

Durchführung: 25.04.2017

Abgabe: 02.05.2017

2. Abgabe: 16.05.2017

PRAKTIKUMSPROTOKOLL V401

MICHELSON-INTERFEROMETER

Anneke Reinold¹,
Vanessa Sulaiman²

¹anneke.reinold@tu-dortmund.de

²vanessa.sulaiman@tu-dortmund.de

1 Einleitung

In diesem Versuch werden unter Nutzung von Interferenzeffekten, welche mit einem Michelson-Interferometer erzeugt werden, mehrere optische Größen bestimmt.

2 Theorie

Wird angenommen, dass Licht sich als elektromagnetische Welle ausbreitet, so kann diese durch

$$\vec{E}(x, t) = \vec{E}_0 \cos(kx - \omega t - \delta) \quad (1)$$

beschrieben werden. Hierbei ist k die Wellenzahl, wobei $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ gilt. Des Weiteren ist sie abhängig von der Wellenlänge λ , der Kreisfrequenz ω und einem Phasenwinkel δ , der in Bezug zu einem festen Orts- und Zeitnullpunkt steht. Somit wird auch angenommen, dass Lichtausbreitung unter den Maxwellschen Gleichungen stattfindet. Im Folgenden ergibt sich daraus eine Formel für die Intensität I :

$$I = \text{const} |\vec{E}|^2 \quad (2)$$

Beim Stattfinden einer Überlagerung zweier Lichtwellen, die die Feldstärke E_1 und E_2 besitzen, folgt, dass Lichtintensitäten nicht einfach addiert werden können. Vielmehr muss ein sogenannter Interferenzterm ergänzt werden, der die Größe

$$2\text{const} \vec{E}_0^2 \cos(\delta_2 - \delta_1) \quad (3)$$

besitzt.

Durch verschiedene Phasenverschiebungen kann die Gesamtintensität bis $\pm 2\text{const} \vec{E}_0^2$ zum Mittelwert abweichen oder gar verschwinden, wenngleich die Einzelintensitäten beide ungleich Null sind. Dies tritt auf, sollte

$$\delta_2 - \delta_1 = (2n + 1)\pi, \quad n = 0, 1, 2, 3... \quad (4)$$

sein. Es ist anzumerken, dass nicht immer bei Überlagerung von Licht zweier verschiedener Quellen diese Interferenzeffekte auftreten. Als inkohärent wird Licht bezeichnet, das aufgrund der Emission von endlichen Wellenzügen mit wechselnden Phasenkonstanten nicht interferieren kann. Zur Beobachtung von Interferenz ist es insofern nötig, kohärentes Licht zu erzeugen. Das heisst, dass es durch eine Wellengleichung mit fester Wellenzahl, fester Phasengeschwindigkeit und festem Phasenwinkel beschrieben sein muss. Die einfachste Möglichkeit kohärentes Licht zu erzeugen besteht darin, unter Zuhilfenahme eines Strahlteilers, eine Überlagerung von Lichtwellen derselben Quelle zu erzeugen. Ein geeigneter Aufbau ist in Abbildung 1 zu sehen.

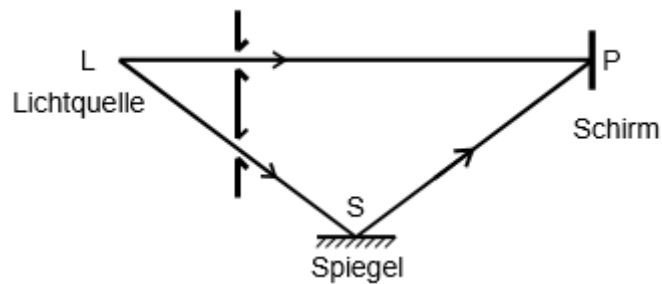


Abbildung 1: Konventioneller Versuchsaufbau zur Erzeugung von Interferenzeffekten[1].

Durch die unterschiedlichen Strahlenwege kommt es zu einer Phasenverschiebung Δ zwischen den beiden Lichtquellen. Für den Interferenzeffekt notwendig ist es zu einem, dass die Phasenverschiebung nicht viel größer als die endliche Länge des Wellenzugs ist und zum anderen, dass die Wegunterschiede der überlagerten Teilstrahlen nicht zu groß werden. Verschwindet gerade die Interferenz, spricht man von der Kohärenzlänge ℓ . Sie ergibt sich durch

$$\ell = N\lambda. \quad (5)$$

Hierbei gibt N die Anzahl der am Schirm beobachteten Intensitätsmaxima an. Mit dem Theorem von Fourier folgt, dass ein Wellenzug von endlicher Länge nicht monochromatisch sein kann.

