

V400

Reflexion, Brechung und Beugung

Fritz Agildere
fritz.agildere@udo.edu

Amelie Strathmann
amelie.strathmann@udo.edu

Durchführung: 30. Mai 2023

Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	2
2 Theorie	2
2.1 Strahlenoptik	2
2.1.1 Reflexion	2
2.1.2 Brechung	3
2.1.3 Reflexion und Transmission	4
2.2 Wellenoptik.....	4
2.2.1 Beugung am Einzelspalt	5
2.2.2 Beugung am Gitter.....	5
3 Durchführung	6
4 Auswertung	6
4.1 Reflexion	6
4.2 Brechung	7
4.3 Strahlversatz	8
4.4 Dispersion	9
4.5 Beugung	10
5 Diskussion	11
Literatur	11
Anhang	12

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es, grundlegende Gesetzmäßigkeiten der Strahlenoptik und der Wellenoptik zu untersuchen.

2 Theorie

Im Folgenden werden elementare Begriffe der Strahlen- und der Wellenoptik eingeführt und erläutert.

Licht ist eine Form der elektromagnetischen Strahlung. Das optische Spektrum erstreckt sich von ultraviolettem Licht, welches in einem Wellenlängenbereich von 100 nm bis 380 nm vorkommt und reicht bis in das Infrarotspektrum, welches den Wellenlängenbereich von 780 nm bis 1 mm hat. Das für den Menschen sichtbare Licht ist dabei in dem Wellenlängenbereich von 380 nm bis 780 nm.

2.1 Strahlenoptik

Für die Beschreibung von Reflexion und Brechung an Grenzflächen können die Regeln der Strahlenoptik angewandt werden. Dabei wird die Wellenausbreitung über die Normalen der Wellenflächen beschrieben. Diese wird als Lichtstrahl bezeichnet. Lichtstrahlen breiten sich in einem homogenen Medium geradlinig aus. Wenn sich zwei oder mehr Lichtstrahlen kreuzen haben diese keine Einflüsse aufeinander. Für unterschiedliche Materialien ist auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle anders. Daher wird beim Übergang von einem Medium in ein anderes die Welle gebrochen. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeiten v_1 und v_2 ergibt sich die Beziehung

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_1}{n_2}. \quad (1)$$

Dabei beschreibt der Winkel α den Einfallswinkel und β den Ausfallswinkel, beide Winkel werden zur Normalen der Grenzfläche gemessen. n ist der Brechungsindex, welcher eine optische Materialeigenschaft ist. Wenn die Ausbreitungsgeschwindigkeit in Medium 1 größer ist als die in Medium 2, wird das Medium 1 als optisch dünner bezeichnet. Andersherum ist das Medium 1 optisch dicker.

2.1.1 Reflexion

Für einen reflektierten Lichtstrahl, welche in Abbildung 1 zu sehen ist, gilt

$$\alpha_1 = \alpha_2 \quad (2)$$

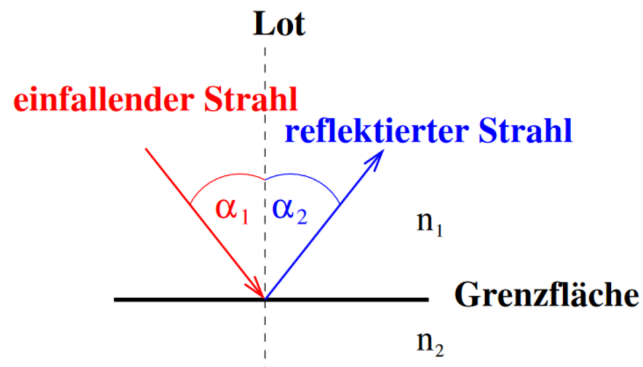


Abbildung 1: Reflexion an einer Grenzfläche. [1]

