

V407

Fresnelsche Formeln

Fritz Agildere
fritz.agildere@udo.edu

Amelie Strathmann
amelie.strathmann@udo.edu

Durchführung: 2. Mai 2023

Abgabe:

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	2
2 Theorie	2
3 Durchführung	4
4 Auswertung	4
4.1 Senkrechte Polarisisation	4
4.2 Parallele Polarisisation	7
5 Diskussion	9
Literatur	9
Anhang	10

1 Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es, die Intensität von einfallender Strahlung und an der SI-Oberfläche reflektierter Strahlung in Abhängigkeit des Einfallswinkels zu messen. Anschließend werden die experimentel bestimmten Werte mit den theoretischen Werten verglichen.

2 Theorie

Als Grundlage des Versuches dient die elektromagnetische Wellentheorie, wobei die Ausbreitung von Licht mit Hilfe der Maxwellschen Gleichungen

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{j} + \varepsilon \varepsilon_0 \partial_t \vec{E} \quad \text{und} \quad (1)$$

$$\nabla \times \vec{E} = -\mu \mu_0 \partial_t \vec{H} \quad (2)$$

beschrieben wird. Im folgenden werden nicht-ferromagnetische und nicht elektrisch leitende Materialien betrachtet, somit gilt $\mu \approx 1$ und $\vec{j} = 0$. Die elektrische und magnetische Arbeit

$$W_{\text{elektrisch}} := \frac{1}{2} \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}^2 \quad \text{und}$$

$$W_{\text{magnetisch}} := \frac{1}{2} \mu_0 \vec{H}^2$$

stellen den Zusammenhang zwischen Energie pro Volumeneinheit eines elektrischen beziehungsweise magnetischen Feldes dar. Der Poynting Vektor

$$\vec{S} = \vec{E} \times \vec{H} \quad \text{und} \quad (3)$$

$$|\vec{S}| = v \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}^2 \quad (4)$$

besitzt die Dimension Leistung/Fläche und stellt die Strahlungsleistung pro Flächeneinheit eines elektromagnetischen Feldes dar. Beim Einfallen einer Welle aus dem Vakuum auf eine Grenzfläche unter einem Winkel α , wird ein Bruchteil dieser reflektiert und der andere dringt in das Medium ein. Der Lichtstrahl, welcher in das Medium eindringt erfährt eine Richtungsänderung und wird so gebrochen, dass der Beugungswinkel $\beta < \alpha$ ist. Es werden nur nicht absorbierende Medien verwendet und es gilt somit

$$S_e F_e = S_r F_e + S_d F_d \quad \text{oder} \\ S_e \cos \alpha = S_r \cos \alpha + S_d \cos \beta.$$

Diese Gleichung kann umgeschrieben werden zu

$$c \varepsilon_0 \vec{E}_e^2 \cos \alpha = c \varepsilon_0 \vec{E}_r^2 \cos \alpha + v \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}_d^2 \cos \beta. \quad (5)$$

Für den Brechungsindex ergibt sich das Verhältnis

$$n = \frac{c}{v}. \quad (6)$$

Aus den Maxwell'schen Gleichungen (2) ergibt sich die Maxwell'sche Relation

$$n = \varepsilon^2. \quad (7)$$

Aus der Maxwell'schen Relation (7) und der Gleichung 5 ergibt sich

$$\left(\vec{E}_e^2 - \vec{E}_r^2\right) \cos \alpha = n \vec{E}_d^2 \cos \beta. \quad (8)$$

Die Polarisationsrichtung der einfallenden Welle \vec{E}_e relativ zur Einfallsebene ist entweder senkrecht polarisiert oder parallel polarisiert, sodass

$$\vec{E}_e = \vec{E}_\perp + \vec{E}_\parallel \quad (9)$$

gegeben ist. Zunächst wird die Polarisation senkrecht zur Einfallsebene betrachtet. Für den parallel polarisierten Teil \vec{E}_\parallel geht hervor, dass dieser tangential zur Grenzfläche schwingt. In der Abbildung 1 wird die Reflexion eines Lichtstrahls an einer Grenzfläche dargestellt.

