

V64

## **Moderne Interferometrie**

Sonia Chander

sonia.chander@tu-dortmund.de

Jana Schlücking

jana.schluecking@tu-dortmund.de

Durchführung: 11.04.2022

Abgabe: 27.04.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Kohärenz . . . . .	3
2.2 Polarisation . . . . .	3
2.3 Kontrast . . . . .	3
2.4 Brechungsindexbestimmung von Glas . . . . .	4
2.5 Brechungsindexbestimmung von Gas . . . . .	5
<b>3 Aufbau und Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Aufbau . . . . .	5
3.2 Justage . . . . .	8
3.3 Kontrastbestimmung . . . . .	9
3.4 Bestimmung des Brechungsindex von Glas . . . . .	9
3.5 Bestimmung des Brechungsindex von Luft . . . . .	9
<b>4 Auswertung</b>	<b>9</b>
4.1 Kontrast . . . . .	9
4.2 Brechungsindex von Glas . . . . .	11
4.3 Brechungsindex von Luft . . . . .	12
4.3.1 Lorentz-Lorenz Gesetz . . . . .	13
<b>5 Diskussion</b>	<b>15</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>16</b>
<b>Literatur</b>	<b>19</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch wird das Sagnac-Interferometer als moderne Apparatur der Interferometrie vorgestellt. Die grundlegende Funktionsweise soll durch die Justage des Interferometers und die Kontrastmessung vermittelt werden. Anschließend wird mithilfe des Interferometers der Brechungsindex von Glas sowie des Gasgemisches Luft bestimmt.

## 2 Theorie

### 2.1 Kohärenz

Interferenz kann bei der Überlagerung von elektromagnetischen Wellen auftreten in Form der konstruktiven und destruktiven Interferenz. Konstruktive Interferenz bezeichnet dabei das Addieren der Wellenmaxima, destruktive Interferenz das Aufheben der Wellen, sodass keine Intensität mehr gemessen wird. Damit zwei elektromagnetische Wellen miteinander interferieren können, müssen sie kohärent sein, sie müssen also eine feste Phasendifferenz und die gleiche Wellenlänge haben. Dies ist häufig nur über eine gewisse Zeitdauer der Fall, diese Zeit wird als Kohärenzzeit bezeichnet. Desweiteren wird in räumliche und zeitliche Kohärenz unterschieden, räumliche Kohärenz beschreibt eine feste Phasendifferenz bezüglich der Raumachse, zeitliche dementsprechend eine feste Phasendifferenz bezüglich der Zeitachse.

### 2.2 Polarisation

Die Polarisation beschreibt die Auslenkungsrichtung des elektrischen Feldes im Bezug zur Ausbreitungsrichtung der Lichtwelle. Es gibt unpolarisiertes Licht, linear polarisiertes und ellipstisch/ zirkular polarisiertes Licht. Beim Letzteren dreht sich die Auslenkungsrichtung um die Ausbreitungsrichtung. Lineare Polarisation bedeutet, dass die Auslenkung der Welle senkrecht zur Bewegungsrichtung in einer Ebene stattfindet. Lichtwellen müssen gleich polarisiert sein, damit sie interferieren können.

### 2.3 Kontrast

Die Qualität eines Interferometers kann mit dem Kontrast  $K$  beschrieben werden:

$$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (1)$$

Die Intensität  $I$  ergibt sich durch zeitliche Mittelung des elektrischen Feldes über eine Periode,  $I_{\max/\min}$  bezeichnet die Intensität der Interferenzmaxima/-minima. Der Kontrast  $K(\phi)$  ist im Allgemeinen von dem Polarisationswinkel  $\phi$  des ersten Polarisators abhängig. Die sich überlagernden Lichtwellen können definiert werden als

$$\vec{E}_1 = \vec{E}_0 \cos(\phi) \cos(\omega t) \quad \vec{E}_2 = \vec{E}_0 \sin(\phi) \cos(\omega t + \delta),$$

wobei  $\omega$  die Kreisfrequenz der Welle und  $\delta$  die Phasenverschiebung bezeichnet. Die Intensität berechnet sich dann mit der zeitlichen Mittelung über eine Periode  $\langle \dots \rangle = \frac{1}{T} \int_t^{t+T} \dots dt$ :

$$I \propto \langle (\vec{E}_1 + \vec{E}_2)^2 \rangle = \langle E_1^2 + 2E_1E_2 + E_2^2 \rangle$$

Die einzelnen Terme ergeben sich somit zu:

$$\langle E_1^2 \rangle = E_0^2 \cos^2(\phi) \langle \cos^2(\omega t) \rangle = \frac{1}{2} E_0^2 \cos^2(\phi)$$

$$\langle E_2^2 \rangle = E_0^2 \sin^2(\phi) \langle \cos^2(\omega t + \delta) \rangle = \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2(\phi)$$

$$\langle 2E_1E_2 \rangle = 2E_0^2 \sin(\phi) \cos(\phi) \langle \cos(\omega t) \cos(\omega t + \delta) \rangle = E_0^2 \sin(\phi) \cos(\phi) \cos(\delta)$$

Für die Intensität folgt dann:

$$\begin{aligned} I &\propto \frac{1}{2} E_0^2 \cos^2(\phi) + \frac{1}{2} E_0^2 \sin^2(\phi) + E_0^2 \sin(\phi) \cos(\phi) \cos(\delta) \\ &\propto \frac{1}{2} E_0^2 (1 + 2 \sin(\phi) \cos(\phi) \cos(\delta)) \end{aligned}$$

