

Versuch V401

# Das Michaelson-Interferometer

Richard Leven	Joell D. Jones
<a href="mailto:richard.leven@udo.edu">richard.leven@udo.edu</a>	<a href="mailto:joell-david.jones@udo.edu">joell-david.jones@udo.edu</a>

Abgabe: 07.07.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>6</b>
<b>6</b>	<b>Literatur</b>	<b>6</b>

## 1 Ziel

Mithilfe dieses Experiments soll die Lichtwellenlänge des Lasers und der Brechungsindex von Luft bestimmt werden.

## 2 Theorie

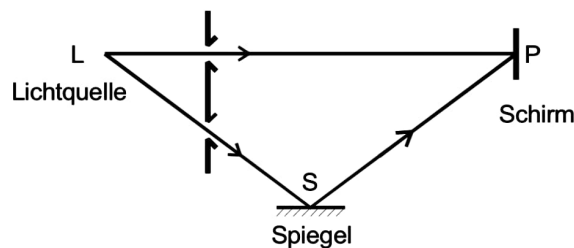
In diesem Versuch ist das Licht als eine Welle zu erfassen, welche mit der elektrischen Feldstärke

$$E(x, t) = E_0 \cos(kx - \omega t - \delta) \quad (1)$$

beschrieben werden kann. Dabei ist  $k$  die Wellenzahl,  $x$  der Ort,  $t$  die Zeit,  $\omega$  die Frequenz und  $\delta$  ein Phasenwinkel. Hier kann demnach ebenso davon ausgegangen werden, dass zwei miteinander interferierende Lichtwellen durch Superposition beschrieben werden. Was da allerdings einfacher gemessen werden kann, ist die Lichtintensität  $I$ , welche proportional zum Betragsquadrat der elektrischen Feldstärke ist. Für die Intensität ergibt sich also bei einer Interferenz zweier Wellen mit  $E_0$ :

$$I_{ges} \propto 2(E_0)^2(1 + \cos(\delta_2 - \delta_1)) \quad (2)$$

Der zweite Summand in der Klammer ist der Interferenzterm. Falls dieser Null wird, erreicht die Intensität ihr Maximum und falls dieser Term zu  $\pi$  wird, erreicht die Intensität ihr Minimum. Dies erfolgt weiterhin bei geraden Vielfachen von  $\pi$ . Das Phänomen wird konstruktive- und destruktive Interferenz genannt, bei der sich die Amplituden einer Lichtwelle addieren, oder voneinander subtrahieren, sodass das Licht verschwindet. Dabei ist zu unterscheiden, ob diese Interferenzen örtlich bzw. zeitlich konstant aufrecht gehalten werden. Übliches Licht ist nicht kohärent, da die Wellen zeitlich statistisch verteilt sind. Kohärentes Licht, erzeugt mit Lasern beispielsweise, hat die Eigenschaft, dass die Phasendifferenz zweier Lichtwellen überall gleich bleibt. Bei einem Strahlenteiler wird deutlich, dass sich nicht immer Interferenzen beobachten lassen.



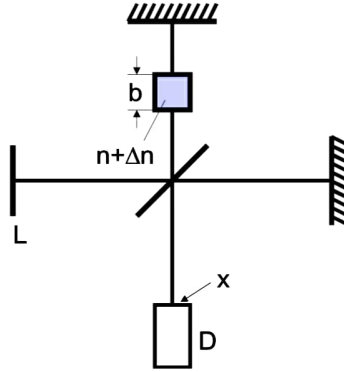
**Abbildung 1:** Hier zu sehen ist eine Skizze zum besagten Strahlenteiler.

Es können keine Interferenzen mehr auftreten, falls der Wegunterschied der Lichtstrahlen größer als die Länge der Lichtzüge, weil die Lichtstrahlen zu zwei verschiedenen Zeiten den Beobachtungspunkt P erreichen. Von diesem Punkt bis zum nächsten Punkt, an

dem das Licht verschwindet, ist die Kohärenzlänge. Sie ist der Abstand zweier Maxima zueinander. Die Kohärenzlänge  $l$  wird definiert als

$$l = N\lambda, \quad (3)$$

wobei  $\lambda$  die Wellenlänge ist und  $N$  der Abstand zweier beobachteten Interferenzmaxima. Das Teilen des Lichtstrahls erfolgt dann mit dem Michaelson-Interferometer.



