

V400

Reflexion, Brechung und Beugung

Umut Aydinli
umut.aydinli@tu-dortmund.de

Muhammed-Sinan Demir
sinan.demir@tu-dortmund.de

Durchführung: 24.05.2022

Abgabe: 31.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Strahlenoptik	3
2.2 Reflexion	3
2.3 Brechung	4
2.4 Reflexion und Transmission	4
2.5 Wellenoptik	5
2.6 Beugung am Gitter	5
3 Vorbereitungsaufgabe	6
4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	6
4.1 Reflexionsgesetz	8
4.2 Brechungsgesetz	8
4.3 Prisma	8
4.4 Beugung am Gitter	8
5 Auswertung	9
5.1 Reflexionsgesetz	9
5.2 Brechungsgesetz und Strahlversatz	9
5.3 Brechung am Prisma	10
5.4 Beugung am Gitter	11
6 Diskussion	12
7 Anhang	14
Literatur	15

1 Zielsetzung

In dem Versuch V400 geht es um die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Strahlenoptik, wobei diese mithilfe von verschiedenen Versuchen veranschaulicht und kennengelernt werden.

2 Theorie

Licht besteht aus elektromagnetischen Wellen und ist somit durch die Maxwell Gleichungen beschreibbar. Licht, welches im sichtbaren Bereich liegt, hat eine Wellenlänge zwischen 380nm und 780nm. Das Ultraviolette Spektrum liegt unter den 380nm bzw. zwischen 100nm und 380nm, wobei das Infrarotspektrum über den 780nm liegt, genauer gesagt zwischen 780nm und 1mm

2.1 Strahlenoptik

Die Wellennormale beschreibt in der Strahlenoptik die Ausbreitung der Welle. Dabei ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit unterschiedlich groß, welches von dem Material abhängt. Beim Auftreffen eines Lichtstrahles auf die Grenzfläche eines Mediums wird der Lichtstrahl gebrochen. Dabei entstehen zwei Ausbreitungsgeschwindigkeiten, v_1 und v_2 , die durch die beiden Brechungsindizes der Medien, n_1 und n_2 , sowie durch den Einfallswinkel α und Brechungswinkel β beschrieben werden können

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

Luft ist ebenfalls ein Medium, dessen Ausbreitungsgeschwindigkeit bei $v_1 = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ liegt und einen Brechungsindex von $n_1 = 1,000292$ besitzt. Das Medium, in welchen die Ausbreitungsgeschwindigkeit des Lichts größer ist als in dem anderen Medium, gilt als optisch dichteres Medium. Dadurch gilt, dass bei geringerer Ausbreitungsgeschwindigkeit von einem optisch dünneren Medium gesprochen wird.

(2)

2.2 Reflexion

Das Reflexionsgesetz besagt, dass wenn ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche auftrifft und reflektiert wird, ist der Einfallswinkel gleich dem Ausfallswinkel

$$\alpha_1 = \alpha_2. \quad (3)$$

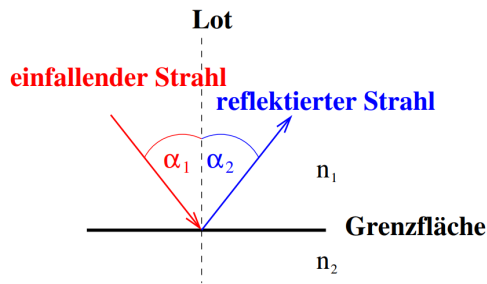


Abbildung 1: Das reflektieren eines Lichtstrahles [1].

2.3 Brechung

Brechung des Lichtes wird mit dem Snellius Gesetz erklärt, welches besagt, dass beim Auftreffen eines Lichtstrahl auf ein anderes Medium mit einem Brechungsindex n , dieser gebrochen wird. Dadurch wird der Ausfallswinkel als β beschrieben

$$n_1 \sin(\alpha) = n_2 \sin(\beta) . \quad (4)$$

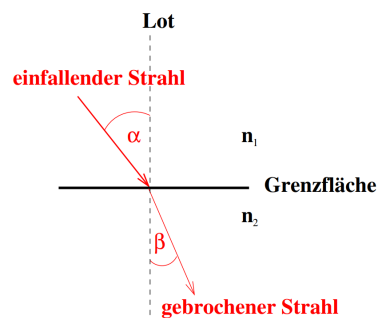


Abbildung 2: Das brechen eines Lichtstrahles [1].