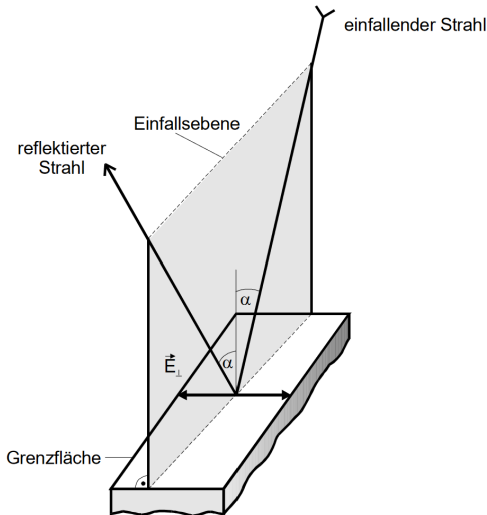


Abbildung 1: Reflexion und Brechung des senkrecht polarisierten Lichtstrahls. [1]

Da die Beträge der \vec{E}_\perp gleich ihren Tangentialkomponenten sind und keine Normalkomponente vorhanden ist kann aus den Stetigkeitsbedingungen die Beziehung

$$\vec{E}_{e\perp} + \vec{E}_{r\perp} = \vec{E}_{d\perp}$$

aufgestellt werden. Zusammen mit dem Snellius Brechungsgesetz

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (10)$$

ergeb sich die Fresnel Formeln

3 Durchführung

4 Auswertung

4.1 Senkrechte Polarisation

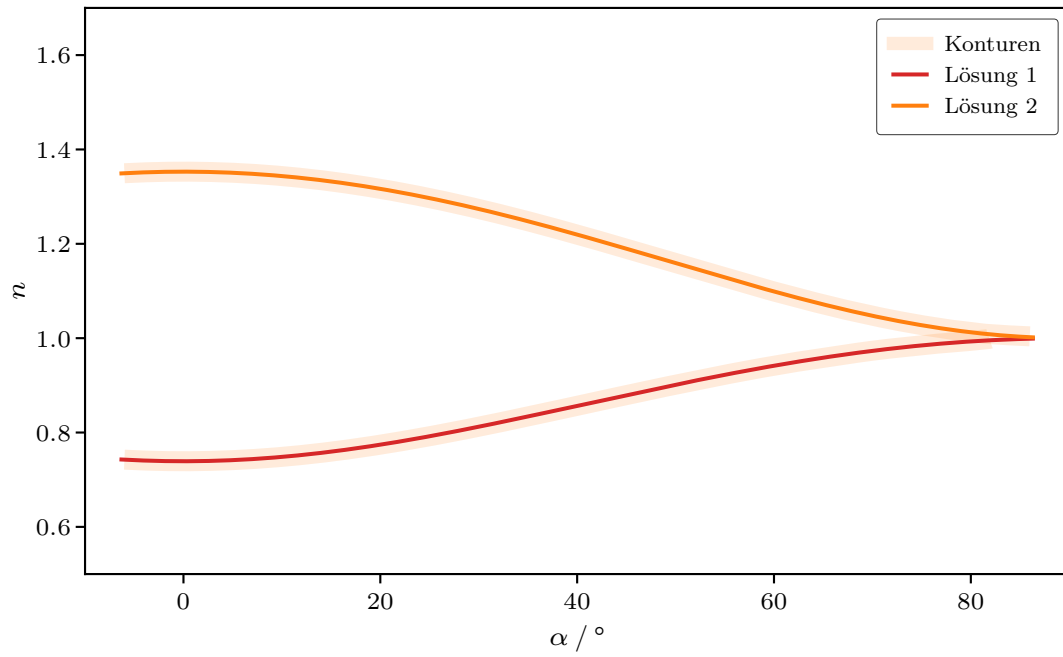


Abbildung 2

Tabelle 1

$\alpha / ^\circ$	$I / \mu\text{A}$	I/I_0	n	$\alpha / ^\circ$	$I / \mu\text{A}$	I/I_0	n
6	70 ± 2	$0,143 \pm 0,007$	$2,206 \pm 0,048$	44	100 ± 20	$0,204 \pm 0,042$	$2,027 \pm 0,207$
8	70 ± 2	$0,143 \pm 0,007$	$2,198 \pm 0,048$	46	100 ± 20	$0,204 \pm 0,042$	$1,975 \pm 0,198$
10	71 ± 2	$0,145 \pm 0,007$	$2,202 \pm 0,048$	48	100 ± 20	$0,204 \pm 0,042$	$1,921 \pm 0,189$
12	72 ± 2	$0,147 \pm 0,007$	$2,204 \pm 0,048$	50	110 ± 20	$0,224 \pm 0,042$	$1,957 \pm 0,189$
14	72 ± 2	$0,147 \pm 0,007$	$2,190 \pm 0,048$	52	110 ± 20	$0,224 \pm 0,042$	$1,896 \pm 0,179$
16	76 ± 2	$0,155 \pm 0,008$	$2,227 \pm 0,050$	54	110 ± 20	$0,224 \pm 0,042$	$1,834 \pm 0,168$
18	77 ± 2	$0,157 \pm 0,008$	$2,222 \pm 0,050$	56	120 ± 20	$0,245 \pm 0,042$	$1,851 \pm 0,166$