3 Aufbau

Für das Erzeugen von Interferenzen wird ein Lichtstrahl aufgeteilt, sodass er sich in mindestens zwei Teile aufteilt. Sodann wird einer der Strahlen verändert und mit dem oder den übrigen Strahlen wieder zusammengeführt. Zu sehen ist in Abbildung 2 der Aufbau und die Funktionsweise des Michelson-Interferometers.

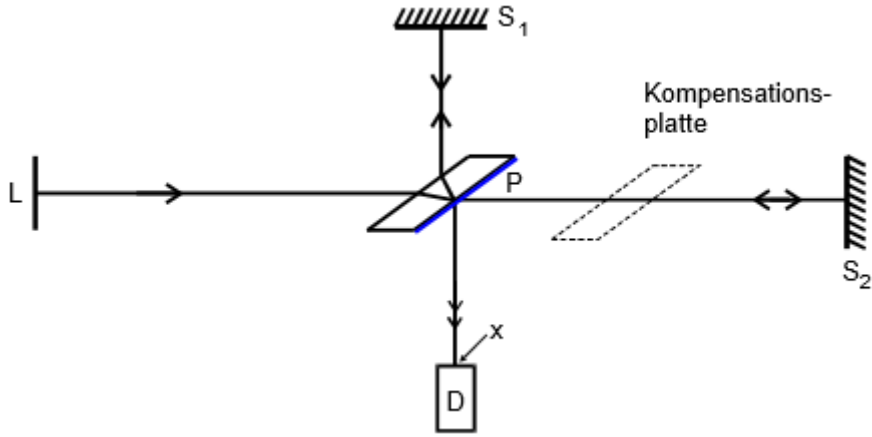


Abbildung 2: Aufbau eines Michelson-Interferometers[1].

Hier erfolgt das Teilen des von der Quelle kommenden Lichtstrahls im Punkt P durch eine semipermeable Platte. Ein Teil des Lichts wird an der Platte senkrecht reflektiert, wohingegen der andere Teil gerade durch sie hindurchgeht und auf Spiegel S_2 trifft. Die reflektierten Strahlen werden lotrecht an den Spiegeln S_1 und S_2 zurückgeworfen und durchlaufen erneut die Platte am Punkt P. Jeweils ein Strahlenbündel läuft zum Punkt D weiter, an dem sich ein Lichtdetektor befindet. Als kohärent bezeichnet werden können sie, wenn die optische Weglänge kleiner als die Kohärenzlänge der Quelle ist. Es sollten die Abstände $\overline{S_1P}$ und $\overline{S_2P}$ als gleich gewählt werden. Die Kompensationsplatte dient dafür, die optische Weglänge auszugleichen, da der Strahl zwischen $\overline{S_1P}$ die Platte einmal durchläuft, der Strahl zwischen $\overline{S_2P}$ aber gleich dreimal. Sollten beide Abstände gleich sein, ist der Gangunterschied zwischen beiden Teilstrahlen $\frac{\lambda}{2}$. Dies macht sich durch die Überlagerung erzeugte Auslöschung am Schirm bemerkbar. Durch Verschieben des Spiegels um einen Abstand Δd kann eine Änderung des Intensitätsmusters am Detektor erzwungen werden und im Folgenden die Wellenlänge λ über

$$\Delta d = \frac{N\lambda}{2} \quad (6)$$

bestimmt werden. Wie auch für die Durchführung des Versuchs nötig, kann ein Veränderung des Wegunterschiedes auch dadurch erreicht werden, dass der Lichtstrahl ein anderes Medium mit einem Brechungsindex $n + \Delta n$ durchläuft. Wie in Abbildung 3 dargestellt, beträgt der optische Wegunterschied der Strahlen Δnb .

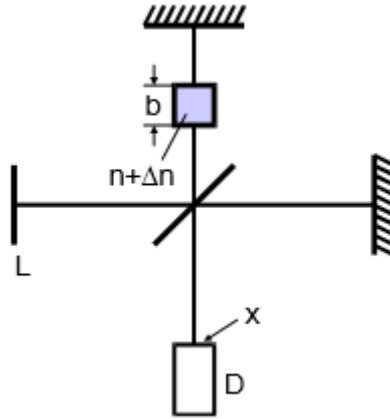


Abbildung 3: Versuchsaufbau für die Messung kleiner Brechungsindexdifferenzen[1].