2.4 Reflexion und Transmission

Oft wird Licht nicht vollständig reflektiert, wenn es auf die Grenzfläche eines Mediums trifft. Der Teil des Lichtstrahles, der nicht reflektiert wird, wird transmittiert bzw. gebrochen. Dabei gilt das der Teil der reflektiert wird und der Teil der gebrochen wird, zusammen 1 ergibt

$$R + T = 1 .$$

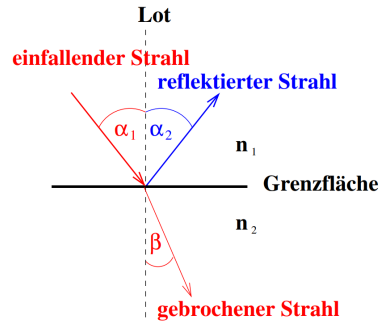


Abbildung 3: Das reflektieren und brechen eines Lichtstrahles [1].

2.5 Wellenoptik

Beim Auftreffen des Lichtes auf ein Objekt, welches im Verhältnis zur Wellenlänge klein ist, breitet sich dieses auch im Schattenraum aus, da die geometrische Optik dafür nicht mehr ausreicht. Dabei sind Frequenz f , Wellenlänge λ und Ausbreitungsgeschwindigkeit v , charakteristische Merkmale einer Welle, dessen Wellenzüge nicht länger als 10^{-8} s dauern. Durch eine Superposition der Wellen können dennoch Interferenzbilder entstehen, wobei unter konstruktiver und destruktiver Interferenz unterschieden wird. Beträgt der Gangunterschied bei gleicher Intensität $\lambda/2$, führt dies zu einer vollständigen Auslöschung der Welle.

2.6 Beugung am Gitter

Liegt bei der Ausbreiten der Lichtwelle ein Hindernis auf dem Weg, welches im Vergleich zur Wellenlänge klein ist, so kann es zu einer Beugung führen. Das Huygenssche Prinzip beschreibt diese Ausbreitung und besagt, dass jeder Punkt auf einer Wellenfront eine neue Elementarwelle, welche die gleiche Frequenz hat, erzeugt. Befindet sich nun ein Spalt im Abstand L mit einem Schirm dahinter, wird ein Interferenzmuster beobachtbar. Die dabei entstehenden Interferenzmaxima ergeben sich durch

$$a \sin(\alpha) = k \lambda, \quad (5)$$

wobei a die Spaltbreite, k das k -te Intensitätsminimum und λ die Wellenlänge darstellt. Diese Intensitätsminima befindet sich in einem Winkel von α relativ zur geradlinigen Ausbreitungsrichtung. Dieses Prinzip lässt sich auf ein Strichgitter mit n -Einfachspalten gleicher Breite, mit der Gitterkonstante d , übernehmen. Dadurch ergibt sich für die Interferenzmaxima k -ter Ordnung die Beziehung

$$d \sin(\alpha) = k \lambda. \quad (6)$$

3 Vorbereitungsaufgabe

Bei der ersten Vorbereitungsaufgabe sollen die Literaturwerte für die Brechungsindizes, in der Tabelle 1 gelisteten, Materialien recherchiert werden. [2]

Tabelle 1: Brechungsindizes der Materialien

Material	Brechungsindex n
Luft	1,00027461
Wasser	1,3150
Kronglas	1,52
Plexiglas	1,48999
Diamant	2,3866

Bei der zweiten Vorbereitungsaufgabe sollen die Gitterkonstante d für die unten aufgelisteten Gitter berechnet werden

$$600 \text{ Linien / mm} \Rightarrow d = \frac{1}{600} \mu\text{m},$$

$$300 \text{ Linien / mm} \Rightarrow d = \frac{1}{300} \mu\text{m},$$

$$100 \text{ Linien / mm} \Rightarrow d = \frac{1}{100} \mu\text{m}.$$

4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau besteht hauptsächlich aus einer transparenten Grundplatte, an welcher ein Reflektionsschirm sowie ein verschiebbarer Laser angebracht ist. Unter dieser Grundplatte befindet sich eine Winkelscheibe um den Laser entsprechend einzustellen. Zusehen ist dies in Abbildung 4.