Für Interferenzmaxima ( $\delta = 2n\pi, n \in \mathbb{N}$ ) und -minima ( $\delta = (2n+1)\pi, n \in \mathbb{N}$ ) ergibt sich schließlich der Zusammenhang

$$I_{\max/\min} \propto I_{\text{ges}} (1 \pm 2 \cos(\phi) \sin(\phi)).$$

Der Kontrast hat somit die folgende Abhängigkeit vom Polarisationswinkel  $\phi$ :

$$K \propto 2I_{\text{ges}} \sin(\phi) \cos(\phi) \quad (2)$$

## 2.4 Brechungsindexbestimmung von Glas

Eine typische Anwendung der Interferometrie ist das Bestimmen von Brechungsindices verschiedener Materialien. Da die Lichtgeschwindigkeit in Materialien gegeben ist durch  $v = \frac{c}{n}$  verändert sich der Wellenvektor gemäß  $k = \frac{2\pi}{\lambda_0} \cdot n$ , wobei  $\lambda_0$  die Vakuumwellenlänge ist.

Beim Durchlaufen einer planparallelen Platte wird ein Lichtstrahl an beiden Grenzflächen mit dem gleichen Winkel entgegengesetzt gebrochen, sodass die Bewegungsrichtung nicht verändert ist, aber der Strahl leicht versetzt ist. Da die Brechung vom Drehwinkel  $\Theta$  abhängig ist, ergibt sich ein Ausdruck  $\delta(\Theta)$  für den Fall, dass ein Strahl durch eine Glasplatte der Dicke  $D$  läuft:

$$\delta = \frac{2\pi D}{\lambda_0} \left[ \frac{n-1}{2n} \Theta^2 + \mathcal{O}(\Theta^4) \right]$$

In diesem Versuch wird mit zwei Glasplatten gearbeitet, die um  $\pm\Theta_0$  mit  $\Theta_0 = 10^\circ$  gegeneinander verschoben sind. Daher ergibt sich für die Phasenverschiebung

$$\delta(\Theta) = \frac{2\pi}{\lambda_0} D \frac{n-1}{2n} [(\Theta + \Theta_0)^2 - (\Theta - \Theta_0)^2].$$

Mit  $M = \frac{\delta}{2\pi}$  ergibt sich für den Brechungsindex:

$$n(\Theta) = \frac{1}{1 - \frac{M\lambda_0}{2D\Theta\Theta_0}} \quad (3)$$

## 2.5 Brechungsindexbestimmung von Gas

Durchläuft der Lichtstrahl nun eine Kammer der Länge  $L$ , welche mit einem Gas des Brechungsindex  $n$  gefüllt ist, so erfährt er eine Phasenverschiebung von

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda_0} (n - 1) \cdot L.$$

Die Anzahl der Maxima oder der Minima  $M$  steht durch

$$M = \frac{\delta}{2\pi}$$

im Zusammenhang mit der Phasenverschiebung, sodass bei gegebener Anzahl der Maxima oder Minima der Brechungsindex wie folgt gerechnet werden kann:

$$n = \frac{\lambda_0 \cdot M}{L} + 1 \quad (4)$$

Über das Lorentz-Lorenz-Gesetz ist der Brechungsindex abhängig von dem Druck  $p$  und der Temperatur  $T$  des Gases. Durch eine Taylorentwicklung um  $n \approx 1$  kann auf eine lineare Abhängigkeit genähert werden:

$$\begin{aligned} \frac{A \cdot p}{R \cdot T} &= \frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \\ &\approx \frac{2}{3} (n - 1) \end{aligned}$$

Der Brechungsindex kann somit über

$$n \approx \frac{3}{2} \frac{A \cdot p}{R \cdot T} + 1 \quad (5)$$

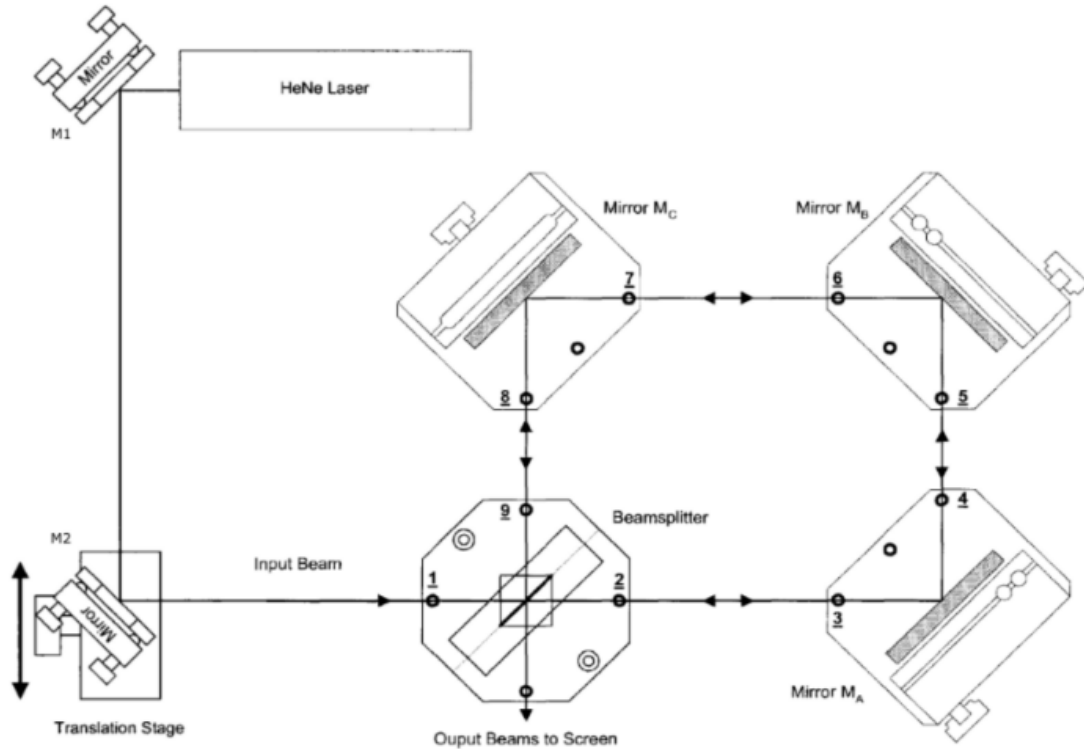
bestimmt werden.  $A$  bezeichnet hier die Refraktivität und  $R$  die allgemeine Gaskonstante.