Weiterhin gilt

$$b\Delta n = \frac{N\lambda}{2}. \quad (7)$$

Soll der Brechungsindex unter Normalbedingung angegeben werden, gilt

$$n(p_0, T_0) = 1 + \Delta f \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p - p'}. \quad (8)$$

Durch Umstellen von 7 und Einsetzen in 8 erhält man mit

$$f = \frac{N\lambda}{2b}, \quad (9)$$

sodass

$$n(p_0, T_0) = 1 + \frac{N\lambda}{2b} \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{\Delta p} \quad (10)$$

gilt.

4 Durchführung

Der generelle Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 zu sehen. Zu Beginn des Versuchs muss der Aufbau justiert werden. Dazu wird der eine Spiegel so justiert, dass die beiden am Schirm ankommenden Strahlen sich decken. Die erste Messung, die erfolgen soll, ist die Wellenlängenmessung mithilfe des Interferometers. Hierzu wird der verschiebbare Spiegel mithilfe eines Motorantriebes verschoben. Notiert wird die Gesamtverschiebung des Spiegels d und die Anzahl vom Photoelement gemessener Interferenzmaxima, die im Minimum bei 1000 Anzahlen liegen sollte. Bei dem zweiten Teil des Versuchs wird der Brechungsindex von Luft gemessen. Der Spiegel ruht und die Messzelle wird auf einen Druck p evakuiert und sodann werden unter Wiederreinlassen von Luft die Interferenzmaxima gezählt. Nach Herstellen des Normaldrucks wird die Messung wiederholt.

Zur Messung des Brechungsindex von Kohlenstoffdioxid wird wie bei der Messung zuvor vorgegangen. Insgesamt werden je Messart 10 Messungen durchgeführt.

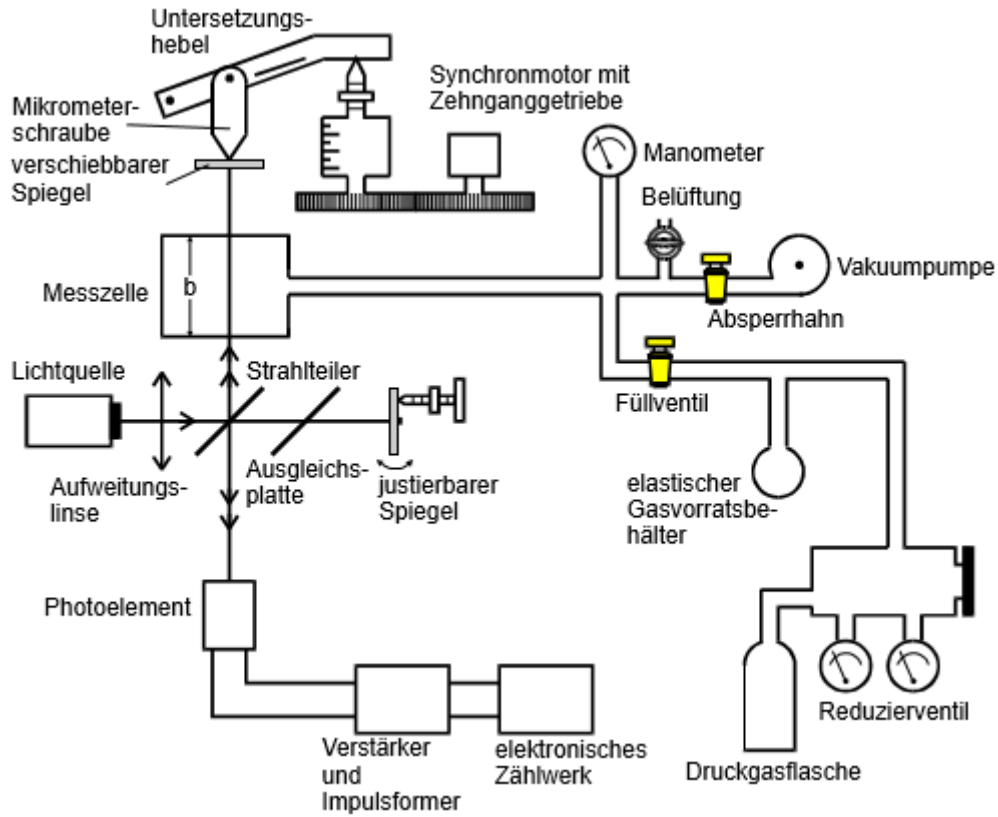


Abbildung 4: Darstellung des gesamten Versuchsaufbaus[1].

5 Auswertung

Im Folgenden wird der Mittelwert immer durch

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (11)$$

und dessen Standardabweichung durch

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (12)$$

berechnet.