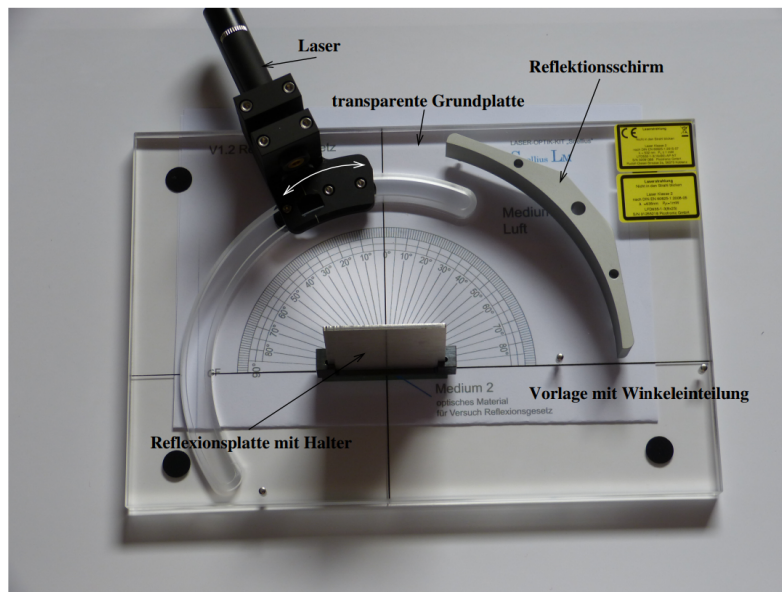


Abbildung 4: Transparente Grundplatte mit Laser und Reflektionsschirm [1].

Der Laser besteht dabei aus zwei Strahlen. Der grüne Laser ist der untere und emittiert grünes Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$. Der rote Laser ist der obere und emittiert rotes Licht mit der Wellenlänge $\lambda = 635 \text{ nm}$. In der Mitte bzw. über die Platte verteilt befinden sich kleine Halterungen für die jeweiligen Elemente. Verwendet werden ebenso optische Elemente die für die Überprüfung bzw. Beobachtung der optischen Phänomene wichtig sind. Zusehen sind diese in der Abbildung 5

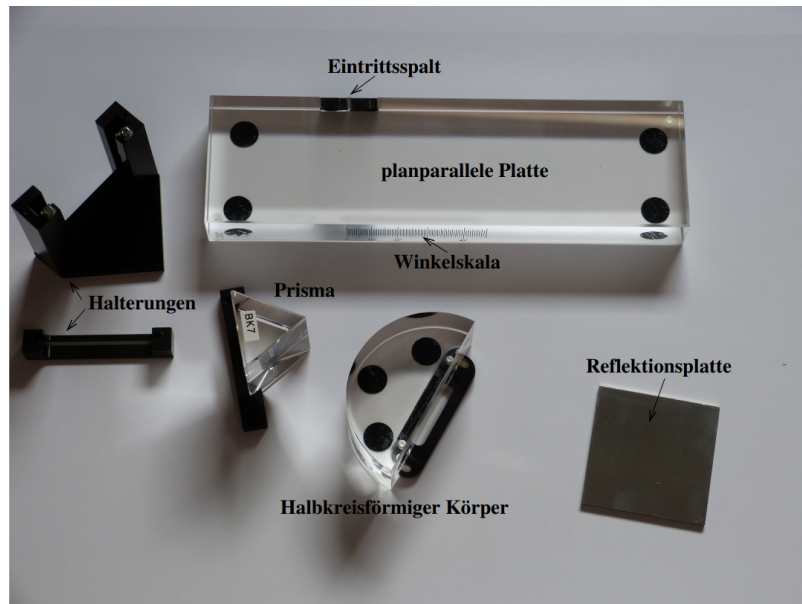


Abbildung 5: Die im Versuch verwendeten optischen Elemente [1].

