



V64

- Moderne Interferometrie -

Raphael Rico Kaiser
raphael.kaiser@tu-dortmund.de

Karina Overhoff
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.01.2022, Abgabe:13.01.2022

TU Dortmund - Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel	3
2 Theorie	3
2.1 Interferenz und Kohärenz	3
2.2 Polarisation	3
2.3 Kontrast eines Interferometers	4
2.4 Brechungsindizes von Luft und Glas	5
3 Durchführung	6
3.1 Aufbau	6
3.2 Justierung	6
3.3 Messung	8
4 Auswertung	10
4.1 Bestimmung des maximalen Kontrasts	10
4.2 Bestimmung des Brechungsindex von Glas	11
4.3 Bestimmung des Brechungsindex von Luft	12
5 Diskussion	17
Literatur	17

1 Ziel

Das Ziel dieses Versuchs ist es die Funktionsweise eines Sagnac-Interferometers zu verstehen. Der Strahlengang soll justiert werden und es sollen der Kontrast des Interferenzbildes des Interferometers, der Brechungsindex von Glas sowie der Brechungsindex von Luft bestimmt werden.

2 Theorie

2.1 Interferenz und Kohärenz

Überlagern sich zwei Wellen, kann es zu Interferenz kommen. Eine Bedingung dafür ist, dass die Wellen **die selbe** Wellenlänge besitzen. Bei destruktiver Interferenz löschen sich die Wellen gegenseitig aus, während bei konstruktiver Interferenz die Intensität der Welle verstärkt wird. Die Interferenz ist stabil, wenn die Wellen kohärent sind.

Der Begriff der Kohärenz beschreibt die Tatsache, dass die Wellen untereinander eine feste Phasenbeziehung haben. Die Wellenlänge der sich überlagernden Wellen ist während der Kohärenzzeit gleich. Diese ist die Zeit, in der sich eine Welle nicht ändert. Laserlicht hat eine hohe Kohärenzzeit, weswegen es in optischen Versuchen bevorzugt wird. Es wird von zeitlicher Kohärenz gesprochen, wenn die Phasenbeziehung entlang einer Zeitachse fest ist. Bei räumlicher Kohärenz liegt eine feste Phasenbeziehung entlang einer Raumachse vor. Der Kohärenzgrad beschreibt die Interferenzfähigkeit zweier Wellen.

2.2 Polarisation

Die Polarisation einer Transversalwelle, z.B. Licht, beschreibt ihre Schwingungsrichtung. Es wird zwischen linearer, elliptischer und zirkularer Polarisation unterschieden. Bei den beiden letzteren dreht sich die Richtung der Schwingung um die Ausbreitungsrichtung der Welle. Bei linearer Polarisation ist die Richtung der Schwingung konstant. Diese wird als Winkel in Bezug auf eine bestimmte Ebene oder als Anteil der parallelen und senkrechten Komponenten angegeben.

Trifft linear polarisiertes Licht auf eine Grenzfläche, wird der Anteil, der parallel zu der Spiegelebene polarisiert ist (p-polarisiert), transmittiert und der senkrecht zu dieser Ebene polarisierte Anteil (s-polarisiert) wird reflektiert. Das ist schematisch in Abbildung 1 zu sehen.

Damit zwei Wellen nun interferieren können, müssen sie gleich polarisiert sein, damit sich die elektrischen Felder aufheben können. Das ist bei p- und s-polarisiertem Licht etwa durch einen Polarisationsfilter umsetzbar.

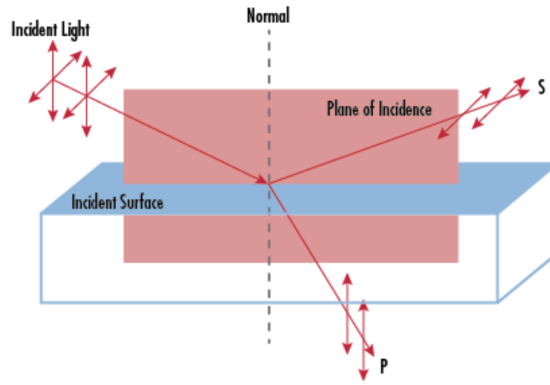


Abbildung 1: Bei linearer Polarisation sind der p- und s-polarisierte Anteil definiert durch ihre Ausrichtung gegenüber der Einfallsebene. [3]

2.3 Kontrast eines Interferometers

Der Kontrast ist ein Maß für die Qualität des Interferenzbildes eines Interferometers. Er ist über die Intensität des Interferenzmaximums und -minimums definiert

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

Der Kontrast kann minimal Null sein. Das ist der Fall, wenn das Interferenzmaximum und -minimum nicht unterscheidbar sind, die Qualität also schlecht ist. Maximal kann der Kontrast Eins sein. In diesem Fall ist das Minimum perfekt ausgelöscht.

