

V64: Moderne Interferometrie

Simon Schulte
simon.schulte@udo.edu

Tim Sedlaczek
tim.sedlaczek@udo.edu

Durchführung: 13.06.2018

Abgabe: 15.06.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

1 Theorie

2 Auswertung

2.1 Fehlerrechnung

Für die Fehlerrechnung sowie den mathematischen Teil der Auswertung wird auf PYTHON [Fou17] zurückgegriffen:

Die in der Auswertung verwendeten Mittelwerte mehrfach gemessener Größen sind gemäß der Gleichung

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

bestimmt. Dieser ist implementiert durch die Funktion MEAN aus dem Paket NUMPY [Oli07]. Die Standardabweichung des Mittelwertes ergibt sich dabei zu

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (2)$$

Dieser wird durch die SCIPY.STATS [JOP+] Funktion SEM berechnet. Fehlerfortpflanzung wird durch die Bibliothek UNCERTAINTIES [Leb] automatisiert. Regressionen sowie deren Fehler wurden durch die NUMPY Funktion CURVE-FIT berechnet. Grafiken wurden mit MATPLOTLIB [Hun07] erstellt.

2.2 Kontrastmessung

Um den Kontrast zu bestimmen werden an einer Photodiode abfallende Minimal- und Maximalspannungen für verschiedene Polarisatorstellungen θ_P gemessen. Die gemessenen Werte und die damit errechneten Kontrastwerte nach (??) sind in Tabelle 1 zu sehen. Der Kontrast, der abhängig von eingestellten Winkel ist, wird nach (??) mit einer Funktion

$$K(\theta_P) = |\alpha \sin(\beta\theta_P + \gamma)| + \delta \quad (3)$$

gefittet. Dabei ergeben sich die Parameter:

$$\begin{aligned} \alpha &= 0,758 \pm 0,003 \\ \beta &= 1,916 \pm 0,035 \\ \gamma &= (-0,087 \pm 0,031)^\circ \\ \delta &= 0,007 \pm 0,025 \end{aligned} \quad (4)$$

Der dazugehörige Fit ist in Abbildung 1 dargestellt. Um den Kontrast optimal unteruschen zu können, wird das Maximum der Kontrastfunktion (3) gesucht. Dafür nutzt man die Ableitung und es ergibt sich die notwendige Bedingung:

$$\frac{dK(\theta_P)}{d\theta_P} = \alpha\beta \cos(\beta\theta_P + \gamma) \stackrel{!}{=} 0.$$

Mit Hilfe von

$$\beta\theta_{\text{P,max}} + \gamma = \frac{\pi}{2} \leftrightarrow \theta_{\text{P,max}} = \frac{\frac{\pi}{2} - \gamma}{\beta}$$

folgt, mit Hilfe der Fitparameter aus (4) ein Wert von

$$\theta_{\text{P,max}} = (49,6 \pm 1,3)^\circ.$$

Die folgenden Messungen wurden bei dieser Polarisatorstellung durchgeführt.

Tabelle 1: Die Mess- und Kontrastwerte K .

$\theta_{\text{P}} / ^\circ$	$I_{\text{max}} / \text{V}$	$IU_{\text{min}} / \text{V}$	K
0	-4.31	-3.72	0.07
10	-3.62	-2.31	0.22
20	-3.22	-1.28	0.43
30	-2.94	-0.72	0.61
35	-2.92	-0.67	0.63
40	-3.08	-0.53	0.70
45	-3.23	-0.47	0.75
50	-3.56	-0.41	0.80
55	-3.88	-0.50	0.77
60	-4.28	-0.75	0.70
70	-5.03	-1.06	0.65
80	-5.25	-2.19	0.41
90	-4.84	-3.72	0.13

2.3 Brechungsindex von Glas

Um einen brauchbaren Zusammenhang zur Bestimmung des Brechungsindex der Glasplättchen zu erhalten, sind einige Vorüberlegungen notwendig. Die Glasplättchen sind in einem relativen Winkel $\Theta = 2\theta_0 = 2 \cdot 10^\circ$ zueinander angeordnet. Gleichung (??) muss daher um den Winkel $\pm\theta_0$ taylorentwickelt werden. Terme ab θ^2 werden dabei vernachlässigt. Es ergibt sich:

$$\begin{aligned}\mathcal{T}_{(1)}M(\theta, \theta_0) &= \frac{T}{\lambda} \cdot \frac{n-1}{2n} (\theta_0^2 + 2\theta_0(\theta - \theta_0)), \\ \mathcal{T}_{(1)}M(\theta, -\theta_0) &= \frac{T}{\lambda} \cdot \frac{n-1}{2n} (\theta_0^2 - 2\theta_0(\theta + \theta_0)).\end{aligned}$$