4.1 Reflexionsgesetz

Eine Reflektionsplatte wird in der Mitte angebracht und der grüne Laser wird benutzt. Danach werden für sieben verschiedenen Einfallswinkel α_1 der dazugehörige Ausfallswinkel α_2 abgelesen und notiert.

4.2 Brechungsgesetz

Als nächstes wird die Reflektionsplatte durch eine planparallele Platte ersetzt. Wichtig dabei ist, dass der markierte Eintrittsspalt in Richtung des Lasers ausgerichtet ist. Es wird immer noch der grüne Laser verwendet. Im folgenden werden für sieben verschiedene Einfallswinkel α die dazugehörigen Brechungswinkel β abgelesen und notiert.

4.3 Prisma

Nun wird die planparallele Platte durch ein Prisma und die Winkelvorlage durch eine bessere Winkelvorlage ersetzt. Diesmal werden beide Laser verwendet. Der Einfallswinkel α_1 für den Laser wird für fünf verschiedene Winkel, im Bereich von 30° bis 60° , eingestellt und die dabei entstehenden Austrittswinkel α_2 gemessen.

4.4 Beugung am Gitter

Als letztes wird das Prisma durch ein Gitter in einer Halterung gewechselt. Dieses Gitter wird jedoch nicht auf der transparenten Grundplatte platziert, sondern am Rand der

Platte vor dem Laser, damit beide Laserstrahlen durch das Gitter laufen. Danach werden für beide Laserstrahlen die Beugungsmaxima aller drei Gitter gemessen.

5 Auswertung

5.1 Reflexionsgesetz

Das Reflexionsgesetz wird untersucht. Dabei wird der Lichtstrahl, welcher sich an der Grenzfläche reflektieren sollte untersucht. Dazu wurden sieben Einfallswinkel α_1 an den Reflexionswinkel α_2 , in Tabelle 2 aufgenommen.

Tabelle 2: Die Messwerte zur Untersuchung des Reflexionsgesetzes.

$\alpha_1 / ^\circ$	$\alpha_2 / ^\circ$
70	69,5
60	60
50	49,5
40	40
35	35
30	30
20	20

5.2 Brechungsgesetz und Strahlversatz

Sobald ein Lichtstrahl von einem optisch dünneren Medium in ein optisch dichteres Medium übergeht, so wird der Lichtstrahl zum Lot hin gebrochen. Das Brechungsgesetz lautet

$$\frac{\sin(\alpha)}{\sin(\beta)} = n, \quad (7)$$

mit $n_1 = n$ und $n_2 = n$, wenn das optisch dünnere Medium Luft ist. In der Tabelle 3 wurden sieben Einfallswinkel α mit den Brechungswinkel β aufgenommen, ebenso den Strahlversatz s des Lichtstrahls. Der Strahlversatz, welcher sich durch die Formel

$$s = d \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos(\beta)}, \quad (8)$$

berechnen lässt erfolgt wenn ein Teil des Lichtstrahls durch die planparallele Platte hindurch geht und an beiden Grenzflächen gebrochen wird. Dabei wird die Richtung erhalten. Der Abstand der Grenzflächen beträgt $d = 0,0585 \text{ m}$. Die Werte der Brechungsindizes n werden nach den Formeln

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (9)$$

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (10)$$

gemittelt und die dazugehörige Abweichung bestimmt.

Tabelle 3: Die Messwerte der Brechungsindizes und die Strahlversetzungen.

$\alpha / ^\circ$	$\beta / ^\circ$	n	s
70	39,0	1,49	0,038
60	35,5	1,49	0,029
50	30,5	1,50	0,022
40	25,5	1,49	0,016
35	22,5	1,49	0,013
30	19,5	1,49	0,011
20	13,5	1,46	0,006

Daraus folgt für den Brechungsindex

$$n = (1,4871 \pm 0,0116).$$

Somit beträgt die Geschwindigkeit im Plexiglas nach der Formel (1)

$$v = 2,0159 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

5.3 Brechung am Prisma

Ein Prisma wird durch nicht parallele Flächen begrenzt. Beim Durchgang durch das Prisma erfährt der Strahl die Ablenkung δ , mit

