

# **V401 Das Michelson-Interferometer**

Alina Landmann, [alina.landmann@tu-dortmund.de](mailto:alina.landmann@tu-dortmund.de)  
Jannine Salewski, [jannine.salewski@tu-dortmund.de](mailto:jannine.salewski@tu-dortmund.de)

Durchführung: 10.04.2018

Abgabe: 17.04.2018

TU Dortmund - Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>1</b>
2.1 Interferenz . . . . .	1
2.2 Michelson-Interferometer . . . . .	2
2.3 Versuchsaufbau . . . . .	3
<b>3 Durchführung</b>	<b>4</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>5</b>
4.1 Bestimmung des Brechungsindex von Luft . . . . .	6
<b>5 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Literatur</b>	<b>7</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Wellenlänge eines Lasers und der Brechungsindex der Luft mit Hilfe eines Michelson Interferometers ermittelt werden.

## 2 Theorie

### 2.1 Interferenz

Um das Michelson Interferometer erklären zu können, muss zunächst einmal der Begriff **Interferenz** näher erläutert werden.

Das Licht kann durch eine elektromagnetische Welle der Form

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

beschrieben werden, wobei  $\vec{E}_0$  die elektrische Feldstärke,  $k$  die Wellenzahl,  $\omega$  die Kreisfrequenz und  $\delta$  den Phasenwinkel beschreibt. Wenn für das Licht die Maxwell Gleichungen und somit das Superpositionsprinzip gilt, kann die bei einer Überlagerung entstehende Welle durch die Addition der Vektoren bestimmt werden.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots$$

Da sich die elektrische Feldstärke in dem Frequenzbereich nicht messen lässt, werden im folgenden nur die Intensitäten betrachtet.

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

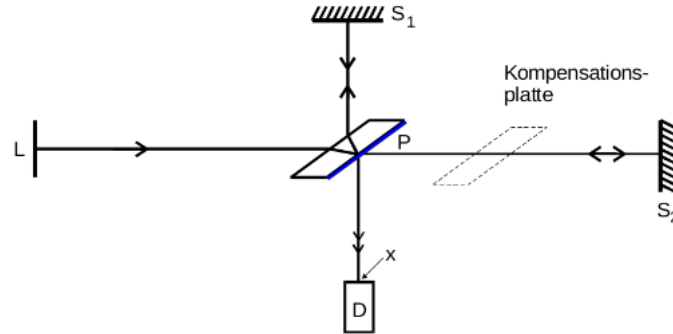
Somit kann man die Intensität zweier überlagerten Wellen als

$$I = 2\text{const} \vec{E}_0^2 (\cos(\delta_2 - \delta_1) + 1)$$

darstellen, wobei  $2\text{const} \vec{E}_0^2 \cos(\delta_2 - \delta_1)$  als Interferenzterm bekannt ist. Zu erkennen ist, dass der Interferenzterm minimal wird, wenn  $\delta_2 - \delta_1$  ein ungerades Vielfache von  $\pi$  ist, somit ist die Intensität  $I = 0$ . Die Intensität wird maximal, wenn  $\delta_2 - \delta_1$  null oder ein gerades Vielfaches von  $\pi$  ist. Für den Interferenzeffekt ist also wichtig, welche Phasenverschiebung die beiden überlagerten Wellen zueinander haben. Eine zusätzliche Voraussetzung für Interferenz ist die Kohärenz der Lichtstrahlen, also dass  $k$ ,  $\omega$  und  $\delta$  zeitlich konstant sind. Dies lässt sich praktisch durch Licht aus einer einzigen Lichtquelle umsetzen.

## 2.2 Michelson-Interferometer

In Abbildung 1 ist der schematische Aufbau eines Michelson-Interferometers abgebildet.



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau eines Michelson-Interferometers [Dor].

