = 532 \text{ nm und}$$

$$\lambda_r = 635 \text{ nm}$$

für den grünen und roten Laser. Im Vergleich mit den experimentellen Werten fällt sofort eine große Abweichung

$$\left| \frac{\lambda_{g_{th}} - \lambda_{g_{exp}}}{\lambda_{g_{exp}}} \right| = 0.350 = 35.0 \%$$
$$\left| \frac{\lambda_{r_{th}} - \lambda_{r_{exp}}}{\lambda_{r_{exp}}} \right| = 0.109 = 10.9 \%$$

für die Wellenlängen der Laser auf. Das kann durch die mehreren Papierschablonen verursacht worden sein. Zusätzlich können auch die Laser oder die Gitter falsch platziert worden sein.

## Literatur

- [1] *Brechungsindex der Luft und anderer Stoffe*. URL: <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Brechungsindex>.
- [2] *Brechzahl und Lichtgeschwindigkeit*. 2022. URL: <https://www.formel-sammlung.de/formel-Brechzahl-und-Lichtgeschwindigkeit-3-25-135.html>.
- [3] *V404: Reflexion, Brechung und Beugung*. TU Dortmund, Fakultät Physik.