20	78 ± 2	$0,159 \pm 0,008$	$2,214 \pm 0,049$	58	110 ± 20	$0,224 \pm 0,042$	$1,709 \pm 0,147$
22	80 ± 2	$0,163 \pm 0,008$	$2,216 \pm 0,050$	60	120 ± 20	$0,245 \pm 0,042$	$1,714 \pm 0,144$
24	81 ± 2	$0,165 \pm 0,008$	$2,203 \pm 0,049$	62	120 ± 20	$0,245 \pm 0,042$	$1,646 \pm 0,132$
26	83 ± 2	$0,169 \pm 0,008$	$2,200 \pm 0,050$	64	140 ± 20	$0,286 \pm 0,042$	$1,702 \pm 0,136$
28	84 ± 2	$0,171 \pm 0,008$	$2,182 \pm 0,049$	66	130 ± 20	$0,265 \pm 0,042$	$1,565 \pm 0,115$
30	85 ± 2	$0,173 \pm 0,008$	$2,161 \pm 0,049$	68	140 ± 20	$0,286 \pm 0,042$	$1,544 \pm 0,110$
32	89 ± 2	$0,182 \pm 0,008$	$2,173 \pm 0,050$	70	150 ± 20	$0,306 \pm 0,043$	$1,516 \pm 0,104$
34	90 ± 2	$0,184 \pm 0,009$	$2,147 \pm 0,049$	72	160 ± 20	$0,327 \pm 0,043$	$1,479 \pm 0,097$
36	92 ± 2	$0,188 \pm 0,009$	$2,129 \pm 0,049$	74	160 ± 20	$0,327 \pm 0,043$	$1,395 \pm 0,082$
38	96 ± 2	$0,196 \pm 0,009$	$2,130 \pm 0,049$	76	170 ± 20	$0,347 \pm 0,043$	$1,348 \pm 0,073$
40	96 ± 2	$0,196 \pm 0,009$	$2,084 \pm 0,048$	78	180 ± 20	$0,367 \pm 0,043$	$1,294 \pm 0,063$
42	98 ± 2	$0,200 \pm 0,009$	$2,057 \pm 0,047$	80	180 ± 20	$0,367 \pm 0,043$	$1,213 \pm 0,047$
				82	190 ± 20	$0,388 \pm 0,044$	$1,157 \pm 0,036$
				84	190 ± 20	$0,388 \pm 0,044$	$1,091 \pm 0,021$
				86	200 ± 20	$0,408 \pm 0,044$	$1,047 \pm 0,011$