## 3 Aufbau und Durchführung

### 3.1 Aufbau

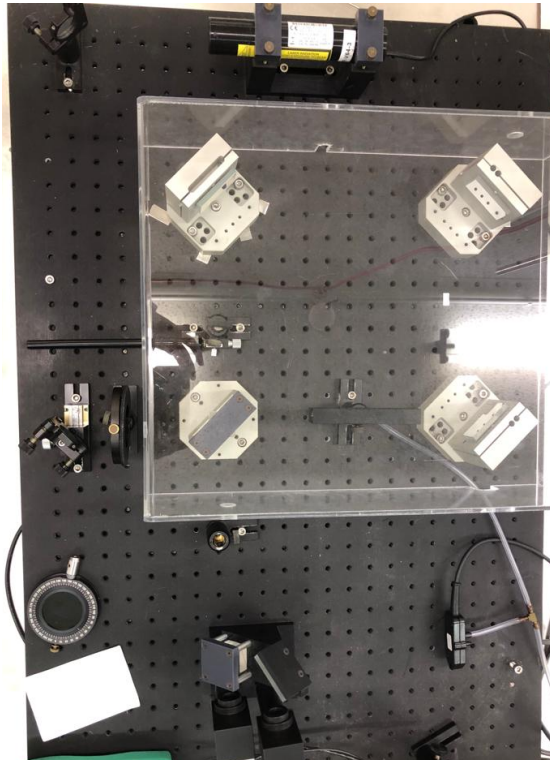
Der Aufbau des Sagnac-Interferometers ist schematisch in der Abbildung 1 dargestellt. Der benutzte HeNe - Laser emittiert Licht der Wellenlänge 632,99 nm [2], dieses Licht wird über die Spiegel  $M_1$  und  $M_2$  auf einen Polarizing Beam Splitter Cube (PBSC) reflektiert. Dort wird ein Teil des Lichtstrahls reflektiert und läuft im Uhrzeigersinn durch das Interferometer und ein anderer Teil des Lichtstrahls wird transmittiert und

läuft entgegen des Uhrzeigersinnes durch das Interferometer. Nach einem Umlauf werden die Lichtstrahl durch den PBSC wieder zusammengeführt. In der Abbildung 2 ist vor dem PBSC ein Polarisationsfilter zu sehen, welcher mit dem Winkel  $\phi$  ausgelenkt ist und in der Kontrastmessung gebraucht wird. Außerdem soll dieser feststellen, dass hinter dem PBSC der vertikalpolarisierte und horizontalpolarisierte Anteil des Lichtstrahls gleichermaßen vertreten ist, sodass ein Winkel von  $\phi = 45^\circ$  zur Justage eingestellt wird.



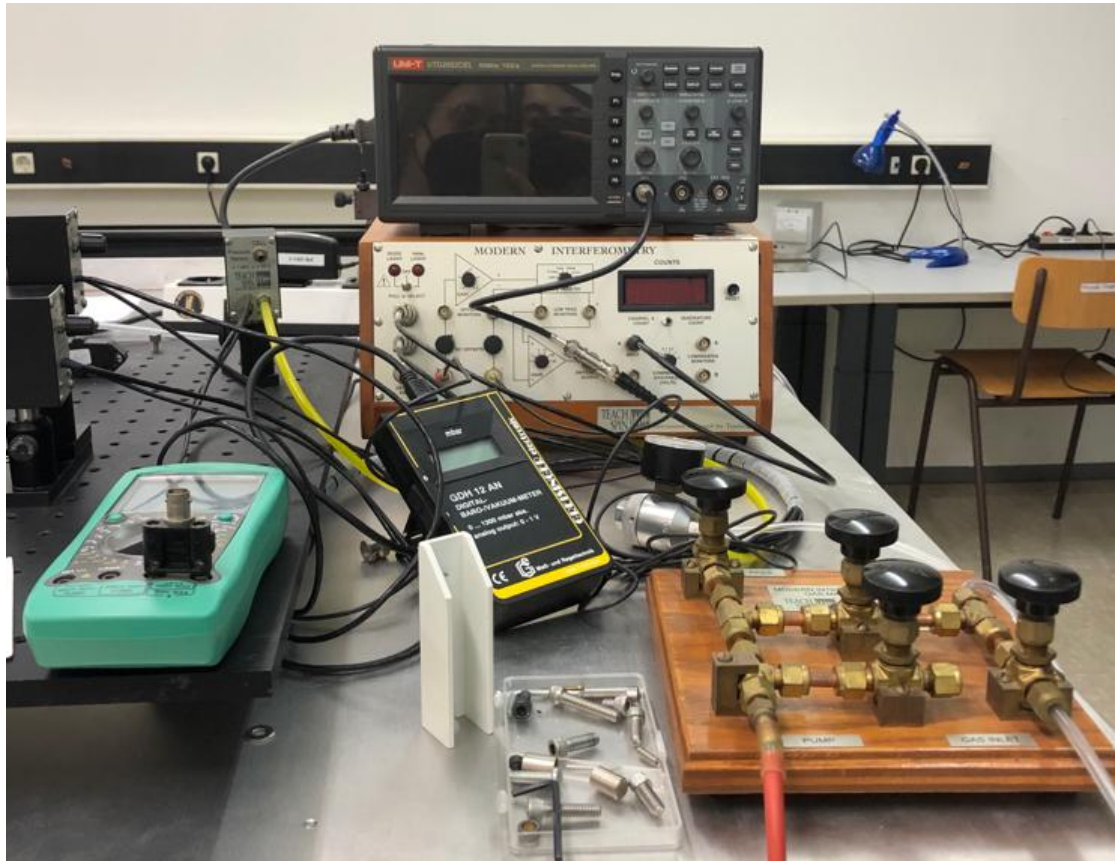
**Abbildung 1:** Der schematische Aufbau des Sagnac-Interferometers. [2]