Die Intensität ist proportional zur zeitlichen Mittelung des Quadrats der elektrischen Feldstärke. Für die Wellen lässt sich diese durch

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= \vec{E}_0 \cos(\phi) \cos(\omega t) \\ \vec{E}_2 &= \vec{E}_0 \sin(\phi) \cos(\omega t + \delta) \end{aligned}$$

angeben, wobei ϕ der Polarisationswinkel, ω die Kreisfrequenz und δ die Phasenverschiebung ist. Die Intensität ist dann also

$$\begin{aligned} I &\propto \langle |\vec{E}_1 + \vec{E}_2|^2 \rangle \\ &\propto \langle E_1^2 + E_2^2 + 2\vec{E}_1 \cdot \vec{E}_2 \rangle. \end{aligned}$$

Die Intensität der Interferenzmaxima ($\delta = 2n\pi$ mit $n \in \mathbb{Z}$) bzw. -minima ($\delta = n\pi$ mit $n \in \mathbb{Z}$) ergibt sich zu

$$I \propto I_{ges} (1 \pm 2\cos(\phi)\sin(\phi)), \quad (2)$$

wobei das Plus für Maxima und das Minus für Minima gilt.

Da der Kontrast über die Intensität definiert ist und diese abhängig vom Polarisationswinkel ist, kann mit Gleichung 1 und Gleichung 2 folgende Proportionalität angegeben werden

$$K(\phi) \propto |2\cos(\phi)\sin(\phi)| = |\sin(2\phi)|.$$

2.4 Brechungsindizes von Luft und Glas

Brechungsindex von Luft

Um den Brechungsindex eines Mediums zu bestimmen, werden die Strahlen im Interferometer aufgeteilt und geometrisch voneinander getrennt, sodass sie unterschiedliche Medien durchlaufen können. Ein Strahl, der ein Medium durchlaufen hat, ist gegenüber einem Strahl im Vakuum phasenverschoben. Bei Zusammenführung der Strahlen interferieren sie und anhand der Interferenzmaxima kann der Brechungsindex abgeleitet werden.

Ein Strahl, der eine evakuierte Kammer der Länge L durchläuft, hat zu einem durch Luft laufenden Strahl eine relative Phasenverschiebung von

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

Dabei ist λ_0 die Wellenlänge im Vakuum und n der Brechungsindex von Luft. Die Phasenverschiebung hängt mit der Anzahl der Maxima über folgende Formel zusammen

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

Aus diesen Zusammenhängen ergibt sich für den Brechungsindex die Gleichung

$$n = \frac{M\lambda_0}{L} + 1. \quad (3)$$

Aus dem Lorentz-Lorenz Gesetz ergibt sich näherungsweise für den Brechungsindex in Abhängigkeit vom Druck p folgende Gleichung

$$n(p) \approx \frac{3Ap}{2RT} + 1.$$

Dabei ist A die Molreflektivität, R die universelle Gaskonstante und T die Temperatur.

Brechungsindex von Glas

Auch für die Bestimmung des Brechungsindex von Glas sind die Teilstrahlen geometrisch getrennt. Läuft einer der Strahlen durch eine planparallele Platte, entsteht eine relative Phasenverschiebung von

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

Dabei ist D die Dicke der Platte und θ der Drehwinkel dieser Platte.

In diesem Versuch werden zwei Glasplatten, durch die je ein Teilstrahl läuft, verwendet. Diese sind konstant um $\theta_0 = 20^\circ$ zueinander verkippt und werden um den Winkel θ gedreht. Die Interferenzmaxima sind gegeben durch

$$M = \frac{D}{\lambda_0} \frac{n-1}{2n} \left[\left(\theta + \frac{\theta_0}{2} \right)^2 - \left(\theta - \frac{\theta_0}{2} \right)^2 \right].$$

Der vom Drehwinkel abhängige Brechungsindex ist dann

$$n(\theta) = \frac{1}{1 - \frac{M\lambda_0}{2\theta_0\theta D}} \cdot \text{[Icon]} \quad (4)$$

3 Durchführung

3.1 Aufbau

Bei einem Sagnac-Interferometer wird das Licht eines Lasers durch einen sogenannten Polarizing Beam Splitter Cube (PBSC) in zwei Strahlen aufgeteilt, die mittels Spiegeln in entgegengesetzter Richtung im Kreis geführt werden und am PBSC wieder aufeinander treffen. Durch die gegenläufige Richtung der Strahlen wird ein zeitlich besonders stabiles Interferenzbild erzeugt.