$$n = 1,523 \pm 0,022$$

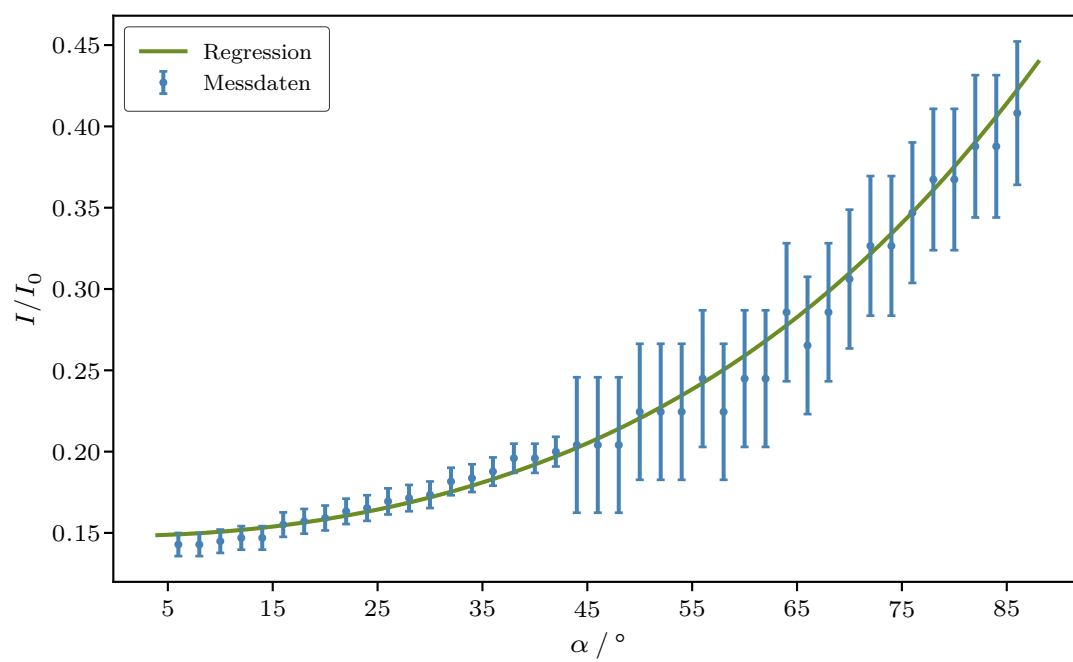


Abbildung 3

$$n = 3,642 \pm 0,071 \quad s = 0,457 \pm 0,009$$

$$n = 2,134 \pm 0,041$$

4.2 Parallele Polarisation

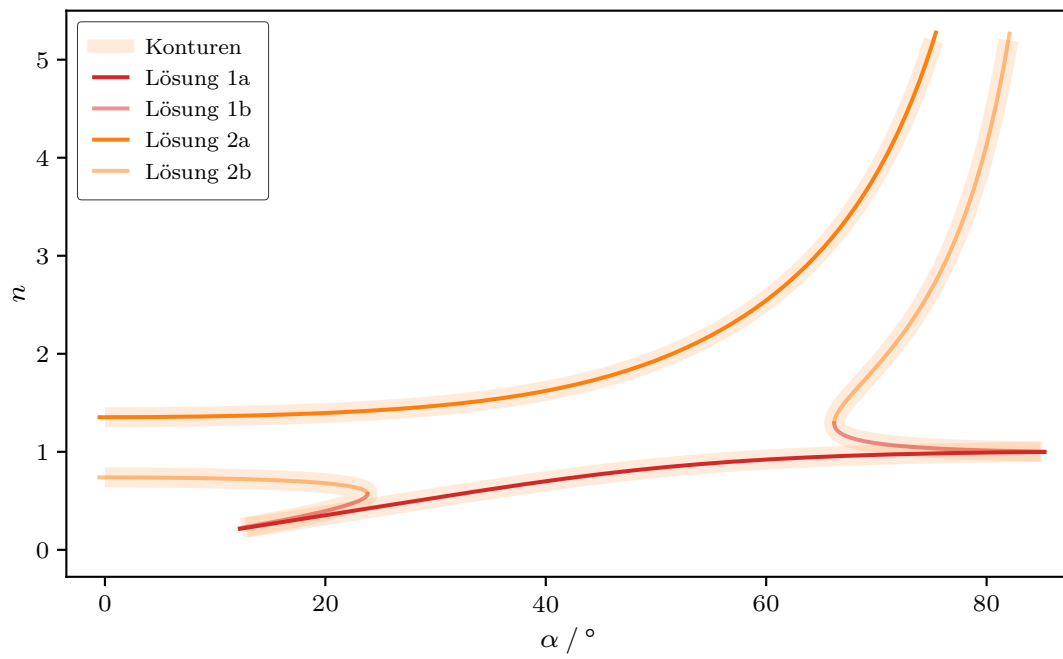


Abbildung 4

Tabelle 2

$\alpha / ^\circ$	$I / \mu\text{A}$	I/I_0	n	$\alpha / ^\circ$	$I / \mu\text{A}$	I/I_0	n
6	$54,0 \pm 2,0$	$0,1102 \pm 0,0061$	$2,002 \pm 0,041$	48	$32,0 \pm 2,0$	$0,0653 \pm 0,0049$	$2,396 \pm 0,055$
8	$54,0 \pm 2,0$	$0,1102 \pm 0,0061$	$2,009 \pm 0,042$	50	$30,0 \pm 2,0$	$0,0612 \pm 0,0048$	$2,449 \pm 0,057$
10	$52,0 \pm 2,0$	$0,1061 \pm 0,0060$	$1,989 \pm 0,041$	52	$28,0 \pm 2,0$	$0,0571 \pm 0,0047$	$2,511 \pm 0,059$
12	$60,0 \pm 2,0$	$0,1224 \pm 0,0065$	$2,113 \pm 0,045$	54	$24,0 \pm 2,0$	$0,0490 \pm 0,0045$	$2,528 \pm 0,062$
14	$60,0 \pm 2,0$	$0,1224 \pm 0,0065$	$2,126 \pm 0,045$	56	$22,0 \pm 2,0$	$0,0449 \pm 0,0045$	$2,607 \pm 0,065$
16	$60,0 \pm 2,0$	$0,1224 \pm 0,0065$	$2,142 \pm 0,046$	58	$18,0 \pm 2,0$	$0,0367 \pm 0,0043$	$2,634 \pm 0,070$
18	$58,0 \pm 2,0$	$0,1184 \pm 0,0063$	$2,132 \pm 0,045$	60	$16,0 \pm 2,0$	$0,0326 \pm 0,0043$	$2,734 \pm 0,076$
20	$59,0 \pm 2,0$	$0,1204 \pm 0,0064$	$2,168 \pm 0,047$	62	$14,0 \pm 2,0$	$0,0286 \pm 0,0042$	$2,849 \pm 0,082$
22	$50,0 \pm 2,0$	$0,1020 \pm 0,0058$	$2,056 \pm 0,043$	64	$8,0 \pm 2,0$	$0,0163 \pm 0,0041$	$2,792 \pm 0,104$