Eine Eigenschaft des Sagnac-Interferometers ist es, dass die beiden zu interferierenden Strahlen den gleichen Weg durchlaufen. Somit ist das Interferenzbild weniger anfällig auf äußere Einflüsse wie Luftdruckschwankungen. Damit eine Messung durchgeführt werden kann, müssen die beiden Lichtstrahlen getrennt werden. Dies passiert durch Bewegen des Spiegels  $M_2$  parallel zur ersten Oberfläche des PBSC. Die Lichtstrahlen treffen nun an verschiedenen Punkten an den Spiegeln auf, treffen jedoch im PBSC wieder zusammen.



**Abbildung 2:** Der Aufbau des Interferometers im Versuch. Es ist die Gaskammer im Strahlengang des zuerst vom PBSC transmittierten Strahls zu sehen und der Doppelglashalter im Strahlengang des zuerst reflektieren Strahls. Unten im Bild stehen beide Dioden nebeneinander und der im  $45^\circ$  gekippte zweite PBSC ist vor diesen zu erkennen. Der zur Justage benutzte Polarisationsfilter und Schirm liegen vorne links im Bild.

Der Output aus dem PBSC zeigt so keine Interferenz auf, da die beiden Strahlen senkrecht zueinander polarisiert sind. Daher wird für die Justage ein Polarisationsfilter mit Winkel  $45^\circ$  vor einen Schirm gestellt. Die Messung wird mit ein bis zwei Photodioden durchgeführt. Um diese zu nutzen, wird statt des Polarisationsfilter ein um  $45^\circ$  gekippter PBSC benutzt, wobei der im PBSC reflektierte Strahl nochmal durch einen Spiegel in die Photodiode reflektiert wird. Zur Bestimmung der Anzahl der Maxima und Minima wird mit der Differenzmethode gearbeitet, also die Signal der beiden Dioden werden auf ihre Differenz untersucht. Damit werden konstante Störungen wie anderes einfallendes Licht aus dem Signal genommen. In der Abbildung 3 sind die Messgeräte zu sehen, mit denen gearbeitet wurde.



**Abbildung 3:** Die im Versuch benutzten Messgeräte. Im Vordergrund ist links in einem blau-grünen Farbton das Multimeter zu sehen, mit welchem die Intensitäten der Minima und Maxima für die Berechnung des Kontrastes gemessen werden. Das schwarze stehende Gerät mit gelben Streifen ist das Anzeigegerät des Manometers. Im Hintergrund steht ein Oszilloskop auf einem Modern Interferometry Controller.

### 3.2 Justage

Zu Beginn muss das Sagnac-Interferometer justiert werden. Dies wird mit zwei Justageplatten gemacht, die jeweils 3 Löcher auf der Höhe des Laserstrahls hat. Zuerst werden die Spiegel M1 und M2 (siehe Abbildung 1) so verstellt, dass der durch den PBSC transmittierte Strahl durch das mittige Loch der Justageplatten geht, welche auf den Positionen 2 und 3 stehen. Hierbei wird der im PBSC reflektierte Strahl durch einen Schirm blockiert. Anschließend werden die Justageplatten an verschiedene Positionen vor den Spiegeln des Interferometers gebracht. Durch Bewegen der Bodenplatte, Erhöhen dieser durch Metallplättchen, und Feinjustierschrauben werden beide Strahlen durch das mittlere Loch der Justageplatten geführt.

Nachdem ein Polarisationsfilter mit einem Winkel von  $45^\circ$  nach dem PBSC eingebaut wird, erscheint auf dem Schirm ein Interferenzmuster. Dieses kann sich noch nicht verän-



dern, da keiner der Strahlen einen Phasenverschub erfährt. Die Lichtstrahlen werden nun getrennt durch das Verschieben des Spiegels  $M_2$  parallel zur ersten Oberfläche des PBSC. Durch Bewegung der Glasplatten, welche im Strahlengang zwischen dem PBSC und dem Spiegel  $M_C$  eingebaut werden, werden Interferenzmaxima und -minima durchlaufen. Im Interferenzmuster sind Streifen zu sehen, welche auftreten, da die Lichtstrahlen nicht perfekt parallel ausgerichtet sind. Durch die Feinjustierschrauben werden diese Streifen so gut wie möglich entfernt.

### 3.3 Kontrastbestimmung

Der Polarisationsfilter und der Schirm werden hinter dem PBSC entfernt, der Output-beam wird auf einen um  $45^\circ$  gekippten weiteren PBSC geleitet, welcher seine beiden Outputbeams auf zwei Photodioden reflektiert und transmittiert. Eine der Dioden wird an ein Multimeter angeschlossen. Nun wird für verschiedene Werte des Polarisationswinkel  $\phi$  des Polarisationsfilters vor dem ersten PBSC, der vor dem Interferometer steht, die Diodenspannung der Interferenzmaxima und -minima gemessen. Die Maxima und Minima werden durch Bewegen des Doppelglashalters eingestellt. Es werden in einem Bereich von  $\phi \in [0^\circ, 180^\circ]$  in Schritten von  $\Delta\phi = 15^\circ$  Werte genommen und der Kontrast berechnet. In der Nähe von Winkeln mit hohem Kontrast werden Daten im Abstand von  $\Delta\phi = 5^\circ$  genommen.