Das Licht des hier verwendeten Helium-Neon-Lasers mit einer Wellenlänge von $\lambda = 632,99 \text{ nm}$ wird mit zwei Spiegeln durch einen linearen Polarisationsfilter in das Interferometer gelenkt. Der Lichtstrahl trifft zunächst auf den PBSC. Dieser besteht aus zwei Prismen und hat diagonal eine dielektrische Schicht. Dort wird p-polarisiertes Licht transmittiert und s-polarisiertes Licht reflektiert. Die beiden Strahlen überlappen beim Durchgang durch das Interferometer, werden am PBSC wieder zu einem Strahl vereint und treffen danach entweder durch einen zweiten Polarisationsfilter auf einen Schirm oder durch einen zweiten PBSC auf zwei Photodioden.

Der Aufbau sowie der Strahlengang sind in Abbildung 2 zu sehen. Abbildung 3 zeigt ein Foto des Aufbaus.

3.2 Justierung

Zunächst wird der Strahlengang im Interferometer durch Ausrichtung der Bodenplatten der Spiegel sowie Einstellen der Feinjustierschrauben ausgerichtet. Dazu werden zunächst die Spiegel M1 und M2 abwechselnd so ausgerichtet, dass der vom PBSC transmittierte Strahl (dieser ist p-polarisiert) mittig auf Spiegel M_A fällt. Dazu werden die Justageplatten benutzt und der reflektierte (s-polarisierte) Strahl wird abgeschirmt. Anschließend wird der reflektierte Strahl auf die selbe Weise auf Spiegel M_C ausgerichtet. Die von M_A und M_C kommenden Strahlen, die auf Spiegel M_B treffen sollen, werden ebenfalls mit Hilfe der Justageplatten justiert. Schließlich wird Spiegel M_B ausgerichtet und die Strahlen treffen sich im PBSC.

Damit die nun überlappenden, noch senkrecht zueinander polarisierten Strahlen interferieren können, wird ein Polarisationsfilter hinter dem Interferometer eingesetzt. Dieser wird auf 45° gestellt, sodass die Strahlen in derselben Polarisationssebene liegen und ein Muster aus Interferenzstreifen entsteht. Die Streifen entstehen dadurch, dass die Strahlen nicht

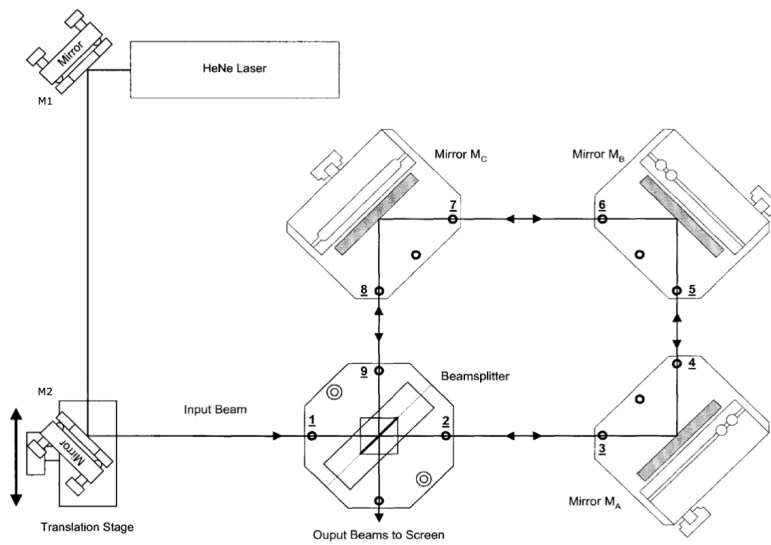


Abbildung 2: Der Aufbau des Sagnac-Interferometers. Der Strahlengang ist durch die Linien dargestellt und die Ausbreitungsrichtung der Wellen durch Pfeile gekennzeichnet. [1]

