

# **Michelson-Interferometer**

**Versuch 401**

Marcel Kebekus

marcel.kebekus@tu-dortmund.de

Konstantin Mrozik

konstantin.mrozik@tu-dortmund.de

Abgabe: 24. Juli 2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Interferenz und Kohärentes Licht . . . . .	3
2.2 Das Michelson-Interferometer . . . . .	4
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Justierung . . . . .	5
3.2 Messung aufnehmen . . . . .	6
3.3 Brechnungsindex . . . . .	6
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1 Bestimmung der Wellenlänge . . . . .	6
4.2 Messung des Brechungsindex . . . . .	7
<b>5 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Literatur</b>	<b>8</b>
<b>6 Anhang</b>	<b>9</b>

# 1 Ziel

In diesem Versuch soll die Wellenlänge des verwendeten Lasers bestimmt werden, sowie der Brechungsindex von Luft.

## 2 Theorie

### 2.1 Interferenz und Kohärentes Licht

Das Michelson-Interferometer basiert auf dem Prinzip der Interferenz.

Licht ist eine elektromagnetische Welle und breitet sich nach Maxwell in der allgemeinsten Form für die elektrische Feldstärke ,

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

wobei  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$  die Wellenzahl,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $\omega$  die Kreisfrequenz und  $\gamma$  der Phasenwinkel ist. Hierbei gilt das Superpositionsprinzip. Da die elektrische Feldstärke von Licht im allgemeinen nicht einfach zu messen ist, greift man auf die Intensität  $I$  zurück,

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

Bei der Überlagerung mit einer zweiten Welle folgt dafür,

$$I_{\text{ges}} = 2 \text{const} \vec{E}_0 (1 + \cos(\gamma_2 - \gamma_1)).$$

Man sieht, dass für den hinteren Teil, die Gleichung für ein ungerades Vielfaches von  $\pi$  verschwindet.

Zudem muss noch hinzugefügt werden, dass eine Interferenz für Licht aus zwei verschiedenen Quellen im Allgemeinen nicht möglich ist. Dies folgt aus der Entstehung des Lichtes. Eine elektrische Welle wird demnach von einem Atom ausgegeben, wenn es in den Grundzustand zurückgeht. Wird diese Welle über einen genügend großen Zeitraum gemittelt, so verschwindet der hintere Interferenzterm. Man spricht von inkohärentem Licht.

Besitzt das Licht ein festes  $k, \omega$  und  $\gamma$  so spricht man von Kohärentem Licht.

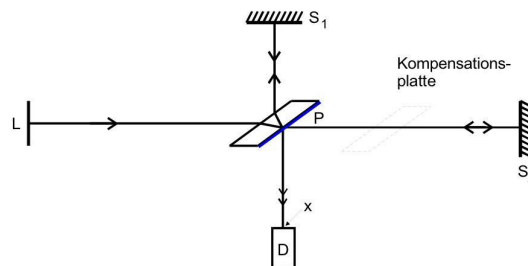
Es ist allerdings möglich eine Interferenz des Lichtes aus einer Quelle zu beobachten, Hierfür wird der Lichtstrahl aufgeteilt und zu einem späteren Zeitpunkt wieder zusammengeführt. Da die beiden Lichtstrahlen verschiedene lange Wege durchlaufen sind, führt die Phasendifferenz zur Interferenz. Ob eine Interferenz überhaupt zu beobachten ist ist dabei von der Kohärenzlänge  $l$  abhängig. So folgt für den Zusammenhang zwischen Interferenzmaxima  $N$ , Wellenlänge  $\lambda$  und Kohärenzlänge  $l$

$$l = N \cdot \lambda$$

## 2.2 Das Michelson-Interferometer

Hierbei wird sich die Teilung des Lichtes zu nutzen gemacht. Ein semipermieables Material teilt den Lichtstrahl. Dabei geht ein Teil des Lichtes durch den Strahl, während ein anderer Teil abgelenkt wird. Beide Strahlen laufen zu einem Spiegel (hier  $S_1$  und  $S_2$ ) und werden zurückgeworfen, sodass sie sich am Punkt  $P$  wieder treffen und gemeinsam zum Detektor  $D$  gelangen können. Um nun eine Interferenz zu beobachten müssen beiden Strahlen kohärent sein. Um dies zu erreichen, werden die Strecken  $\overline{S_1P}$  und  $\overline{S_2P}$  gleich gewählt. Zusätzlich stelle man eine Kompensationsplatte in den Weg zwischen  $P$  und  $S_2$ , welche die optische Weglänge der Strahlen ausgleicht, weil der Strahl zu  $S_1$  die Platte dreimal durchläuft, während der Strahl zu  $S_2$  sie nur zweimal durchläuft.

