

V401

## **Michelson Interferometer**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 20.04.2021

Abgabe: 27.04.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theoretische Grundlage</b>	<b>3</b>
2.1 allgemeine Grundlagen . . . . .	3
2.2 Kohärenz . . . . .	3
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Wellenlängenmessung . . . . .	5
3.2 Brechungsindex Bestimmung . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>7</b>
<b>5 Diskussion</b>	<b>8</b>
<b>Literatur</b>	<b>8</b>

# 1 Zielsetzung

## 2 Theoretische Grundlage

In diesem Abschnitt wird die theoretische Grundlage des Versuches erläutert.

### 2.1 allgemeine Grundlagen

Licht ist eine elektromagnetische Welle. Eine ebene Welle in ihrer einfachsten Form lässt sich durch ihre elektrische Feldstärke in Orts- und Zeitabhängigkeit darstellen als

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

wobei  $x$  die Ortskoordinate,  $t$  die Zeit,  $k$  die Wellenzahl  $2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $\omega$  die Kreisfrequenz,  $\delta$  den Phasenwinkel, in Bezug auf einen festen Zeit- und Ortsnullpunkt, darstellt. Für Licht gilt im Allgemeinen das Superpositionsprinzip. Dies bedeutet, dass das elektrische Feld als eine Komposition aus vielen anderen Feldstärken dargestellt werden kann. Da die Feldstärken des Lichts auf Grund der hohen Frequenz in der Größenordnung  $10^{15}$  Hz nicht messen kann, kann diese aus der Intensität, mit dem Zusammenhang

$$I = \text{const} |\vec{E}|^2 ,$$

welche aus den Maxwell-Gleichungen berechnet werden. Für die Intensität gilt jedoch nicht das Superpositionsprinzip im klassischen Sinne. Falls die Wellen  $\vec{E}_1$  und  $\vec{E}_2$  an einem Ort  $x$  aufeinander treffen, ergibt sich unter der Bedingung, dass  $t_2 - t_1$  groß gegen die Periodendauer  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  ist, als

$$I_{\text{ges}} = \frac{C}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} |\vec{E}_1 + \vec{E}_2|^2(x, t) dt , \quad C \text{ konstant.} \quad (2)$$

Mit dem Zusammenhang (2.1) und dem Superpositionsprinzip ergibt sich für die Intensität

$$I_{\text{ges}} = 2 \cdot C \cdot \vec{E}_0^2 (1 + \cos(\delta_2 - \delta_1))$$

der sogenannte Interferenzterm

$$2C\vec{E}_0^2 .$$

Es fällt jedoch auf, dass je nach Phasenlage die Gesamtintensität um bis zu  $\pm 2C\vec{E}_0^2$  von ihrem Mittelwert  $2C\vec{E}_0^2$  abweicht und komplett verschwindet, für den Fall

$$\delta_2 - \delta_1 = (2n + 1)\pi , \quad n \in \mathbb{N}_0 . \quad (3)$$

### 2.2 Kohärenz

Außerhalb von Laborbedingungen fällt schnell auf, dass Interferenzeffekte selten beobachtet werden können. Dies hängt damit zusammen, dass die Phasenkonstanten bei

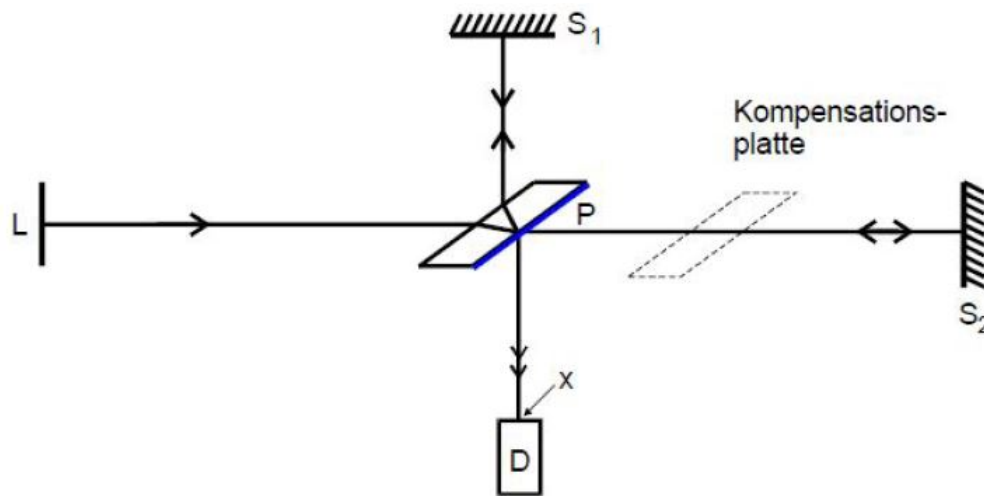
alltagsüblichen Quellen Funktionen der Zeit sind, sodass die Differenz  $\delta_2(t) - \delta_1(t)$  während der Beobachtung zwischen positiven und negativen Werten schwankt. Das bedeutet, dass wenn die Intensität über einen großen Zeitraum im Vergleich zu  $2 * \pi / \lambda$  gemittelt wird, der Interferenzterm verschwindet.