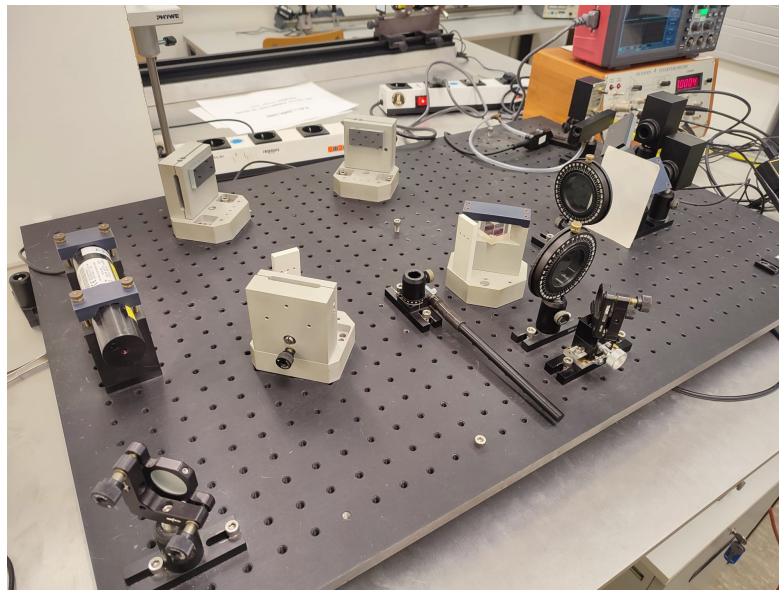


Abbildung 3: Foto des Aufbaus, mit dem der Versuch durchgeführt wurde.

perfekt ausgerichtet sind und unter einem Winkel auf den Schirm treffen. Die Spiegel werden nachjustiert, sodass die Streifen verschwinden und die Strahlen somit über die gesamte Länge parallel ausgerichtet sind.

Nun werden die überlappenden Strahlen in zwei horizontal zueinander versetzte Strahlen getrennt, indem Spiegel M2 bewegt wird und der transmittierte Strahl somit durch ein äußeres Loch der Justageplatte fällt. Die getrennten Strahlen fallen am Ende wieder zu einem Strahl zusammen. Auftretende Interferenzstreifen werden durch Nachjustierung entfernt.

In den Strahlengang werden zwei Glasplatten der Dicke $D = 1\text{ mm}$ eingesetzt, die zueinander um 20° verkippt sind. Diese werden in einen Rotationshalter eingebaut, sodass sie gedreht werden können. Die Platten werden jeweils von einem der beiden Strahlen getroffen. Der hinter dem Interferometer platzierte Polarisationsfilter wird entfernt und der Strahl trifft stattdessen auf einen zweiten PBSC, der die Polarisationen erneut trennt und auf zwei Dioden projiziert. Auf das Interferometer wird schließlich eine Haube gesetzt, damit Luftschwankungen den Versuch nicht beeinflussen.

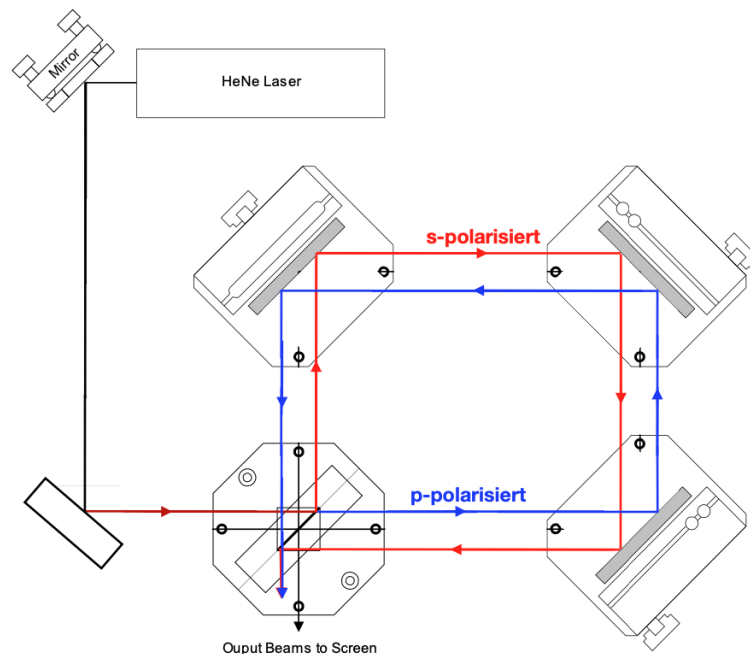



Abbildung 4: Der Strahlengang im Interferometer nach Aufteilen  beider Strahlen. Der transmittierte Strahl ist in blau dargestellt, der reflektierte in rot. [4]

3.3 Messung

Kontrast des Interferometers

Um den Kontrast des Interferometers zu bestimmen, wird der Winkel des Polarisationsfilters zwischen 0° und 180° in 15° -Schritten variiert und dabei jeweils die Diodenspannung des Interferenzmaximums und des Interferenzminimums aufgenommen. Die Maxima und Minima werden durch Drehung der Glasplatten gefunden.

Anschließend wird der Polarisationsfilter auf den Winkel eingestellt, bei dem der Kontrast am höchsten, also die Qualität des Interferometers am besten ist. Hier beträgt dieser Winkel $\phi = 130^\circ$.