Es wird der Winkel  $\phi$  eingestellt, bei dem der größte Kontrast gemessen wurde. Alle weiteren Messungen werden mit dieser Einstellung durchgeführt.

### 3.4 Bestimmung des Brechungsindex von Glas

Beide Photodioden werden an den Modern Interferometry Controller angeschlossen, dessen Output wird auf einem Oszilloskop angezeigt. Der Doppelglashalter wird im Bereich von  $\Theta \in [0^\circ, 10^\circ]$  bewegt. Der Modern Interferometry Controller zählt die Nulldurchgänge der Differenz der Diodenspannungen, also die Anzahl der Interferenzminima. Diese Anzahl wird für eine ganze Drehung von  $\Theta$  um  $10^\circ$  gemessen. Die Messung wird 10 mal wiederholt.

### 3.5 Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Der Doppelglashalter wird aus dem Strahlengang gebaut und eine Gaszelle wird eingebaut. Diese wird mithilfe einer Pumpe leergepumpt. Dann wird kontrolliert Luft in die Gaszelle gefüllt und in Schritten von  $\Delta p = 50$  mbar die Anzahl der durchlaufenden Interferenzminima notiert. Die Messung wird 4 mal wiederholt. Um äußere Einflüsse wie Luftdruckschwankungen zu minimieren, wird eine Haube auf das Interferometer gesetzt.

## 4 Auswertung

### 4.1 Kontrast

Zu Beginn der Auswertung wurde der maximale Kontrast ermittelt, der dann für die weitere Auswertung verwendet wurde. Wie in der Durchführung 3.3 beschrieben,

wurden die Messpunkte aufgenommen und mithilfe von Gleichung (1) wurde der Kontrast bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zu finden. Der maximale Kontrast mit  $K = 0,97$  wurde bei  $\phi = 135^\circ$  bestimmt. Somit wurde der Polarisationsfilter für die folgenden Messungen auf  $\phi = 135^\circ$  gestellt.

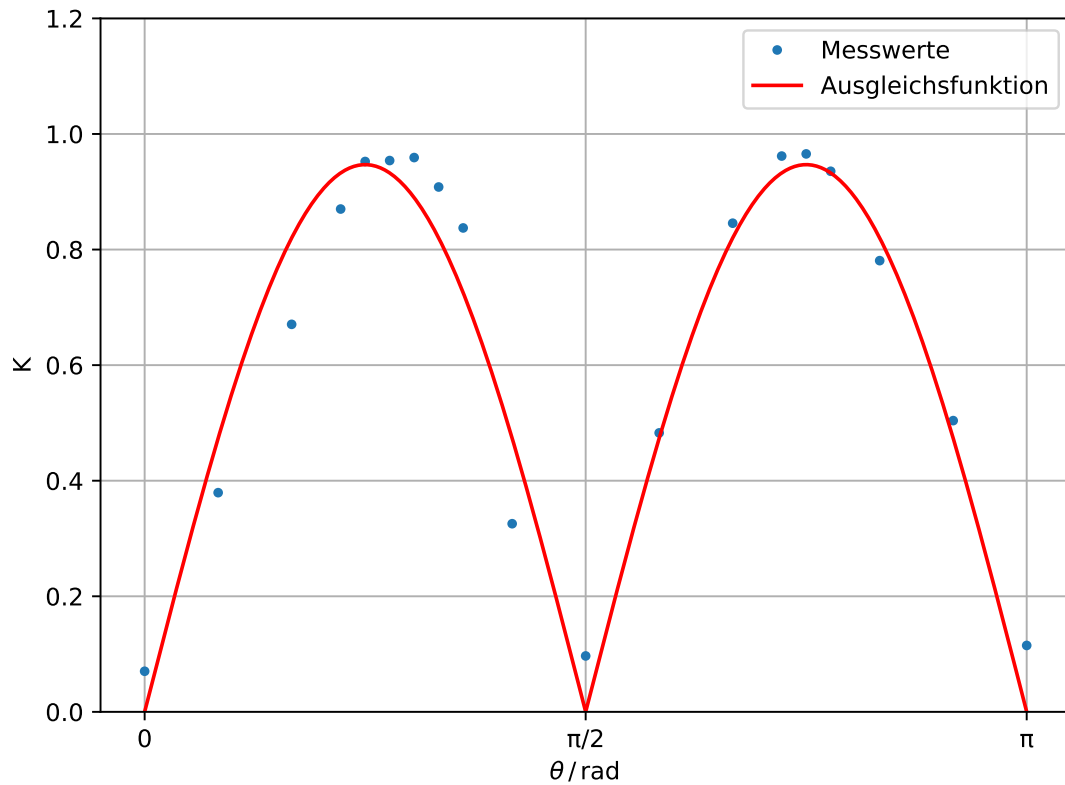
Desweiteren wird mit den Messwerten eine Ausgleichsrechnung mit python durchgeführt. Der Kontrast  $K$  kann mit folgender Funktion beschrieben werden:

$$K = A \cdot |\cos(\Phi) \sin(\Phi)|. \quad (6)$$

Durch die Ausgleichsrechnung wird für

$$A = 1,89 \pm 0,05$$

ermittelt. Die aufgenommenen Messwerte, sowie die Ausgleichsfunktion sind in Abbildung 4 grafisch abgebildet.