Um also Interferenzeffekte über einen großen Zeitraum zu beobachten wird Licht benötigt, dass eine konstante Phasenkonstante besitzt. Dieses Licht wird kohärentes Licht genannt. Kohärentes Licht lässt sich also immer durch eine einheitliche Gleichung, wie Gleichung (1), mit konstanten  $k, \omega$  und  $\delta$  beschreiben. Licht das im Alltag erfahren wird, ist in der Regel inkohärentes Licht, also Licht das sich nicht durch eine einheitliche Gleichung, wie Gleichung (1), mit konstanten  $k, \omega$  und  $\delta$  beschreiben lässt.

Daher wird im Versuch kohärentes Laserlicht benutzt.

### 3 Durchführung

Der Aufbau des Michelson Interferometers ist in Abbildung 1 dargestellt.



**Abbildung 1:** Aufbau eines Michelson-Interferometers. Mit Lichtquelle =  $L$ , dem Strahlenteiler =  $P$ , den Spiegel  $S_1$  und  $S_2$ , dem semipermeablen Spiegel  $P$  und dem Detektor  $D$  [5]

Zunächst muss der Aufbau so eingestellt werden, dass die beiden hellsten Punkte sich genau auf der Öffnung des Detektors überschneiden. Jedoch muss, damit die Kohärenz des Lichtes nicht verletzt wird, der Wegunterschied zwischen den beiden Strahlenwegen kleiner als die Kohärenzlänge

$$l = n\lambda$$

sein. Dies wird dadurch realisiert, dass für die Abstände

$$\overline{S_1P} \approx \overline{S_2P}$$

gilt. Wenn der Zusammenhang  $\overline{S_1P} = \overline{S_2P}$  erfüllt ist, kommt es zur destruktiven Interferenz. Zusätzlich ist eine Kompensationsplatte in dem Arm eingebaut, in welchem der transmittierte Strahl unterwegs ist, da dieser zweimal weniger den Strahlenteiler  $P$  durchläuft als der reflektierte Strahl. Dies wird durch die Kompensationsplatte ausgeglichen.

#### 3.1 Wellenlängenmessung

Um die Wellenlänge des Lasers experimentell zu bestimmen, wird mithilfe eines hoch übersetzten Motors eine Mikrometerschraube gesteuert, welche durch einen Übersetzungsarm mit dem Spiegel  $S_1$  verbunden ist. Durch die Drehung der Schraube kann der Spiegel um die Strecke  $\Delta d$  verschoben werden. Um genaue Ergebnisse zu erhalten werden

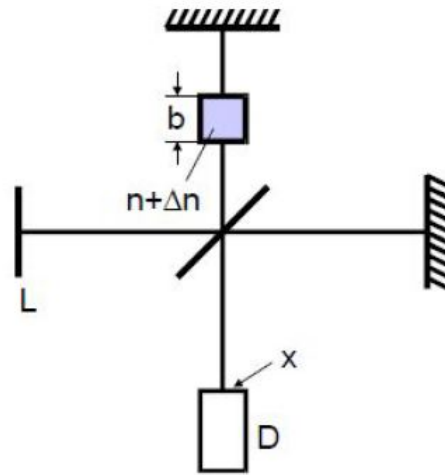
ungefähr 3000 auftretende Interferenzringe gemessen. Um die Wellenlänge zu bestimmen wird der Zusammenhang

$$\Delta d = \frac{z \cdot \lambda}{2} \quad (4)$$

genutzt.