Brechungsindex von Glas

Der Brechungsindex des verwendeten Glases soll bestimmt werden. Hierbei wird die Differenzspannungsmethode verwendet. Beide Dioden messen also die Spannung und die Differenz wird mit Hilfe eines Operationsverstärkers gebildet. Die Anzahl der Nulldurchgänge entspricht der Anzahl der Interferenzmaxima. Der Vorteil dieser Methode ist es, dass mögliches Rauschen gefiltert wird und die Steigung um den Nulldurchgang größer ist.

Der Glashalter wird gedreht, während die Anzahl der Nulldurchgänge mit einem Zählwerk, auf das die Differenzspannung gegeben wird, gezählt wird. Die Messung wird zehn mal wiederholt.

Brechungsindex von Luft

In diesem Teil des Versuchs wird ebenfalls die Differenzspannungsmethode verwendet. Um den Brechungsindex von Luft zu bestimmen, wird eine Gaszelle mit einer Länge von $L = 100 \pm 0.1\text{mm}$ in den Strahlengang eingebaut. Ein Strahl läuft durch die Gaszelle, der andere verläuft frei. Die Zelle wird zunächst evakuiert. Anschließend wird Luft wieder langsam eingeleitet und die Anzahl der Maxima und Minima wird in Abhängigkeit des Drucks gemessen. Dazu wird die Anzahl jeweils nach 50 mbar abgelesen. Das Ganze wird drei mal wiederholt. Die Temperatur im Versuchsraum wird gemessen. Diese beträgt $19,4^\circ\text{C}$.

4 Auswertung

Im folgenden Abschnitt werden die erhaltenen Messwerte ausgewertet und die Ergebnisse diskutiert.

4.1 Bestimmung des maximalen Kontrasts

Um bei den eigentlichen Interferenzmessungen das bestmögliche Ergebnis zu erzielen, ist die Einstellung des optimalen Kontrasts notwendig. Der Kontrast ist definiert als

$$K = \frac{U_{\text{Max}} - U_{\text{Min}}}{U_{\text{Max}} + U_{\text{Min}}}.$$

Hierbei steht U für die jeweilig gemessene Maximal- und Minimalspannung. Um den größtmöglichen Kontrast zu bestimmen, wird der erste Polfilter über einen Bereich von 0 bis 180° variiert und mit Hilfe der drehbaren Schraube am Glasbehälter eine maximale und eine minimale Spannung am Multimeter eingestellt. Die aufgenommenen Messwerte und sich ergebenden Kontraste sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Messwerte der unterschiedlichen Spannungen.

Winkel / °	U_{max} / mV	U_{min} / mv	Kontrast
0	992	877	0,0620
15	820	430	0,3120
30	730	150	0,6590
45	850	61	0,8660
60	1137	77	0,8730
75	1310	346	0,5820
90	1200	848	0,1720
105	1970	719	0,4650
120	2800	216	0,8570
135	3170	158	0,9050
150	2680	409	0,7350
165	1860	808	0,3940
180	1076	950	0,0620

Die Messwerte lassen vermuten, dass im Bereich zwischen 120° und 135° der maximale Kontrast liegen wird. Weitere Einzelmessungen haben bestätigt, dass der maximale Kontrast $K = 0.919$ bei 130° liegt. Dieser Winkel wurde für alle weiteren Messungen am Polfilter eingestellt und beibehalten.

Mit Hilfe der Messwerte lässt sich ein Zusammenhang zwischen dem Kontrast und dem Drehwinkel graphisch darstellen. Dieser Plot ist in Abbildung 5 dargestellt.

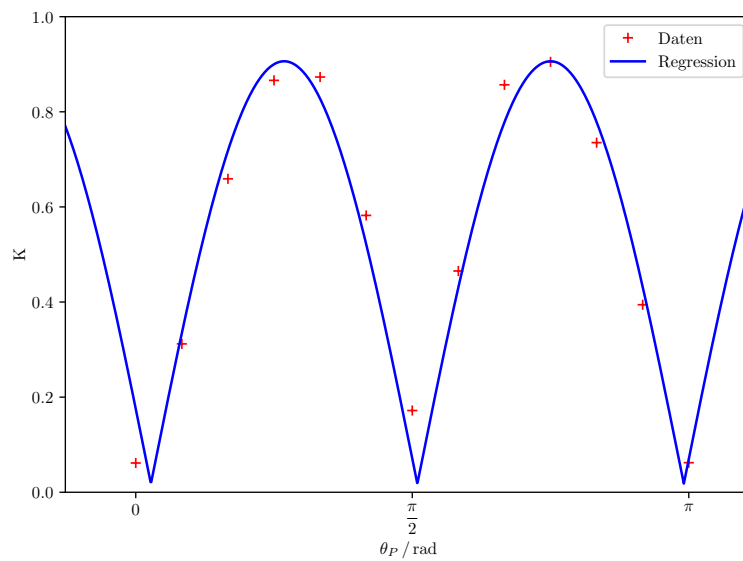


Abbildung 5: Winkelabhängigkeit des Kontrasts.