Hierbei ist  $L$  die Lichtquelle,  $S_1$  und  $S_2$  die Spiegel,  $D$  der Detektor und  $P$  die semipermeable Platte. Das aus der Lichtquelle austretende Licht wird durch die semipermeable Platte in zwei Lichtstrahlen getrennt. Der erste Lichtstrahl geht gerade durch die Platte und wird am Spiegel  $S_2$  reflektiert, um sodann, von der Platte abgelenkt, zum Detektor zu gelangen. Der andere Lichtstrahl wird direkt von der Platte reflektiert und gelangt somit zum Spiegel  $S_1$ . Dort wird dieser reflektiert und gelangt, unreflektiert von der Platte, zum Detektor. Um die Kohärenz der Strahlen beizubehalten, durchläuft der zweite Strahl eine Kompensationsplatte, außerdem müssen die Wege  $\overline{PS_1}$  und  $\overline{PS_2}$  nahezu identisch sein. Das gewünschte Interferenzmuster entsteht durch einen Gangunterschied  $w$  der beiden Strahlen, welcher sich durch das Verschieben des Spiegels um das Stück  $d$  verändern lässt.

$$w = 2d \quad (1)$$

Ein Interferenzminimum entsteht bei einem Gangunterschied von

$$w = n \cdot \lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Ein Interferenzmaximum hingegen entsteht bei einem Gangunterschied von

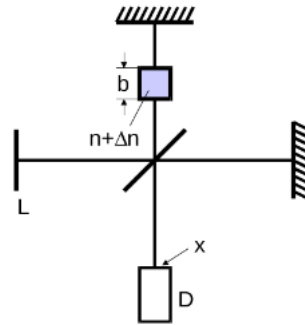
$$w = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda, \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

Bei einer kontinuierlichen Veränderung von  $d$  und somit auch von  $w$ , oszilliert die Intensität zwischen 0 und dem Maximalwert mit einer Periode von  $\frac{\lambda}{2}$ . Durch diese Eigenschaft kann die Wellenlänge des Lasers durch

$$w = z \cdot \frac{\lambda}{2}$$

bestimmt werden. Wobei  $z$  die Anzahl der Maxima ist,  $\lambda$  die Wellenlänge des Lasers und  $w$  der Gangunterschied.

Das Michelson-Interferometer kann außerdem zur Messung des Brechungsindex  $n$  eines Gases dienen. Der Aufbau einer solchen Messung in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2:** Schematischer Aufbau eines Michelson Interferometers zur Messung des Brechungsindex [Dor].

Das Medium der Dicke  $d$  soll den Brechungsindex  $n + \Delta n$  besitzen und an allen anderen Stellen des Versuchs den Brechungsindex  $n$ . Wird  $\Delta n$  nun langsam verändert, entsteht an der Stelle  $x$  ein oszillierendes Interferenzbild. Auch hier ist die Anzahl  $z$  der Maxima für die Messung wichtig

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

Um aus  $\Delta n$  den Brechungsindex  $n$  zu errechnen wird folgende Formel verwendet

$$n(p_0, T_0) = 1 + \Delta n \frac{T \cdot p_0}{T_0 \cdot (p - p')} \quad (3)$$

Wobei  $T_0$  die Umgebungstemperatur und  $p - p'$  die Druckdifferenz zum Umgebungsdruck darstellt.

## 2.3 Versuchsaufbau

Im Mittelpunkt des Versuchsaufbaus steht das Michelson-Interferometer. Zur Verschiebung des Spiegels wird ein Synchronmotor angebracht, da die kontinuierliche Verschiebung in der Größenordnung per Hand kaum möglich ist. Das eben benannte Medium wird hier als Messzelle dargestellt, durch die Vakuumpumpe ist es möglich, die Messzelle

zumindest teilweise zu vakuumieren und somit den Druck  $p$  und die Brechungsindex  $n$  zu verändern. Außerdem wird direkt nach der Lichtquelle eine Zerstreuungslinse eingefügt, um ein konzentrisches Interferenzmuster darzustellen.

Um die Messung genauer zu machen, wird ein elektronisches Zählrohr für die Interferenzmaxima angebracht.