Zunächst wird die Wellenlänge aus Formel (6) berechnet. Dabei muss jedoch berücksichtigt werden, dass die abgelesene Verschiebung durch die Hebelübersetzung geteilt werden

muss, sodass sich als Formel für die Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{N\ddot{U}} \quad (13)$$

mit der Hebelübersetzung

$$\ddot{U} = 5,046$$

ergibt. Die Messwerte und die einzeln berechneten Wellenlängen sind in Tabelle 1 aufgetragen.

Tabelle 1: Messung der Wellenlänge.

Δd / mm	N	λ / nm
3	1268	937,74
3	1278	930,41
2	1014	781,76
4	1424	1113,35
2	1137	697,19
2	1094	724,60
3	1550	767,14
2	1161	682,78
2	1137	697,19
3	1379	862,26

Aus den Wellenlängen ergeben sich der Mittelwert und dessen Standardabweichung

$$\lambda = (819,442 \pm 44,252) \text{ nm} .$$

Weiterhin werden die Brechungsindizes nach Formel (10) mit

$$p_0 = 1,0132 \text{ bar}$$

$$T_0 = 273,15 \text{ K}$$

$$T = 293,15 \text{ K}$$

$$b = 50 \text{ mm}$$

berechnet. Die Messwerte und die berechneten Brechungsindizes für Luft befinden sich in Tabelle 2, die entsprechenden Werte für CO₂ in Tabelle 3.

Tabelle 2: Messung des Brechungsindex von Luft

Δp / bar	N	n
0,74	33	1,000 397
0,74	31	1,000 373
0,72	31	1,000 384
0,76	31	1,000 363
0,74	31	1,000 373
0,74	31	1,000 373
0,74	30	1,000 361
0,74	30	1,000 361
0,74	30	1,000 361
0,74	30	1,000 361

Tabelle 3: Messung des Brechungsindex von CO₂

Δp / bar	N	n
0,75	39	1,000 463
0,74	46	1,000 554
0,74	48	1,000 578
0,74	52	1,000 626
0,74	45	1,000 542
0,74	38	1,000 458
0,74	49	1,000 590
0,74	50	1,000 602
0,74	39	1,000 470
0,74	46	1,000 554

Für Luft ergibt sich ein Mittelwert von

$$n_{\text{Luft}} = 1,000\,370\,7 \pm 0,000\,003\,8$$

und für CO₂

$$n_{\text{CO}_2} = 1,000\,543\,7 \pm 0,000\,019\,1.$$

6 Diskussion

Die Wellenlänge des Lasers $\lambda = (819,442 \pm 44,252)$ nm hat eine hohe Standardabweichung und es ist auffällig, dass die Wellenlänge zu hoch für sichtbares Licht ist. Einige der Messwerte scheinen deutlich zu hoch zu sein. Ursache dafür könnte sein, dass der Detektor nicht jedes Maximum mitzählen konnte, sodass die Anzahl der Maxima zu niedrig ist. Dies erhöht die Wellenlänge, da diese proportional zu $\frac{1}{N}$ ist. In Tabelle 4 sind die Messwerte der Brechungsindizes aufgetragen und mit den Literaturwerten für n_{Luft} [2] und n_{CO_2} [3] verglichen. Dabei fällt auf, dass die Fehler von Δn relativ groß sind, obwohl die Abweichungen der Brechungsindizes klein sind. Allerdings sind die angegebenen Literaturwerte für die gemessene Wellenlänge des Lasers, da für diese kein genauer Literaturwert bekannt ist. Für realistischere Wellenlängen wird die Abweichung der Brechungsindizes größer, sodass keine wirkliche Aussage getroffen werden kann, wie gut das Messverfahren zur reinen Bestimmung der Brechungsindizes funktioniert. Auffällig war jedoch ebenfalls während der Messung der Brechungsindizes, dass der Zähler manchmal für einen Moment stockte und nicht jedes Maximum mitzählte.

Tabelle 4: Messergebnisse, Literaturwerte und Fehler der Brechungsindizes.

	Messergebnis	Literaturwert	Fehler für Δn in %
n_{Luft}	$1,000\,370\,7 \pm 0,000\,003\,8$	1,000 274 9	34,85
n_{CO_2}	$1,000\,543\,7 \pm 0,000\,019\,1$	1,000 444 3	22,37

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 401*. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V401.pdf> (besucht am 04.04.2017).
- [2] Mikhail Polyanskiy. *refractiveindex.info*. URL: <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=Ag&page=Johnson> (besucht am 01.05.2017).
- [3] Mikhail Polyanskiy. *refractiveindex.info*. URL: <https://refractiveindex.info/?shelf=main&book=CO2&page=Bideau-Mehu> (besucht am 01.05.2017).