### 3.2 Brechungsindex Bestimmung

Für die Messung des Brechungsindex wird der Versuchsaufbau etwas umgeändert. Dies ist in Abbildung 2 zu sehen.



**Abbildung 2:** Aufbau des Michelson-Interferometers mit Abschnitt der Länge  $b$  und des Brechungsindex  $n + \Delta n$  auf der Strecke  $\overline{S_1 P}$  [5]

Durch Variation des Drucks über die Strecke  $b$  durch eine Vakuumkammer, kann ein Wegunterschied zwischen den Strahlenbündeln von  $\Delta nb$  gemessen werden. Somit gilt mit der vorherigen Überlegung

$$\Delta nb = \frac{z \cdot \lambda}{2} .$$

Zusätzlich gilt für den Brechungsindex  $n$

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

## 4 Auswertung

Die Wellenlänge  $\lambda$  kann mit der Formel (4) berechnet werden, wobei die Hebelübersetzung mit  $\ddot{U} = 5,046$  berücksichtigt werden muss. Somit ergibt sich die Formel zu

$$\lambda = \frac{2\Delta d}{N\ddot{U}}. \quad (5)$$

Die aufgenommenen Messwerte und die daraus nach (5) berechneten Wellenlängen des Lasers sind in Tabelle (1) aufgeführt.

**Tabelle 1:** Messwerte und die berechneten Wellenlängen

$\Delta d / \text{mm}$	N	$\lambda / \text{nm}$
4.835	2743	698.639
5.060	3149	636.884
4.550	2855	631.667
5.005	3170	625.788
4.950	3134	626.021
4.955	3136	626.254
5.000	3133	632.546
5.010	3169	626.611
5.000	3149	629.332
5.000	3166	625.953

Daraus ergibt sich der Mittelwert und die Standardabweichung der Wellenlänge

$$\lambda = (635.9698 \pm 22.3299)\text{nm}.$$

Der Brechungsindex von Luft kann nach Gleichung (3.2) berechnet werden. Es gilt:

$$p_0 = 1.0132\text{bar}$$

$$T_0 = 273.15\text{K}$$

$$T = 293.15\text{K}$$

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

Die aufgenommenen Messwerte und die daraus nach (3.2) berechneten Brechungsindizes von Luft sind in Tabelle (2) aufgeführt.

**Tabelle 2:** Messwerte und die berechneten Brechungsindizes

$\Delta p$ / torr	N	n
610	27	1.000229
610	36	1.000306
610	17	1.000145
610	35	1.000298
610	18	1.000153
610	34	1.000289
610	18	1.000153
600	33	1.000285

Daraus ergibt sich der Mittelwert und die Standardabweichung des Brechungsindex

$$n = 1.000232 \pm 0.000072.$$

## 5 Diskussion

Während der Durchführung des Versuchs sind einige Fehlerquellen aufgefallen, die die Ergebnisse beeinflussen.

Die Zählrate N steigt schon bei kleinen Erschütterungen am Tisch stark an, sodass praktisch mehr Zählraten gemessen wurden. Dies fiel beim Erzeugen des Vakuums auf, da der Aufbau durch die Pumpe und den Schlauch leicht gewackelt hat.

Ein weiterer beeinflussender Faktor ist die Ungenauigkeit beim Ablesen von Messgrößen wie dem Wegunterschied  $\Delta d$  von der Nanometerschraube und dem Druckunterschied  $\Delta p$ , wo die Anzeigenadel der Pumpe immer relativ schnell ausgeschlagen hat.

Der berechnete Mittelwert der Wellenlänge des Lasers  $\lambda = 635.9698$  nm liegt mit einem relativen Fehler von  $\Delta_{\text{rel}}\lambda = 0.27\%$  nah an dem tatsächlichen Wert von  $\lambda_{\text{lit}} = 635$  nm.

Der berechnete Mittelwert des Brechungsindex von Luft  $n = 1.000232$  liegt mit einem relativen Fehler von  $\Delta_{\text{rel}}n = 0.006\%$  ebenfalls sehr nah am Literaturwert  $n_{\text{lit}} = 1.000292$ . Dabei liegen beide Literaturwerte jeweils im Bereich der Standardabweichung.

## Literatur

- [1] 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/>.
- [2] 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/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.



- [4] 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/>.
- [5] *Versuchsanleitung zu Versuch V401 Das Michelson Interferometer*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.