**Abbildung 4:** Die Messwerte des Kontrast nach Gleichung (1) und die Ausgleichsrechnung nach Gleichung (6).

**Tabelle 1:** Aufgenommene Messwerte zur Kontrastmessung, sowie der jeweilige Kontrastwert.

$\Phi/^\circ$	$U_{\min}/V$	$U_{\max}/V$	$K$
0	0,86	0,99	0,07
15	0,36	0,80	0,38
30	0,14	0,71	0,67
40	0,05	0,72	0,87
45	0,02	0,82	0,95
50	0,02	0,85	0,95
55	0,02	0,96	0,96
60	0,05	1,04	0,91
65	0,10	1,13	0,84
75	0,58	1,14	0,33
90	0,84	1,02	0,10
105	0,60	1,72	0,48
120	0,22	2,63	0,85
130	0,06	3,08	0,96
135	0,05	2,85	0,97
140	0,10	3,00	0,94
150	0,32	2,60	0,78
165	0,62	1,88	0,50
180	0,77	0,97	0,11

## 4.2 Brechungsindex von Glas

Um den Brechungsindex von Glas zu bestimmen, wurde die Anzahl der Intensitätsminima  $M$ , wie in der Durchföhrung 3.4 beschrieben, aufgenommen. Mithilfe der Gleichung (3) wurde der Brechungsindex bestimmt. Dabei betrögt die Dicke der Platten  $D = 1 \text{ mm}$ , die Wellenlänge des Lasers  $\lambda_0 = 632,990 \text{ nm}$  und  $\theta_0 = 10^\circ$ , da die beiden Platten jeweils um  $\pm\theta_0$  geneigt waren [2]. Die aufgenommenen Messwerte sowie der jeweils ermittelte Brechungsindex sind in Tabelle 2 zu finden. Im Mittel betrögt der ermittelte Brechungsindex für Glas

$$n_{\text{Glas}} = 1,55044793.$$

**Tabelle 2:** Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung des Brechungsindex von Glas, sowie der ermittelte Brechungsindex.

Durchgang	M	$n_{\text{Glas}}$
1	30	1,45284966
2	35	1,57145515
3	36	1,59753863
4	36	1,59753863
5	35	1,57145515
6	35	1,57145515
7	35	1,57145515
8	36	1,59753863
9	31	1,47511653
10	32	1,49807656

### 4.3 Brechungsindex von Luft

Zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft wurden die Messwerte, wie in der Durchführung 3.5 beschrieben, aufgenommen und die Brechungsindices mithilfe der Gleichung (4) ermittelt. Die Länge der Gaskammer beträgt  $L = (100 \pm 1) \text{ mm}$  [2] und die aufgenommene Temperatur  $T = 21,1^\circ\text{C}$ . Die aufgenommenen Messwerte sind in Tabelle 3 zu finden.

**Tabelle 3:** Aufgenommene Messwerte zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft neben dem jeweil nach Gleichung (4) errechneten Brechungsindex.  $M_i$  bezeichnet hierbei die Anzahl der bis dahin durchlaufenden Interferenzminima oder -maxima, wobei  $i$  den Durchgang angibt.

$p/\text{mbar}$	Durchgänge ohne Haube				Durchgänge mit Haube			
	$M_1$	$n_1$	$M_2$	$n_2$	$M_3$	$n_3$	$M_4$	$n_4$
50	4	1,000 025 32	5	1,000 031 65	2	1,000 012 66	2	1,000 012 66
100	6	1,000 037 98	7	1,000 044 31	4	1,000 025 32	4	1,000 025 32
150	8	1,000 050 64	10	1,000 063 30	7	1,000 063 30	10	1,000 044 31
200	10	1,000 063 30	12	1,000 075 96	9	1,000 075 96	12	1,000 056 97
250	12	1,000 075 96	14	1,000 088 62	11	1,000 088 62	14	1,000 069 63
300	14	1,000 088 62	16	1,000 101 28	13	1,000 132 93	21	1,000 082 29
350	17	1,000 107 61	18	1,000 113 94	15	1,000 145 59	23	1,000 094 95
400	20	1,000 126 60	20	1,000 126 60	17	1,000 158 25	25	1,000 107 61
450	23	1,000 145 59	22	1,000 139 26	19	1,000 170 91	27	1,000 120 27
500	25	1,000 158 25	24	1,000 151 92	21	1,000 183 57	29	1,000 132 93
550	28	1,000 177 24	26	1,000 164 58	24	1,000 196 23	31	1,000 151 92
600	32	1,000 202 56	29	1,000 183 57	26	1,000 215 22	34	1,000 164 58
650	36	1,000 227 88	31	1,000 196 23	28	1,000 227 88	36	1,000 177 24
700	39	1,000 246 87	33	1,000 208 89	30	1,000 240 54	38	1,000 189 90
750	42	1,000 265 86	35	1,000 221 55	32	1,000 253 20	40	1,000 202 56
800	44	1,000 278 52	37	1,000 234 21	34	1,000 265 86	42	1,000 215 22
850	47	1,000 297 51	39	1,000 246 87	36	1,000 278 52	44	1,000 227 88
900	50	1,000 316 50	41	1,000 259 53	38	1,000 291 18	46	1,000 240 54
950	54	1,000 341 81	43	1,000 272 19	41	1,000 303 84	48	1,000 259 53
1000	58	1,000 367 13	45	1,000 284 85	42	1,000 316 50	50	1,000 265 86

#### 4.3.1 Lorentz-Lorenz Gesetz

Da der Brechungsindex von Gasen nach dem Lorentz-Lorenz Gesetz auch vom Druck und der Temperatur abhängig ist, wird nach Gleichung (5) eine Ausgleichsrechnung durchgeführt. Die Ausgleichsfunktion hat dabei die Form

$$n = \frac{a}{TR} \cdot p + b.$$

Nach einer Temperaturmessung ergab sich für  $T = 21,1^\circ\text{C} = 294,25\text{ K}$ ,  $R$  beschreibt die universale Gaskonstante. Die Ausgleichsrechnung wird für alle vier Durchgänge gemacht. Für die Variablen  $a$  und  $b$  ergeben sich somit die Werte in der Tabelle 4.