24	$51,0 \pm 2,0$	$0,1041 \pm 0,0059$	$2,097 \pm 0,044$	66	$7,0 \pm 2,0$	$0,0143 \pm 0,0041$	$2,975 \pm 0,116$
26	$50,0 \pm 2,0$	$0,1020 \pm 0,0058$	$2,110 \pm 0,045$	68	$6,3 \pm 0,2$	$0,0128 \pm 0,0007$	$3,209 \pm 0,021$
28	$50,0 \pm 2,0$	$0,1020 \pm 0,0058$	$2,142 \pm 0,046$	70	$4,0 \pm 0,2$	$0,0082 \pm 0,0005$	$3,365 \pm 0,022$
30	$50,0 \pm 2,0$	$0,1020 \pm 0,0058$	$2,179 \pm 0,047$	72	$2,0 \pm 0,2$	$0,0041 \pm 0,0004$	$3,542 \pm 0,027$
32	$48,0 \pm 2,0$	$0,0979 \pm 0,0057$	$2,186 \pm 0,047$	74	$0,8 \pm 0,2$	$0,0016 \pm 0,0004$	$3,805 \pm 0,042$
34	$46,0 \pm 2,0$	$0,0939 \pm 0,0056$	$2,197 \pm 0,048$	76	$0,5 \pm 0,02$	$0,0010 \pm 0,0001$	$4,291 \pm 0,008$
36	$44,0 \pm 2,0$	$0,0898 \pm 0,0055$	$2,211 \pm 0,048$	78	$1,2 \pm 0,2$	$0,0024 \pm 0,0004$	$5,215 \pm 0,046$
38	$44,0 \pm 2,0$	$0,0898 \pm 0,0055$	$2,266 \pm 0,050$	80	$3,8 \pm 0,2$	$0,0077 \pm 0,0005$	$6,798 \pm 0,041$
40	$44,0 \pm 2,0$	$0,0898 \pm 0,0055$	$2,328 \pm 0,051$	82	$8,0 \pm 0,2$	$0,0163 \pm 0,0008$	$9,236 \pm 0,058$
42	$38,0 \pm 2,0$	$0,0775 \pm 0,0052$	$2,279 \pm 0,051$	84	$18,0 \pm 0,2$	$0,0367 \pm 0,0016$	$14,067 \pm 0,119$
44	$38,5 \pm 2,0$	$0,0786 \pm 0,0052$	$2,364 \pm 0,052$	86	$38,0 \pm 0,2$	$0,0775 \pm 0,0032$	$25,381 \pm 0,316$
46	$34,0 \pm 2,0$	$0,0694 \pm 0,0050$	$2,351 \pm 0,053$				