2.1.2 Brechung

Wenn ein Lichtstrahl auf ein anderes Medium mit dem Brechungsindex n trifft, ändert sich die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichtstrahls in diesem. Der Lichtstrahl erfährt einen Richtungswechsel, sobald diese an der Grenzfläche auftrifft. Diese Richtungsänderung wird als Brechung bezeichnet, dies ist in Abbildung 2 dargestellt. Es gilt das Gesetz nach Snellius

$$n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2. \quad (3)$$

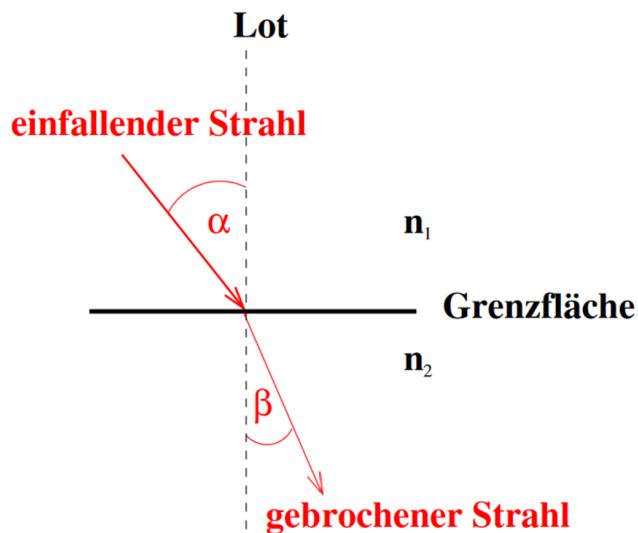


Abbildung 2: Brechung an einer Grenzfläche. [1]

2.1.3 Reflexion und Transmission

Normalerweise wird ein Lichtstrahl an einer Grenzfläche nicht ausschließlich reflektiert beziehungsweise gebrochen. Daher wird ein Teil der Intensität R reflektiert und der andere Teil T wird gebrochen und transmittiert. Siehe Abbildung 3 Es gilt immer $R + T = 1$.

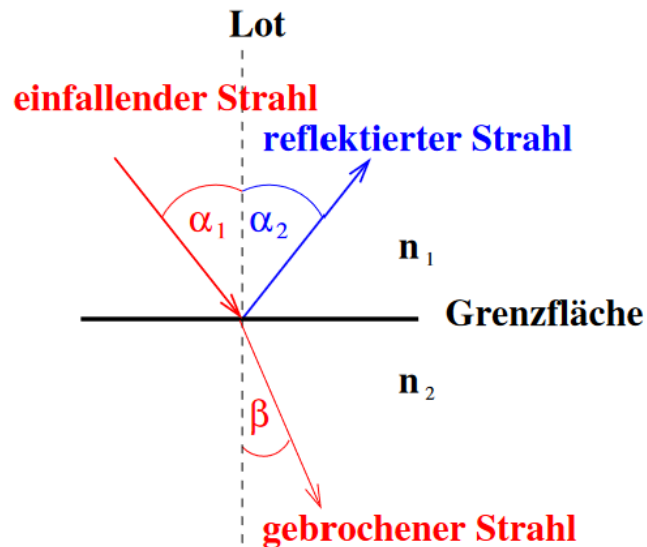


Abbildung 3: Reflexion und Transmission an einer Grenzfläche. [1]

2.2 Wellenoptik

Es kann beobachtet werden, dass Licht sich im Schattenraum ausbreitet, wenn dieses auf ein Hindernis trifft. Dieses Phänomen wird als Beugung bezeichnet und kann nicht mit der Strahlenoptik erklärt werden. Daher wird für die Erklärung die Wellenoptik herangezogen. Charakteristisch für eine elektromagnetische Welle ist die Frequenz ν und die Wellenlänge λ und die Ausbreitungsgeschwindigkeit v der Welle. Bei der Überlagerung von zwei oder mehreren Wellen, kommt es zur Superposition derer Amplituden. Licht besteht aus vielen Wellenzügen, wenn diese Wellenzüge dieselbe Frequenz und eine feste Phasenbeziehung haben, kommt es zu einem Interferenzbild. Je nach Phasenbeziehung kommt es zu einer Verstärkung, also einer konstruktiven Interferenz oder zu einer Abschwächung, einer destruktiven Interferenz. Zwei Wellen löschen sich vollkommen aus, wenn der Gangunterschied $\lambda/2$ ist und die Intensitäten gleich sind. Die Ausbreitung einer Welle wird über das Huygensche Prinzip konstruiert. Dieses besagt, dass jeder Punkt einer Welle der Ausgangspunkt einer Elementarwelle gleicher Frequenz ist. Außerdem ist die Einhüllende aller Sekundarwellen zu einem späteren Zeitpunkt die neue Position der Wellenfront.