Der Kontrast hängt mit dem Polarisationswinkel θ über

$$K(\theta) = |\alpha \sin(\beta\theta + \gamma)| + \delta$$

zusammen. Die Fitparameter haben die Werte

$$\alpha = -0,89 \pm 0,06$$

$$\beta = 2,008 \pm 0,029$$

$$\gamma = (-0,18 \pm 0,05)^\circ$$

$$\delta = 0,020 \pm 0,030$$

4.2 Bestimmung des Brechungsindex von Glas

Der Brechungsindex von Glas wird mit Hilfe der Differenzspannungsmethode bestimmt. Dazu trifft der Laserstrahl auf einen um 45° gedrehten PBSC und anschließend in zwei Dioden. In dem PBSC wird die Polarisationsrichtung der überlappenden Laserstrahlen um 45° gedreht, sodass beide Laserstrahlen entweder p- oder s-polarisiert sind.¹ Das detektierte Signal wird mit einer Operationsverstärkerschaltung verarbeitet und auf einem Oszilloskop abgebildet. Mit der Differenzspannungsmethode ist es möglich ein wesentlich rauschärmeres Signal zu bekommen.

Der Brechungsindex lässt sich bestimmen, indem der Rotationswinkel an der Stellschraube des Glasbehälters über einen Bereich von 10° verändert wird und die dabei auftretenden

¹Es spielt keine Rolle ob beide p-polarisiert oder beide s-polarisiert sind, die Hauptsache ist, dass sie eine einheitliche Polarisation aufweisen.

Maxima/Nulldurchgänge am Oszilloskop gezählt werden. In Tabelle 2 sind die Anzahlen der aufgetretenen Maxima dargestellt.

Tabelle 2: Gemessene Anzahl der Maxima bei Rotation des Glases.

Anzahl der Maxima
32
34
34
40
33
38
34
33
35
34

Im Mittel sind demnach 34,7 Maxima aufgetreten.

Mit Gleichung 4 ergibt sich ein Brechungsindex von 1,566  021.

Hierbei ist $D = 1\text{ mm}$ die Dicke des Glases, $\lambda = 632,990\text{ nm}$ die Wellenlänge des Lasers, M die Anzahl der Maxima, θ_0 der Verkipfungswinkel der Gläser im Glashalter und θ der Drehwinkel über einen Bereich von 10° .

4.3 Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Als letzten Schritt wird im Experiment der Brechungsindex von Luft bestimmt. Dazu wird in den Strahlengang eines Laserstrahls eine längliche Druckkammer eingeführt, welche an einer Pumpe angeschlossen ist. Die Kammer wird evakuiert und anschließend wird in 50 mbar Schritten der Druck wieder hinein gelassen. Dadurch lassen sich wieder mit Hilfe des Oszilloskops oder der Zählautomatik die Maxima/Nulldurchgänge zählen. Der Brechungsindex für die unterschiedlichen Drücke berechnet sich nach Gleichung 3. Die verschiedenen Drücke, Maxima und Brechungsindizes sind in Tabelle 3, Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 3: Drücke, Maxima und Brechungsindizes der ersten Messreihe.

Druck / mbar	M1	n1
50	3	$1,000\,018\,99 \pm 0,000\,000\,02$
100	5	$1,000\,031\,65 \pm 0,000\,000\,03$
150	7	$1,000\,044\,31 \pm 0,000\,000\,04$
200	9	$1,000\,056\,97 \pm 0,000\,000\,06$
250	11	$1,000\,069\,63 \pm 0,000\,000\,07$
300	14	$1,000\,088\,62 \pm 0,000\,000\,09$
350	16	$1,000\,101\,28 \pm 0,000\,000\,10$
400	18	$1,000\,113\,94 \pm 0,000\,000\,11$
450	20	$1,000\,126\,60 \pm 0,000\,000\,13$
500	22	$1,000\,139\,26 \pm 0,000\,000\,14$
550	24	$1,000\,151\,92 \pm 0,000\,000\,15$
600	26	$1,000\,164\,58 \pm 0,000\,000\,16$
650	28	$1,000\,177\,24 \pm 0,000\,000\,18$
700	30	$1,000\,189\,90 \pm 0,000\,000\,19$
750	32	$1,000\,202\,56 \pm 0,000\,000\,20$
800	34	$1,000\,215\,22 \pm 0,000\,000\,22$
850	36	$1,000\,227\,88 \pm 0,000\,000\,23$
900	39	$1,000\,246\,87 \pm 0,000\,000\,25$
950	41	$1,000\,259\,53 \pm 0,000\,000\,26$
1000	43	$1,000\,272\,19 \pm 0,000\,000\,27$

Tabelle 4: Drücke, Maxima und Brechungsindizes der zweiten Messreihe.