$$n = 3,527 \pm 0,018$$

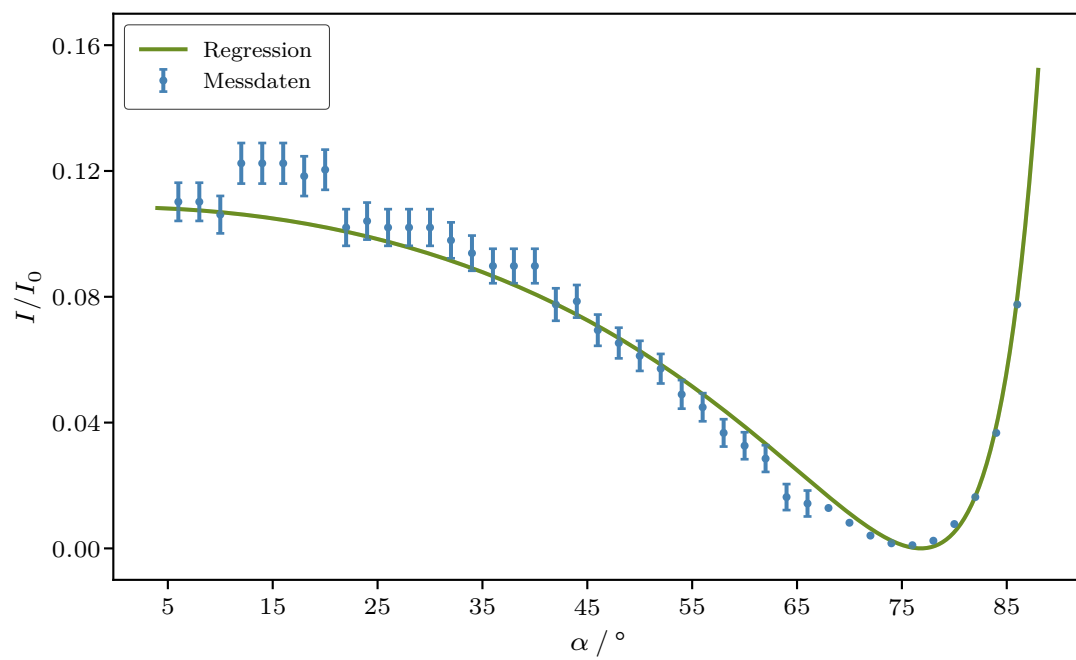


Abbildung 5

$$n = 4,265 \pm 0,053 \quad s = 0,282 \pm 0,010$$

$$n = 3,798 \pm 0,156$$

$$n = 2,794 \pm 0,016$$

5 Diskussion

Literatur

- [1] *Anleitung zu Versuch 407, Fresnelsche Formeln.* TU Dortmund, Fakultät Physik. 2023.

Anhang