Nun kann über die Verschiebung  $\Delta d$  der Spiegel die Intensität der Interferenzmuster



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau Michelson-Interferometer [2, S. 9]

am Ort  $D$  variieren. Für die Wellenlänge  $\lambda$  folgt dadurch

$$\Delta d = z \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

wobei  $z$  für die Anzahl der beobachteten Interferenzmaxima steht. Sind die Abstände zwischen  $P$  und den Spiegel gleich, so ergibt sich ein Gangunterschied von  $\frac{\pi}{2}$ .

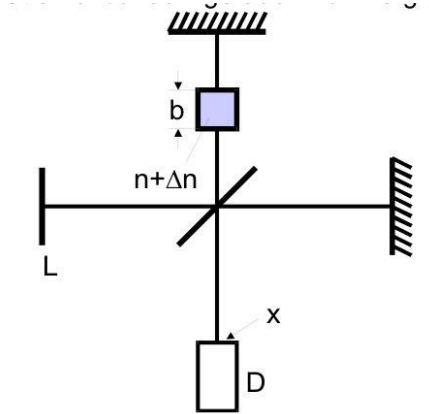
Das Ergebnis bei  $D$  ist eine destruktive Interferenz.

Neben der Möglichkeit die Wegstrecke zu variieren kann auch der Brechungsindex nach  $n + \Delta n$  variiert werden. Dies kann durch ein Medium der Länge  $b$  realisiert werden. Für den Wegunterschied folgt nun

$$\Delta d = b \cdot \Delta n.$$

Für die Beobachtungen bei  $D$  folgt

$$b \cdot \Delta n = \frac{z\lambda}{2} \quad (2)$$



**Abbildung 2:** Schematischer Aufbau zur Messung von Brechungsindexunterschieden [2, S. 5]

Mit  $N$  der Anzahl von Molekülen die durch die Lichtwelle der Wellenlänge  $\lambda$  zu Schwingungen angeregt werden folgt

$$n = \sqrt{1 + f(\lambda)N}, \quad (3)$$

welche sich für sichtbares Licht als

$$n = 1 + \frac{f}{2}N, \quad (4)$$

schreiben lässt.

Nimmt man nun an, dass es bei einem verwendetet Medium um ein ideales Gas handelt, so folgt für die Anzahl der Moleküle

$$N(p, T) = \frac{p}{T} \frac{T_0}{p_0} N_L, \quad (5)$$

$N_L$  ist dabei die Loschmidtsche Zahl und  $p_0$  und  $T_0$  die Normalbedingungen. Daraus folgt für den Brechungsindexunterschied  $\Delta n$

$$\Delta n(p, p') = \frac{f}{2} N_L \frac{T_0}{p_0} \frac{1}{T} (p - p'). \quad (6)$$

Es folgt somit für den Brechungsindex unter Normalbedingungen

$$n(p_0, T_0) = 1 + \Delta n(p, p') \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p - p'} \quad (7)$$

## 3 Durchführung

### 3.1 Justierung

Zunächst muss die Apperatur justiert werden. Dafür werden die beiden hellsten Strahlen die aus dem Interometer austreffen zur Deckung gebracht. Ein Justierspiegel wird dazu

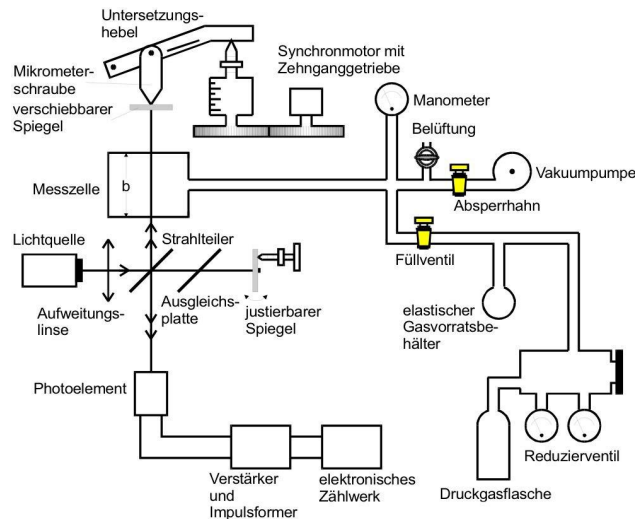


Abbildung 3: Messapparatur [2, S. 9]