**Tabelle 4:** Die Ergebnisse der Ausgleichsrechnung für die Variablen  $a$  und  $b$  je Durchgang. Durchgang 1 und 2 wurden ohne Haube durchgeführt, Durchgang 3 und 4 mit.

Messung	$a / (10^{-2} \text{m}^3/\text{mol})$	$b$
1	$0,00088982 \pm 0,00001704$	$0,99998914 \pm 0,00000417$
2	$0,00065089 \pm 0,00000369$	$1,00002079 \pm 0,00000090$
3	$0,00076337 \pm 0,00002429$	$1,00001849 \pm 0,00000595$
4	$0,00065508 \pm 0,00000415$	$1,00000153 \pm 0,00000102$

Die aus den Messwerten berechneten Brechungsindizes und die daraus ermittelten Ausgleichsgraden sind in Abbildung 5 zu finden.

Nach dem Lorentz-Lorenz-Gesetz wird für jeden Durchgang der Brechungsindex bei Normatmosphäre berechnet. Dabei ist  $T = 15^\circ\text{C} = 288,15\text{ K}$  und  $p = 1013\text{ mbar}$ . Die Werte sind in der Tabelle 5.

**Tabelle 5:** Der Brechungsindex von Luft bei Normatmosphäre für jeden Durchgang. Durchgang 1 und 2 wurden ohne Haube durchgeführt, Durchgang 3 und 4 mit.

Durchgang	$n_{\text{Luft}}$
1	$1,00036537 \pm 0,00000832$
2	$1,00029600 \pm 0,00000180$
3	$1,00034126 \pm 0,00001187$
4	$1,00027852 \pm 0,00000203$

Für den Brechungsindex bei Normatmosphäre ohne Haube wurde somit

$$n_{\text{Luft,ohne}} = 1,000331 \pm 0,000004$$

und mit Haube

$$n_{\text{Luft,mit}} = 1,000310 \pm 0,000006$$

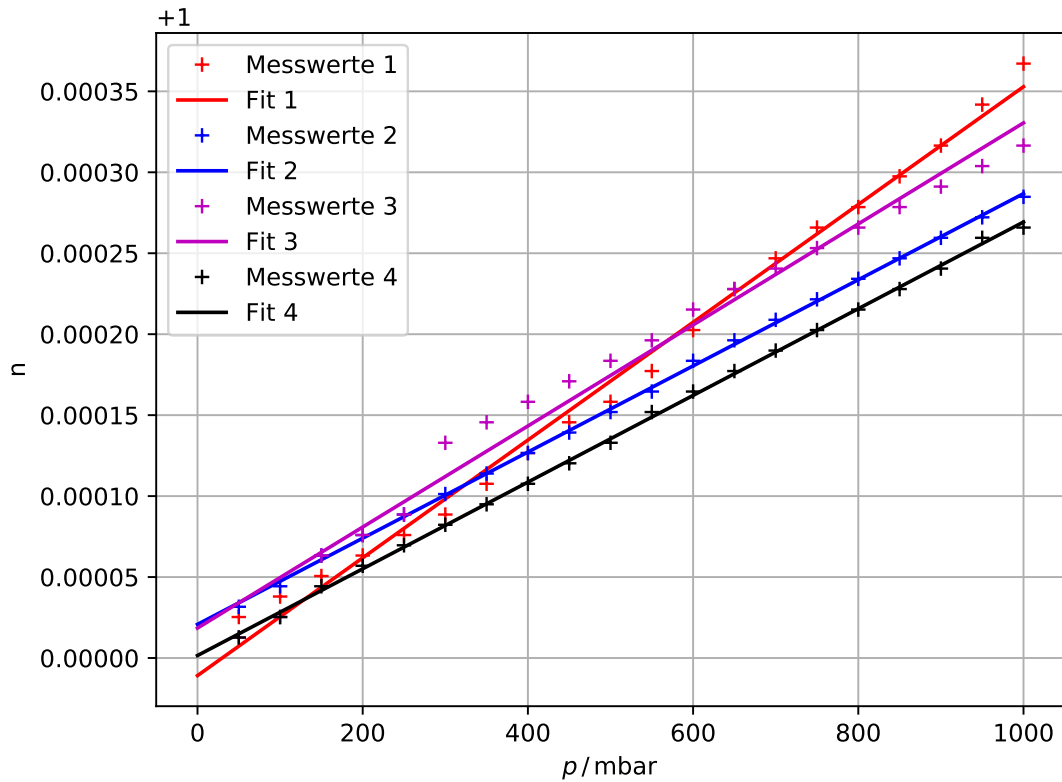
ermittelt.

Im Durchschnitt haben die Fitparameter folgenden Wert:

$$a = (0,000\,740 \pm 0,000\,008) \cdot 10^{-2} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \quad b = 1,0000075 \pm 0,0000018$$

Damit beträgt der durchschnittliche Brechungsindex von Luft mit diesen Werten und bei Normatmosphäre

$$n_{\text{Luft}} = 1,000320 \pm 0,000004.$$



**Abbildung 5:** Die aus den aufgenommenen Messwerten bestimmten Brechungsindizes  $n$  für Luft und die Ausgleichsgraden. Messung 1 und 2 wurden ohne Haube durchgeführt, Messung 3 und 4 mit.