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

Der Einfallswinkel α_1 und der Austrittswinkel α_2 werden gemessen. Die Winkel β_1 und β_2 werden über das Brechungsgesetz $\sin(\alpha) = n \cdot \sin(\beta)$ und die Winkelbeziehung $\beta_1 + \beta_2 = \gamma$ hergeleitet. Gewählt wird ein Winkelbereich von $10^\circ \leq \alpha_1 \leq 60^\circ$ und das Prisma hat einen brechenden Winkel von $\gamma = 60^\circ$. Der Brechungsindex beträgt $n_{\text{theo, Kronglas}} = 1,52$.

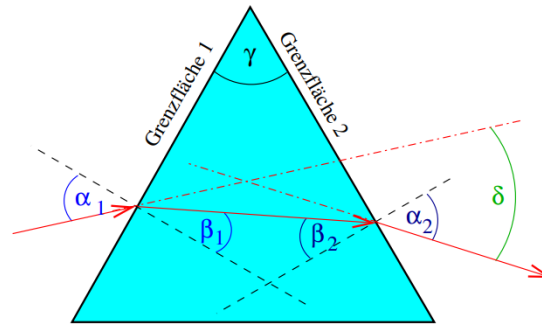


Abbildung 6: Brechung am Prisma [1].

Tabelle 4: Messdaten und Berechnungen am Prisma.

$\alpha_{1,\text{rot}} / ^\circ$	$\alpha_{2,\text{rot}} / ^\circ$	$\alpha_{1,\text{grün}} / ^\circ$	$\alpha_{2,\text{grün}} / ^\circ$	$\beta_{1,\text{grün,rot}} / ^\circ$	$\beta_{1,\text{grün,rot}} / ^\circ$	$\delta_{\text{grün}} / ^\circ$	$\delta_{\text{rot}} / ^\circ$
30	79,5	30	81,0	19,20	40,80	51,0	49,5
35	68,2	35	69,0	22,16	37,84	44,0	43,2
40	60,1	40	60,8	25,01	34,99	40,8	40,1
45	53,7	45	54,3	27,72	32,28	39,3	38,7
50	48,2	50	48,8	30,26	29,74	38,8	38,2
60	39,4	60	39,8	34,73	25,27	39,8	39,4

5.4 Beugung am Gitter

Das Laserlicht trifft die Winkelskala des Transmissionsschirmes bei 0° . Die Ablenkwinkel φ können an der Winkelskala direkt abgelesen werden, da der Transmissionsschirm im Kreis um die Skala angeordnet wurde. Gemessen werden die Ablenkwinkel und jede Beugungsordnung k für drei Gitterkonstanten. Daraus leitet sich für die Wellenlänge

$$\lambda = d \frac{\sin(\varphi)}{k}. \quad (11)$$

Tabelle 5: Wellenlängen aus den Ablenkwinkel und Beugungsmaxima.

	$d = \frac{1}{600} \mu\text{m}$	$d = \frac{1}{300} \mu\text{m}$	$d = \frac{1}{100} \mu\text{m}$
	$\varphi / ^\circ$	$\varphi / ^\circ$	$\varphi / ^\circ$
roter Laser	23,2	34	14,6
	0,40	22	7,1
		10,8	3,6
		0,20	0
	$\rightarrow \lambda = 656 \text{ nm}$	$\rightarrow \lambda = 621 \text{ nm}$	$\rightarrow \lambda = 630 \text{ nm}$
grüner Laser	19,5	27,9	12
	0,3	23,2	8,9
		9	6,8
		0,1	2,9
			0,1
	$\rightarrow \lambda = 556 \text{ nm}$	$\rightarrow \lambda = 519 \text{ nm}$	$\rightarrow \lambda = 519 \text{ nm}$

6 Diskussion

Durch die Versuchsreihe wurden die grundlegenden Gesetzmäßigkeiten der Strahlenoptik verdeutlicht. Beim Reflexionsgesetz gilt die Voraussetzung $\alpha_1 = \alpha_2$. Die Messdaten bewiesen diese Bedingung, jedoch ergaben sich zwei Ungenauigkeiten, die wiederum auf einen mögliche Ablesefehler hindeuten.