2.2.1 Beugung am Einzelspalt

Trifft eine Wellenfront auf einen Spalt mit der Spaltbreite a , so werden alle Punkte dieser an der Spaltöffnung gebeugt. Für die gebeugten Wellen gilt die gleiche Frequenz und die gleiche Phasenbeziehung. In einem Abstand L wird ein Schirm platziert. Auf diesem können dunkle und helle Interferenzstreifen beobachtet werden. Für die hellen Maxima kann gesagt werden, dass diese an Stellen auftreten, für die gilt

$$a \sin \alpha = k\lambda. \quad (4)$$

2.2.2 Beugung am Gitter

Ein Mehrfachspalt oder auch Gitter genannt, besteht aus N -Einfachspalten gleicher Breite. Fällt eine Wellenfront senkrecht auf ein Strichgitter mit der Gitterkonstante d , können Bedingungen für Intensitätsminima und Intensitätsmaxima aufgestellt werden. Für die Intensitätsmaxima k -ter Ordnung gilt

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

3 Durchführung

4 Auswertung

4.1 Reflexion

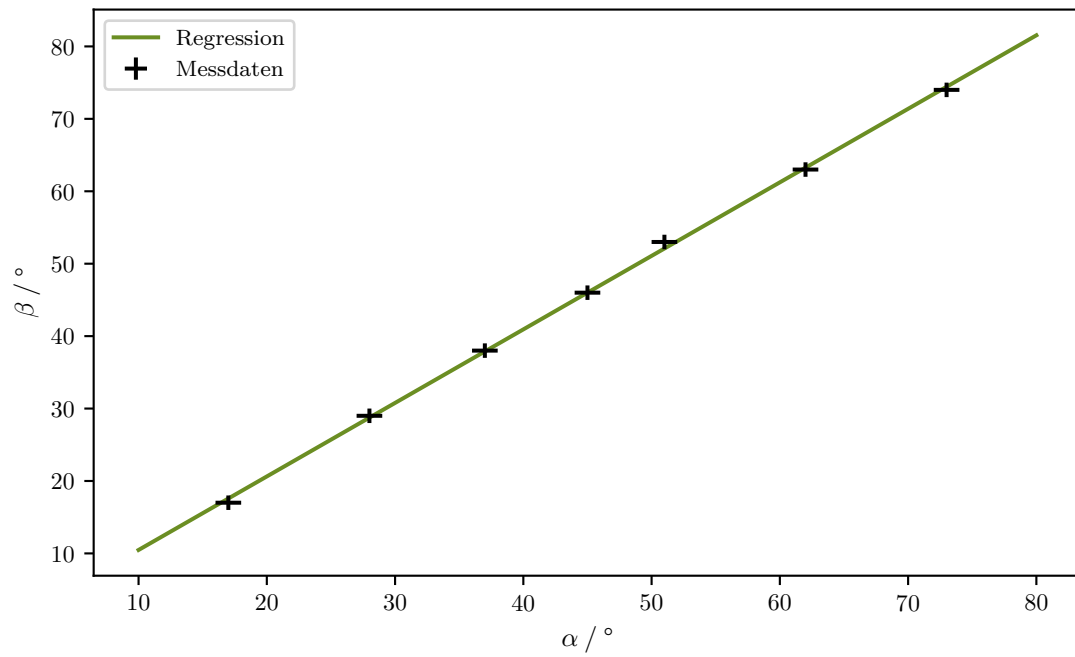


Abbildung 4

$$\beta = \alpha$$

$$\beta = A\alpha + B$$

$$A = 1,015 \pm 0,012$$

$$B = 0,323 \pm 0,554$$

Tabelle 1

$\alpha / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	β/α
73 ± 1	74 ± 1	$1,014 \pm 0,020$
62 ± 1	63 ± 1	$1,016 \pm 0,023$
51 ± 1	53 ± 1	$1,039 \pm 0,028$
45 ± 1	46 ± 1	$1,022 \pm 0,032$
37 ± 1	38 ± 1	$1,027 \pm 0,039$
28 ± 1	29 ± 1	$1,036 \pm 0,051$
17 ± 1	17 ± 1	$1,000 \pm 0,083$