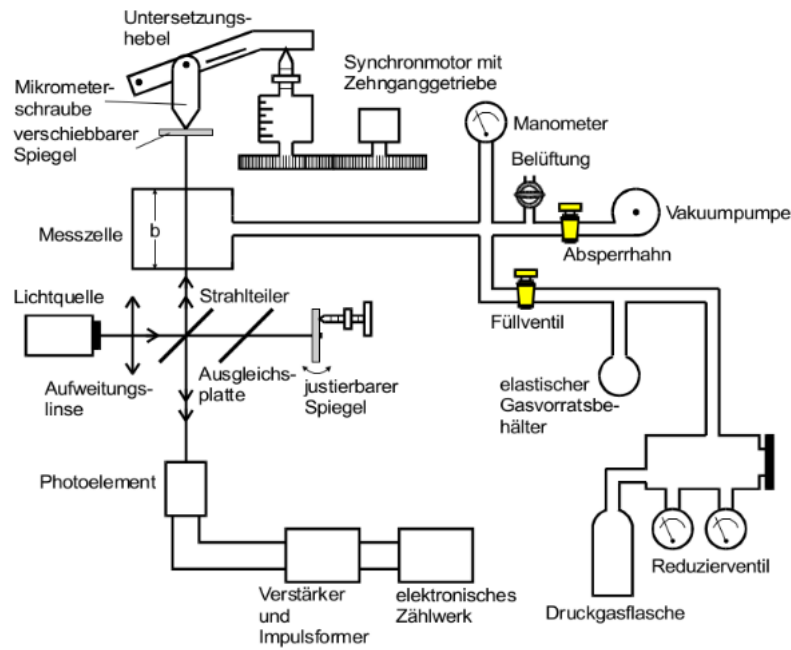


Abbildung 3: Versuchsaufbau [Dor].

### 3 Durchführung

Zu Beginn muss das Michelson-Interferometer genau justiert werden, dazu wird zunächst die Zerstreuungslinse herausgenommen und versucht die Maxima der beiden Strahlen auf dem Detektor überdeckend darzustellen, indem die Ausrichtung des Spiegels ohne Synchronmotor durch Drehen der Schrauben verstellt wird. Daraufhin wird die Zerstreuungslinse dem Versuchsaufbau hinzugefügt und der Detektor auf das innere Maximum des Interferenzbildes eingestellt. Zur Messung der Wellenlänge wird der Synchronmotor und das Zählrohr eingeschaltet. Wenn das Zählrohr ca. 3000 Maxima gezählt hat, wird der Synchronmotor ausgestellt und die Verschiebung  $d$  des Spiegels abgelesen. Dieser Versuchsteil wird 10 mal durchgeführt.

Zur Messung des Brechungsindex wird die Messzelle so gut es geht vakuumiert und die Druckdifferenz zum Normaldruck abgelesen. Daraufhin wird das Zählrohr eingeschaltet

und langsam die Luft wieder in die Messzelle gelassen. Wenn der Druck in der Messzelle wieder den Normaldruck erreicht hat, wird die Anzahl der Maxima am Zählrohr abgelesen. Der Versuchsteil wird 5 mal durchgeführt.

## 4 Auswertung

Anzahl der Maxima	$\Delta d$ / mm	$\lambda$ / nm
2999	4,94	656,65
3000	4,89	649,79
2999	4,93	655,32
3001	4,81	638,95
2999	4,86	646,02
3001	4,79	636,29
2998	4,86	646,24
3000	4,83	641,82
3000	5,02	667,07
2999	5,40	717,80

**Tabelle 1:** Messwerte zur Bestimmung der Wellenlänge des Lasers.

Der erste Teil des Versuchs besteht aus der Ermittlung der Wellenlänge des von dem Laser emittierten Lichts. Hierfür wird Formel 3 verwendet. Die Ergebnisse sind zusammen mit den gemessenen Werten für den Abstand von S1 zum Detektor in Tabelle ?? zu finden. Hierbei ist darauf zu achten, dass Formel 3 um den Faktor  $\frac{1}{\ddot{U}}$  erweitert werden muss.  $\ddot{U}$  ist die Hebelübersetzung, weshalb der abgelesene Wert für  $d$  nicht der Tatsächlichen Verschiebung des Spiegels entspricht.  $\ddot{U}$  beträgt im Versuch 5,017.