Die relative Abweichung berechnet sich über

$$\frac{x_{\text{exp}} - x_{\text{theo}}}{x_{\text{theo}}} \cdot 100 = \text{prozentuale Abweichung}.$$

Der durch das Brechungsgesetz hergeleitete Brechungsindex liefert die folgende Abweichung

$$n_{\text{exp}} = (1,4871 \pm 0,0116) \quad n_{\text{Lit, Plex.}} = 1,48899 \quad [2]$$

$$\rightarrow 32,75\%$$

Die Abweichung ist sehr gering, somit stellt sich die Methode als erfolgreich dar. Durch die Brechung sollte die Anfangsgeschwindigkeit von $c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ größer sein als die Geschwindigkeit nach der Brechung. Die Voraussetzung $c_1 > c_2$ wurde erfüllt mit der Abweichung

$$c_2 = 2,0159 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad c_1 = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rightarrow 32,75\%$$

Wie erwartet verkleinert sich der Strahlversatz bei jeder Verkleinerung des Einfallswinkels. Die Berechnung am Prisma zeigte, dass sie bei fester Wellenlänge von Einfallswinkeln α_1 vom brechenden Winkel γ und von der Brechzahl n des Prismas abhängt. Der Unterschied ist, dass der Ablenkwinkel beim roten Laser minimal kleiner ist als beim grünen Laser.

Durch das Beugungsgitter konnten folgende Wellenlängen mit der Abweichung untersucht werden

Tabelle 6: Abweichung der Wellenlängen vom roten Laser

	$\lambda_{\text{Lit, rot}} = 638 \text{ nm}[1]$	Abweichung in %
$\alpha = 656 \text{ nm}$		2,8
$\alpha = 621 \text{ nm}$		2,6
$\alpha = 630 \text{ nm}$		1,2

Tabelle 7: Abweichung der Wellenlängen vom grünen Laser

	$\lambda_{\text{Lit, grün}} = 532 \text{ nm}[1]$	Abweichung in %
$\alpha = 556 \text{ nm}$		4,5
$\alpha = 519 \text{ nm}$		2,4
$\alpha = 519 \text{ nm}$		2,4

Die Abweichungen sind minimal zum Literaturwert. Dennoch fiel das Ablesen von dem Skala schwer, da die Vorlage richtig positioniert werden musste. Die Apparatur durfte keine Bewegung erfassen, da sonst sich die Skala verschoben hätte. Nichtsdestotrotz sind die Abweichungen bei allen Versuchen gering und somit erwiesen sich die Methoden als profitabel für das Kennenlernen der Gesetzmäßigkeiten der Strahlenoptik.

7 Anhang

V400						
A1	α_1	α_2	A2	α_1	A1	oben
1	70°	69,5		70	39	70
2	60	60		60	35,5	
3	50	49,5		50	30,5	
4	40	40		40	25,5	
5	35	35		35	22,5	
6	30	30		30	19,5	
7	20	20		20	13,5	

A3		grün	rot
		α_1 α_2	α_1 α_2
1.	30°	81	30° 79,5
2	35	69	35 68,2
3	40	60,8	40 60,1
4	45	54,3	45 53,7
5	50	48,8	50 48,2
6	60	39,8	60 39,4

A5		600 L/mm	300 L/mm	100 L/mm
rot	L	23,2	27,9 34	14,6
	M	0,4	22	10,8
	r	27	10,8	7,1
			0,2	3,6
grün	L	19,5	14,7	0,8 0
	M	0,3	22,1	3,8
	r	19,2	34,4	12,3
	L		27,9	12
	M		23,2	8,8
	r		9	6,8
			0,1	2,9
	L		18,5	0,1
	M		28,2	3,2
	r			6,3
				9,4

p. 14.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *V400 Reflexion, Brechung und Beugung*. 2022. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1930994/mod_resource/content/5/V400.pdf (besucht am 24.05.2022).
- [2] RefractiveIndex. 2022. URL: <https://refractiveindex.info/> (besucht am 24.05.2022).