Um einen Zusammenhang für den Brechungsindex des Scheibenmaterials zu erhalten, muss die Differenz der beiden Entwicklungen gebildet werden. Umgestellt nach n folgt:

$$n = \left(1 - \frac{\lambda M}{2T\theta_0\theta}\right)^{-1}. \quad (5)$$

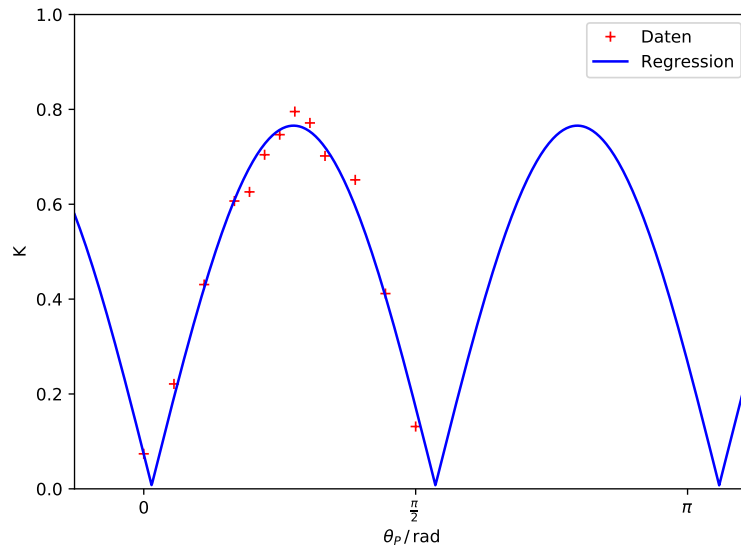


Abbildung 1: Der Kontrast K des Interferometers in Abhängigkeit von der Polarisatorstellung θ_P mit einer Regression.

Die mit (5) und einer Plättchendicke von $T = 1 \text{ mm}$ sowie einer Laserwellenlänge von 633 nm aus den Messdaten erhaltenen Werte finden sich in Tabelle 2, wobei $\theta_0 = 10^\circ$ gilt. Es wurden 5 Messreihen aufgenommen. Mittelung über die Messwerte aller Messreihen liefert einen Wert von:

$$n_{\text{Glas}} = 1,561 \pm 0,012.$$

Tabelle 2: Messwerte mit Brechungsindizes der 5 Messreihen. Es wurde ein Intervall von 10° abgefahren.

M	n
34	1.60
34	1.55
35	1.57
35	1.57
35	1.52

2.4 Brechungsindex von Luft

Messwerte und nach (??) bestimmte Brechungsindizes sind in Tabelle 3 dargestellt. Alle Interferenzstreifenmessungen wurden mit einem Fehler von ± 2 versehen, da es bei der Rückkehr auf Umgebungsdruck in der Gaszelle zu Fehlzählungen kommt. Die Länge der Zelle beläuft sich auf $L = 10 \text{ cm}$. Wieder beträgt die Laserwellenlänge 633 nm .

Es ergibt sich also ein Wert von

$$n_{\text{Luft}} = 1,000\,268 \pm 0,000\,013.$$

Tabelle 3: Gezählte Interferenzstreifen M mit berechneten Brechungsindizes für Luft und Mittelwert \bar{n} .

M	n
43 ± 2	$1,000\,272 \pm 0,000\,013$
42 ± 2	$1,000\,266 \pm 0,000\,013$
42 ± 2	$1,000\,266 \pm 0,000\,013$
\bar{n}	$1,000\,268 \pm 0,000\,013$

3 Diskussion

Tabelle 4: Übersicht über die Messergebnisse mit Literaturwerten.

	Messung	Literatur
n_{Glas}	$1,561 \pm 0,012$	1,5 [Phy18, S. 11-5]
$n_{\text{Luft}, 633\text{nm}}$	$1,000\,268 \pm 0,000\,013$	1,000 277 [Pol96]

Tabelle 4 beinhaltet die gemessenen und die Literaturwerte. Es zeigt sich, dass der Literaturwert für die Luftmessung in der Messungenauigkeit liegt. Der in dem Versuch errechnete Wert für die Glasmessung hat allerdings nur eine sehr kleine Abweichung zum Literaturwert. Das könnte eventuell an dem verwendeten Glas liegen. Dies könnte eine andere Zusammensetzung haben, als das, das für den Literaturwert genutzt wurde. Bei der Messung des Brechungsindex' von Luft konnte das Fehlerintervall nur getroffen werden, da die Interferenzstreifenanzahl nicht als fehlerfrei angesehen werden konnte und ein pauschaler Fehler von ± 2 angenommen wurde. Es konnte außerdem beobachtet werden, dass manchmal die Interferenzstreifen von der Ausleseelektronik nicht aufgenommen werden konnten, da der Druck in der Gaszelle etwas zu rasant anstieg. Daher ist hier ein systematischer Fehler nicht auszuschließen. Dennoch ist der errechnete Wert ziemlich präzise am Literaturwert.

Als weitere Fehlerquelle ergibt sich auch die Justage des Interferometers. Bei der Kontrastfunktion zeigt sich eine relativ eindeutige $\frac{\pi}{2}$ -Periode und auch das Maximum ist in dem zu erwarteten Bereich. Allerdings sind auch Fehler sichtbar, die durch eine bessere Justage verbessert werden könnten. Dadurch würde sich ein besserer Kontrastwert ergeben und damit wäre das Auflösungsvermögen des Interferometers besser.

Literatur

- [Fou17] Python Software Foundation. „Python“. Version 3.6.3. In: (2017). URL: <http://python.org/>.
- [Hun07] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [JOP+] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [Leb] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [Oli07] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [Phy18] TU Dortmund Physikalisches Praktikum der Fakultät Physik. *V64: Interferometrie*. 19. Juni 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/FP/SKRIPT/Interferometrie.pdf>.
- [Pol96] Mikhail Polyanskiy. *Optical constants of Air*. 1996. URL: <https://refractiveindex.info/?shelf=other&book=air&page=Ciddor>.