Der Wert für  $\lambda$  wird mit Hilfe folgender Formel gemittelt:

$$\bar{\lambda} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} \lambda_i$$

Anschließend wird der Fehler für die gemittelten Wellenlängen mit Hilfe folgender Formel berechnet:

$$\Delta \bar{\lambda} = \sqrt{\frac{1}{90} \sum_{i=1}^{10} (\lambda_i - \bar{\lambda})^2}$$

Somit beträgt  $\lambda$   $(655.60 \pm 7.49)$  nm.

## 4.1 Bestimmung des Brechungsindex von Luft

Folgende Werte sind vor der Berechnung des Brechungsindex von Luft von Nöten:

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

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

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

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

Hierbei beschreibt  $p_0$  den Normaldruck,  $b$  die Breite der Messzelle,  $T_0$  die Normaltemperatur und  $T$  die Umgebungstemperatur. Diese wurde nicht explizit gemessen, jedoch betrug die Außentemperatur am Tag des Versuchs  $20^\circ \text{C}$  und ein Fenster stand leicht geöffnet. Mit Hilfe von Formel (2), in die Formel (3) nach der Umstellung nach  $\Delta n$  eingesetzt wird, werden dann die Brechungsindizes  $n$  für jeden Messwert berechnet.

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

Anzahl der Maxima	$\Delta p$ / bar	$n$
19	0,2332	$1.000581 \pm 0.000007$
19	0,1732	$1.000782 \pm 0.000009$
21	0,1731	$1.000865 \pm 0.000010$
20	0,1532	$1.000931 \pm 0.000011$
19	0,1732	$1.000782 \pm 0.000009$

**Tabelle 2:** Messwerte zur Bestimmung des Brechungsindex von Luft.

Die Ergebnisse befinden sich mit den Messwerten in Tabelle 2. Da sich in der Berechnung des Brechungsindex eine vorher gemittelte und somit fehlerbehaftete Größe  $\lambda$  befindet, muss hier die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung beachtet werden. Der Fehler berechnet sich mittels folgender Formel:

$$\Delta n = \sqrt{\left( \frac{z}{2b} \frac{T}{T_0} \frac{p_0}{\Delta p} \right)^2 (\Delta \lambda)^2}$$

Der gemittelte Wert für den Brechungsindex für Luft beträgt  $1,000788 \pm 0,000058$ .



## 5 Diskussion

Es ist zu erkennen, dass die Fehler bei beiden Messungen verhältnismäßig klein sind. Dies lässt vermuten, dass die Messungen sehr präzise durchgeführt wurden. Im Vergleich mit dem Literaturwert für den Brechungsindex von Luft 1,000272 [Spe] ist zu erkennen, dass sich der im Experiment ermittelte Wert von diesem erst in der vierten Nachkommastelle unterscheidet. Dieser Unterschied ist zum Einen dadurch zu erklären, dass der Versuchsaufbau extrem empfindlich ist und auch nur kleinste, ungewollte Berührungen des Experimentiertisches das Messsystem bereits irritieren können. Zum Anderen ist der angegeben Literaturwert der für den Brechungsindex von Luft bei Normaltemperatur. Im Versuch herrschten jedoch Temperaturen über eben dieser. Auch wurde in den Berechnungen davon ausgegangen, dass im Versuchsraum ein Normaldruck von 1,0132 bar herrschte, was mit Sicherheit auch nicht der Realität entsprach. Allerdings lassen die geringen Fehler bei den durchgeführten Messungen darauf schließen, dass keine systematischen Fehler in der Durchführung gemacht wurden.

## Literatur

- [Dor] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. 401 Michelson Interferometer*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V401.pdf> (besucht am ).
- [Spe] Spektrum.de. *Brechzahl*. URL: <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/brechzahl/1958> (besucht am ).