Druck / mbar	M2	n2
50	3	$1,000\,018\,99 \pm 0,000\,000\,02$
100	5	$1,000\,031\,65 \pm 0,000\,000\,03$
150	7	$1,000\,044\,31 \pm 0,000\,000\,04$
200	9	$1,000\,056\,97 \pm 0,000\,000\,06$
250	12	$1,000\,075\,96 \pm 0,000\,000\,08$
300	14	$1,000\,088\,62 \pm 0,000\,000\,09$
350	16	$1,000\,101\,28 \pm 0,000\,000\,10$
400	18	$1,000\,113\,94 \pm 0,000\,000\,11$
450	21	$1,000\,132\,93 \pm 0,000\,000\,13$
500	23	$1,000\,145\,59 \pm 0,000\,000\,15$
550	25	$1,000\,158\,25 \pm 0,000\,000\,16$
600	27	$1,000\,170\,91 \pm 0,000\,000\,17$
650	29	$1,000\,183\,57 \pm 0,000\,000\,18$
700	31	$1,000\,196\,23 \pm 0,000\,000\,20$
750	33	$1,000\,208\,89 \pm 0,000\,000\,21$
800	36	$1,000\,227\,88 \pm 0,000\,000\,23$
850	39	$1,000\,246\,87 \pm 0,000\,000\,25$
900	41	$1,000\,259\,53 \pm 0,000\,000\,26$
950	43	$1,000\,272\,19 \pm 0,000\,000\,27$
1000	45	$1,000\,284\,85 \pm 0,000\,000\,28$

Tabelle 5: Drücke, Maxima und Brechungsindizes der dritten Messreihe.

Druck / mbar	M3	n3
50	3	$1,000\,018\,99 \pm 0,000\,000\,02$
100	5	$1,000\,031\,65 \pm 0,000\,000\,03$
150	7	$1,000\,044\,31 \pm 0,000\,000\,04$
200	9	$1,000\,056\,97 \pm 0,000\,000\,06$
250	11	$1,000\,069\,63 \pm 0,000\,000\,07$
300	13	$1,000\,082\,29 \pm 0,000\,000\,08$
350	15	$1,000\,094\,95 \pm 0,000\,000\,09$
400	17	$1,000\,107\,61 \pm 0,000\,000\,11$
450	20	$1,000\,126\,60 \pm 0,000\,000\,13$
500	22	$1,000\,139\,26 \pm 0,000\,000\,14$
550	24	$1,000\,151\,92 \pm 0,000\,000\,15$
600	26	$1,000\,164\,58 \pm 0,000\,000\,16$
650	28	$1,000\,177\,24 \pm 0,000\,000\,18$
700	30	$1,000\,189\,90 \pm 0,000\,000\,19$
750	32	$1,000\,202\,56 \pm 0,000\,000\,20$
800	34	$1,000\,215\,22 \pm 0,000\,000\,22$
850	36	$1,000\,227\,88 \pm 0,000\,000\,23$
900	39	$1,000\,246\,87 \pm 0,000\,000\,25$
950	40	$1,000\,253\,20 \pm 0,000\,000\,25$
1000	43	$1,000\,272\,19 \pm 0,000\,000\,27$

Um den Brechungsindex bei 15 °C und 1013 mbar auszurechnen, werden zuvor die Brechungsindizes in Abhängigkeit der Drücke graphisch dargestellt und eine Regressionsgerade durch die Messwerte gelegt. Der Plot ist in Abbildung 6 zu sehen.