$$\beta/\alpha = 1,022 \pm 0,068$$

4.2 Brechung

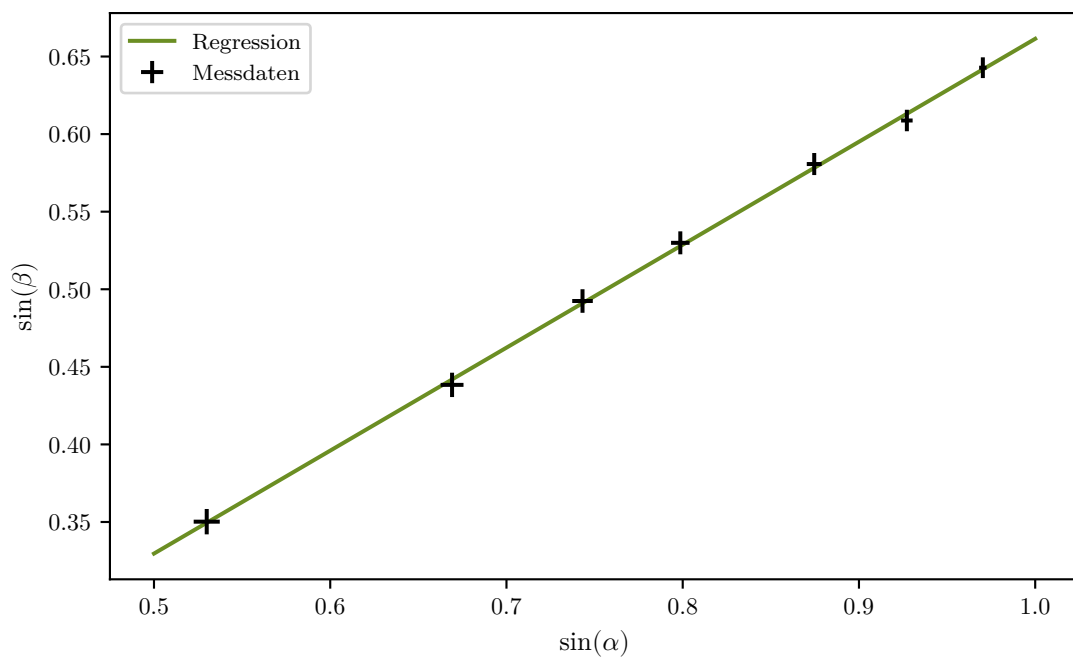


Abbildung 5

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

$$\sin(\beta) = A \sin(\alpha) + B$$

$$A = 0,664 \pm 0,008$$

$$B = -0,002 \pm 0,006$$

$$n = 1,507 \pm 0,018$$

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

$$c = (1,989 \pm 0,024) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Tabelle 2

$\alpha / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	n
76	$40,0 \pm 0,5$	$1,510 \pm 0,016$
68	$37,5 \pm 0,5$	$1,523 \pm 0,018$
61	$35,5 \pm 0,5$	$1,506 \pm 0,020$
53	$32,0 \pm 0,5$	$1,507 \pm 0,023$
48	$29,5 \pm 0,5$	$1,509 \pm 0,026$
42	$26,0 \pm 0,5$	$1,526 \pm 0,031$
32	$20,5 \pm 0,5$	$1,513 \pm 0,041$