## 5 Diskussion

Die aufgenommenen Messwerte und die ermittelten Ergebnisse entsprechen den Erwartungen. Eine Übersicht der ermittelten und der theoretische Werte, sowie die jeweilige Abweichung ist in Tabelle 6 zu finden. Die bestimmten Kontraste folgen der erwarteten Verteilung und es sind keine größeren Abweichungen erkennbar. Die Extrema sind auch wie erwartet bei Vielfachen von  $45^\circ$  zu finden.

Für den Brechungsindex von Glas wurde  $n_{\text{Glas}} = 1,55044793$  bestimmt. Der Theoriewert liegt bei  $n_{\text{Glas, Theo}} = 1,45$  [1]. Der ermittelte Wert hat somit eine Abweichung von 6,93 %. Ein Grund für diese etwas höhere Abweichung kann in der Versuchsdurchführung liegen. Hier wurden die Intensitätsmaxima bzw. -minima nur mit einer statt zwei Dioden aufgenommen.

Bei der Bestimmung des Brechungsindex für Luft wurde die Messung zwei Mal ohne einer Haube und zwei Mal mit einer Haube durchgeführt. Die Haube minimiert Störungen durch Luftdruckschwankungen. Der ermittelte Brechungsindex beim ersten Durchgang beträgt  $n_{\text{Luft, ohne}} = 1,000331 \pm 0,000004$  und beim zweiten Durchgang mit der Haube

$n_{\text{Luft, ohne}} = 1,000310 \pm 0,000006$ . Der Theoriewert liegt für Luft bei  $n_{\text{Luft, Theo}} = 1,000292$  [1]. Die Abweichung von diesem Theoriewert liegt damit bei 13,36% bzw. 6,16% bei Betrachtung der signifikanten Stellen. Über alle Messreihen gemittelt, ergibt sich für den Brechungsindex von Luft bei Normatmosphäre  $n_{\text{Luft}} = 1,000320 \pm 0,000004$ , welcher eine Abweichung von 9,59% zum Theoriewert hat. Es ist somit zu sehen, dass die Haube einen Unterschied bewirkt und die Messung ersichtlich genauer werden lässt. Auch ist zu sehen, dass die Messreihe 1 deutlich von den anderen abweicht und dadurch das Mittel stark in die positive Richtung beeinflusst. Da der Brechungsindex von Luft im Allgemeinen sehr nah an 1 liegt, können Störungen wie Luftdruckschwankungen einen relativ starken Einfluss haben.

**Tabelle 6:** Die ermittelten Brechungsindizes von Glas und Luft im Vergleich zum jeweiligen Theoriewert.

	$n_{\text{Glas}}$	$n_{\text{Luft, ohne Haube}}$	$n_{\text{Luft, mit Haube}}$	$n_{\text{Luft}}$
Theorie	1,45	1,000292	1,000292	1,000292
Versuch	1,55044793	$1,000331 \pm 0,000004$	$1,000310 \pm 0,000006$	$1,000320 \pm 0,000004$
Abweichung	6,93%	13,36%	6,16%	9,59%

## 6 Anhang



# V64 - Moderne Interferometrie

Sonia Chander  
Jana Schüchtem  
11.04.2022

## 1) Kontrastmessungen

$\phi$	$U_{\min} / V$	$U_{\max} / V$	$K = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$
0	0,86	0,92	0,072
15	0,36	0,80	0,379
30	0,14	0,71	0,623
45	0,02	0,82	0,95
60	0,05	1,04	0,900
75	0,58	1,14	0,32
90	0,84	1,02	0,096
105	0,60	1,72	0,482
120	0,22	2,63	0,846
135	0,05	2,85	0,97
150	0,32	2,60	0,78
165	0,62	1,88	0,504
180	0,77	0,97	0,175
40	0,05	0,72	0,87
50	0,02	0,82	0,95
55	0,02	0,96	0,959
65	0,1	1,13	0,84
130	0,06	3,08	0,96
140	0,1	3,0	0,935

Abbildung 6: Die Originaldaten von der Versuchsdurchführung.

Brechungsindex von Glas  $\theta \in [0, -10^\circ]$

Durchgang Anzahl minima maxima

1 →	30
2 ←	35
3 →	36
4 ←	36
5 →	35
6 ←	35
7 →	35
8 ←	36
9 →	31
10 ←	32

3  
349

Temperatur  $21,1^\circ\text{C}$

Brechungsindex von Gas

I, II ohne Haube

I, II mit Haube

Druck p / mbar	# minima maxima		III IV			I	II	III	IV
50	I	II	III	IV	900	46	50	41	38
100	2	4	5	2	950	48	54	43	41
150	4	6	7	4	1000	50	58	45	42
200	10	8	10	7					
250	12	10	12	9					
300	14	12	14	11					
350	21	14	16	13					
400	23	17	18	15					
450	25	20	20	17					
500	27	23	22	19					
550	29	25	24	21					
600	31	28	26	24					
650	34	32	29	26					
700	36	36	31	28					
750	38	39	33	30					
800	40	42	35	32					
850	42	44	37	34					
900	44	47	39	36					

Max

Abbildung 7: Die Originaldaten von der Versuchsdurchführung.

## Literatur

- [1] chemie.de. *Brechzahl*. URL: <http://www.chemie.de/lexikon/Brechzahl.html> (besucht am 13.04.2022).
- [2] TU Dortmund. *V64 - Moderne Interferometrie*. 2022.