verwendet, um die Deckung auf deiner Jilfsmattscheibe zu erzielen. Danach muss das Photoelement, was zur Zählung der Maximas verwendet wird, auf die richtige Höhe eingestellt werden, sodass das Interferenzbild genau auf dem Eintrittspalt entsteht.

### 3.2 Messung aufnehmen

Um nun die Messung zu starten kann einer der beiden Spiegel mithilfe des Motors über eine Mikrometerschraube bewegt werden. Die Geschwindigkeit muss auf das Photoelement angepasst sein, um alle Impulse aufnehmen zu können. Die Spiegelverschiebung  $\Delta d$ , sowie die Anzahl der Interferenzmaxima  $z$  wird notiert. Die Messung wird 10mal durchgeführt.

### 3.3 Brechungsindex

Ziel ist es den Brechungsindex von Luft zu messen. Nun werden keine Spiegel mehr bewegt und der Motor kann ausgeschaltet werden. Eine Messzelle wird nun auf einen Druck  $p$  evakuiert. Beim langsamen Wiedereinlassen der Luft, zählt man nun erneut die Anzahl  $z$  der Interferenzen. Der sich einstellende Druck  $p_0$  wird nun als Normaldruck angenommen.

## 4 Auswertung

### 4.1 Bestimmung der Wellenlänge

Wie bereits in der Theorie beschrieben lässt sich die Wellenlänge des Lasers über die Messung der Maxima auf einem Messintervall  $\Delta d$  bestimmen (Formel 1). In der Tabelle ist gut zu erkennen, dass die zweite Messung stark von den anderen abweicht und sie

$\Delta d$ m	Maxima	$\lambda$ nm
0.00097469	3030	643,35
0.00125972	3007	837,86
0.00099263	3022	656,94
0.00095874	3002	638,73
0.00097469	3013	646,99

**Tabelle 1:** Die berechnete Wellenlänge und die Parameter von denen sie abhängt.

wird somit in den weiteren berechnungen vernachlässigt. Um die Wellenlänge genauer zu bestimmen wird nun der Mittelwert der Messungen gebildet.

$$\lambda_{\text{mittel}} = 646,50 \cdot 10^{-9} \text{m}$$

## 4.2 Messung des Brechungsindex

Nun soll der Brechungsindex von Luft bestimmt werden. Nach Formel 7 und 2 gilt:

$$\begin{aligned} \Delta n &= \frac{z\lambda}{2b} = 0.00021 \\ n &= 1 + \Delta n \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{p - p'} = 1.00013 \end{aligned} \tag{8}$$

Wobei die Wellenlänge aus dem vorherigen Aufgabenteil übernommen wird.

## 5 Diskussion

Die Wellenlänge des verwendeten Lasers wurde als 646,5nm bestimmt und liegt somit im Bereich von 632 bis 670 nm, in dem rotes Laserlicht vorkommt [5]. Der berechnete Wert liegt somit im erlaubten Intervall, da im Experiment ein roter Laser verwendet wurde. Der berechnete Brechungsindex von Luft  $n = 1,00013$  hat einen absoluten Fehler von  $\Delta_{abs}n = 0,00017$  und dem relativen Fehler  $\Delta_{rel}n = 0,00017$ . Der gemessenen Brechungsindex liegt somit nah am Literaturwert von 1,0003 und die Messung war erfolgreich.

## Literatur

- [1] *Brechungsindex*. URL: [https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1\\_grundlagen/optik/strahlenoptik/2\\_lichtbrechung.htm](https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/strahlenoptik/2_lichtbrechung.htm).
- [2] Tu Dortmund. „Versuch 401: Michelson-Interferometer“. In: ().
- [3] 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/>.
- [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] *Wellenlängen von Lasern*. URL: <http://www.raycomposer.de/de/service/laserwellenlaengen/>.



## 6 Anhang