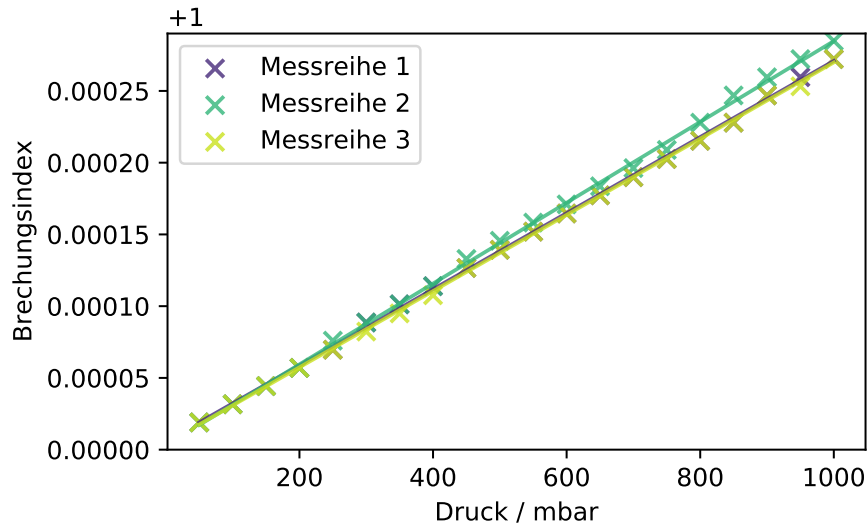


Abbildung 6: Brechungsindizes in Abhängigkeit des Druckes in der Druckkammer.

Die Fitfunktion lautet

$$f(x, a, b) = a \cdot \frac{x}{T \cdot R} + b.$$

Diese lässt sich aus dem Lorentz-Lorenz Gesetz ableiten. Hierbei ist R die ideale Gas-konstante, x der Druck und $T = 19,4^\circ\text{C}$ die gemessene Umgebungstemperatur. Die Fitparameter besitzen die Werte in Tabelle 6. Mit Hilfe der Fitparameter lässt sich

Tabelle 6: Ermittelte Regressionsparameter a und b .

Messung	$a / 10^{-4}\text{mbar}$	b
1	$6,463684482 \pm 0,03817077$	$0.99999093 \pm 0.000000093$
2	$6,865063548 \pm 0,04836478$	$1.00000269 \pm 0,000000118$
3	$6,472966905 \pm 0,03832592$	$1.00000852 \pm 0,000000094$

anschließend der Brechungsindex bei 15 °C und 1013 mbar berechnen. Der Brechungsindex für Luft ist $n = 1.0002844 \pm 0.0000012$.

5 Diskussion

Betrachtet man den Graphen in Abbildung 5, so lässt sich gut die Abhängigkeit des Kontrast vom Polarisationswinkel erkennen. Hätten wir in unserem Experiment für weitere Polarisationswinkel die Messpunkte eingetragen, wäre der Zusammenhang über Gleichung 1 noch besser zu erkennen. Bei ca. $\frac{\pi}{4}$ und bei $\frac{2\pi}{3}$ lassen sich die beiden Maxima des Kontrastes erkennen, was mit den theoretischen Überlegungen übereinstimmt. Werden dagegen die Randwerte 0, $\frac{\pi}{2}$ und π betrachtet, so verschwindet dort der Kontrast, was ebenfalls Sinn ergibt, da dann die beiden Laserstrahlen eine unterschiedliche lineare Polarisation aufweisen.

Der Brechungsindex von Glas wurde in unserem Experiment als $1,566 \pm 0,021$ bestimmt. Dieser Wert stimmt mit dem theoretischen Wert für Glas $n_{\text{lit, Glas}} = 1,5$ überein. Allerdings kann keine Aussage darüber getroffen werden, um welche Art von Glas es sich handelt. Demnach kann die Übereinstimmung nur von größenordnungstechnischer Natur sein.

Der bestimmte Wert des Brechungsindex von Luft ist $n = 1,0002844 \pm 0,0000012$. Dieser Wert weicht vom Literaturwert $n_{\text{lit, Luft}} = 1,000272[2]$ um $0,000012$ ab. Der bestimmte Brechungsindex stimmt also sehr gut mit dem tatsächlichen Wert überein. Trotzdem ist anzumerken, dass das Sagnac-Interferometer zwar sehr präzise ist, aber dadurch auch sehr empfindlich. Während des Versuchs ist es darum nötig eine Abdeckung, z.B. aus Plexiglas, über den Strahlengang zu legen, da sonst geringe Luftzirkulationen ausreichen, um die Messergebnisse gravierend zu ändern.

Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V64 - Moderne Interferometrie*.
- [2] Dr. Daniel Lingenhöhl. *Brechzahl*. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/brechzahl/1958>.
- [3] Edmund Optics. *Introduction to Polarization*. 2018. URL: <https://www.edmundoptics.de/knowledge-center/application-notes/optics/introduction-to-polarization/>.
- [4] Inc. TeachSpin. *TeachSpin's Modern Interferometry*. *Conceptual Introduction to the Experiment*. 2017. URL: <https://drive.google.com/file/d/0B1nZP55TUGJMN1VyUWhFT0tnVDg/view,%20https://www.teachspin.com/modern-interferometry>.
- [5] Inc. Thorlabs. *Broadband Polarizing Beamsplitter Cubes*. 2020. URL: https://www.thorlabs.de/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=739.