$$n = 1,513 \pm 0,057$$

$$c = (1,981 \pm 0,075) \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

4.3 Strahlversatz

$$d = 5,85 \text{ cm}$$

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

$$n = 1,509 \pm 0,117$$

Tabelle 3

$\alpha / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	$\hat{\beta} / ^\circ$	s / cm	\hat{s} / cm
76	$40,0 \pm 0,5$	$40,0 \pm 3,7$	$4,49 \pm 0,06$	$4,49 \pm 0,17$
68	$37,5 \pm 0,5$	$37,9 \pm 3,5$	$3,74 \pm 0,06$	$3,72 \pm 0,22$
61	$35,5 \pm 0,5$	$35,4 \pm 3,2$	$3,09 \pm 0,07$	$3,10 \pm 0,24$
53	$32,0 \pm 0,5$	$32,0 \pm 2,8$	$2,47 \pm 0,07$	$2,47 \pm 0,24$
48	$29,5 \pm 0,5$	$29,5 \pm 2,5$	$2,13 \pm 0,07$	$2,13 \pm 0,23$
42	$26,0 \pm 0,5$	$26,3 \pm 2,2$	$1,79 \pm 0,07$	$1,76 \pm 0,21$
32	$20,5 \pm 0,5$	$20,6 \pm 1,7$	$1,25 \pm 0,07$	$1,24 \pm 0,17$

4.4 Dispersion

$$n = 1,510$$

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

$$\sin(\alpha) = n \sin(\beta)$$

$$\gamma = \beta_1 + \beta_2$$

Tabelle 4

$\alpha_1 / ^\circ$	$\beta_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$\beta_2 / ^\circ$	$\beta_1 + \beta_2 / ^\circ$	$\delta_G / ^\circ$
35 ± 1	$22,3 \pm 0,6$	66 ± 1	$37,2 \pm 0,3$	$59,6 \pm 0,7$	$41,4 \pm 0,8$
42 ± 1	$26,3 \pm 0,5$	57 ± 1	$33,7 \pm 0,4$	$60,0 \pm 0,7$	$39,0 \pm 0,7$
49 ± 1	$30,0 \pm 0,5$	48 ± 1	$29,5 \pm 0,5$	$59,5 \pm 0,7$	$37,5 \pm 0,7$
54 ± 1	$32,4 \pm 0,5$	42 ± 1	$26,3 \pm 0,5$	$58,7 \pm 0,7$	$37,3 \pm 0,7$
67 ± 1	$37,6 \pm 0,3$	33 ± 1	$21,1 \pm 0,6$	$58,7 \pm 0,7$	$41,3 \pm 0,8$

$$\delta_G = (39,2 \pm 0,4)^\circ$$

Tabelle 5

$\alpha_1 / ^\circ$	$\beta_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$	$\beta_2 / ^\circ$	$\beta_1 + \beta_2 / ^\circ$	$\delta_R / ^\circ$
35 ± 1	$22,3 \pm 0,6$	65 ± 1	$36,9 \pm 0,3$	$59,2 \pm 0,7$	$40,8 \pm 0,8$
42 ± 1	$26,3 \pm 0,5$	56 ± 1	$33,3 \pm 0,4$	$59,6 \pm 0,7$	$38,4 \pm 0,7$
49 ± 1	$30,0 \pm 0,5$	48 ± 1	$29,5 \pm 0,5$	$59,5 \pm 0,7$	$37,5 \pm 0,7$
54 ± 1	$32,4 \pm 0,5$	41 ± 1	$25,8 \pm 0,6$	$58,1 \pm 0,7$	$36,9 \pm 0,7$
67 ± 1	$37,6 \pm 0,3$	32 ± 1	$20,5 \pm 0,6$	$58,1 \pm 0,7$	$40,9 \pm 0,8$

$$\delta_R = (38,8 \pm 0,4)^\circ$$

4.5 Beugung

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

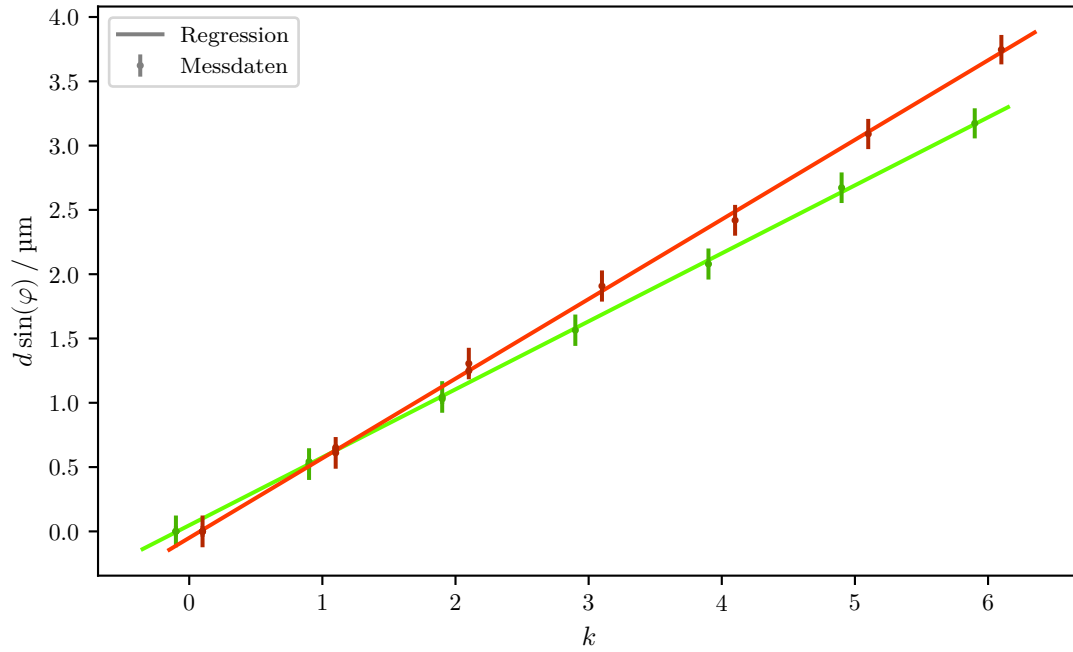


Abbildung 6

$$d \sin(\varphi) = \lambda k + A$$

$$\lambda_G = (529 \pm 3) \text{ nm}$$

$$A_G = (-6 \pm 8) \text{ nm}$$

$$\lambda_R = (619 \pm 5) \text{ nm}$$

$$A_R = (12 \pm 14) \text{ nm}$$

Tabelle 6

$d / \mu\text{m}$	k	$\varphi / ^\circ$		λ_G / nm	
1,67	1	19 ± 1	19 ± 1	543 ± 28	543 ± 28
3,33	1	9 ± 1	9 ± 1	521 ± 57	521 ± 57
3,33	2	18 ± 1	18 ± 1	515 ± 28	515 ± 28
10,00	1	3 ± 1	3 ± 1	523 ± 174	523 ± 174
10,00	2	6 ± 1	6 ± 1	523 ± 87	523 ± 87
10,00	3	9 ± 1	9 ± 1	521 ± 57	521 ± 57
10,00	4	12 ± 1	12 ± 1	520 ± 43	520 ± 43
10,00	5	16 ± 1	15 ± 1	551 ± 34	518 ± 34
10,00	6	18 ± 1	19 ± 1	515 ± 28	543 ± 28

$$\lambda_G = (527 \pm 2) \text{ nm}$$

Tabelle 7

$d / \mu\text{m}$	k	$\varphi / ^\circ$		λ_R / nm	
1,67	1	23 ± 1	23 ± 1	651 ± 27	651 ± 27
3,33	1	11 ± 1	11 ± 1	636 ± 57	636 ± 57
3,33	2	22 ± 1	22 ± 1	624 ± 27	624 ± 27
10,00	1	3 ± 1	4 ± 1	523 ± 174	698 ± 174
10,00	2	7 ± 1	8 ± 1	609 ± 87	696 ± 86
10,00	3	11 ± 1	11 ± 1	636 ± 57	636 ± 57
10,00	4	14 ± 1	14 ± 1	605 ± 42	605 ± 42
10,00	5	18 ± 1	18 ± 1	618 ± 33	618 ± 33
10,00	6	22 ± 1	22 ± 1	624 ± 27	624 ± 27

$$\lambda_R = (629 \pm 2) \text{ nm}$$

5 Diskussion

Literatur

- [1] *Anleitung zu Versuch 400, Reflexion, Brechung und Beugung.* TU Dortmund, Fakultät Physik. 2023.

Anhang