**Abbildung 2:** Hier zu sehen ist eine Skizze zum Interferometer.

Es werde, wie in Abbildung 2, ein Strahl durch das Material laufen lassen, sodass es auf den Spiegel S2 trifft. Der andere Strahl wird auf S1 gerichtet. Dabei verläuft der Strahl durch kein Material. Beide Strahlen werden reflektiert und treffen in P aufeinander, wobei interferiert wird. Beide kommen hinterher auf den Detektor D zu. Beide Strahlen sind dementsprechend kohärent. Es gilt dabei dieser Zusammenhang zwischen der Verschiebung  $d$ , die Anzahl der beobachteten Interferenzmaxima  $z$  und der Wellenlänge  $\lambda$ :

$$2d = z\lambda. \quad (4)$$

Läuft ein Strahl dann durch ein Medium mit anderem Brechungsindex, so gilt mit der Änderung des Brechungsindex  $\Delta n$ :

$$2b\Delta n = z\lambda, \quad (5)$$

wobei  $n$  durch eine Taylorentwicklung nach  $f(\lambda)$  angenähert werden kann:

$$n = 1 + \frac{f}{2}N \quad (6)$$

Mit

$$N(p, T) = \frac{pT_0}{p_0T}N_L \quad (7)$$

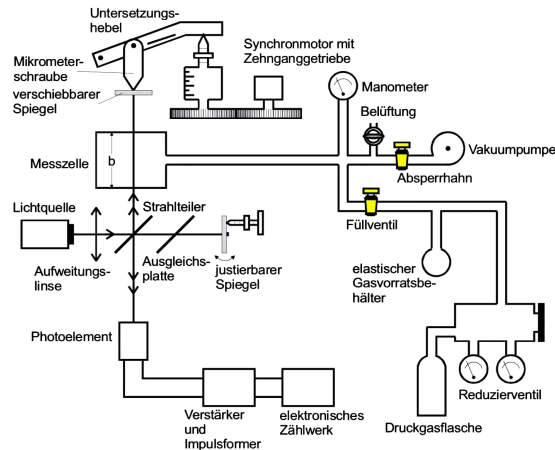
und

$$\Delta n(p, p') = \frac{fT_0}{2p_0T}N_L(p - p') \quad (8)$$

ergibt nicht nach Umstellung der Gleichung 6 folgende Formel:

$$n(p_0, T_0) = 1 + \frac{z\lambda T p_0}{2bT_0(p - p')}. \quad (9)$$

### 3 Durchführung



**Abbildung 3:** Hier zu sehen ist eine Skizze zum Aufbau des Versuchs.

Um die Wellenlänge des Lasers zu bestimmen, wird der Spiegel konstant verschoben. Dabei werden die Maxima mit dem Photoelement so lange gezählt bis die Anzahl der gezählten Maxima in etwa 3100 erreicht. Die Verschiebung des Spiegels in dem Zeitraum wird als  $d$  eingetragen.

Danach wird der Brechungsindex gemessen. Bei Luft wird die Messzelle evakuiert, wodurch sich der Druck sinkt. Der Druck wird daraufhin als Normaldruck eingetragen und die Messzelle mit Luft gefüllt.

Die Messung wird vier weitere Male durchgeführt, damit durch das Berechnen des Mittelwerts der wahre Wert angenähert wird.

### 4 Auswertung

Zunächst wird die Wellenlänge des Helium-Neon-Lasers bestimmt. Hierbei beträgt die Hebelübersetzung  $\ddot{U} = 5,046$ .

Mit Gleichung 4 und der Erweiterung um  $\frac{1}{U}$  (Sei  $U = \ddot{U}$ , also die Hebelübersetzung) lässt sich die Wellenlänge bestimmen.

Aus dem arithetischem Mittel ergibt sich für die Wellenlänge

$$\lambda = 6.767 \cdot 10^{-7} m. \quad (10)$$

Nun wird der Brechungsindex von Luft gemessen. Hierzu sind einige Werte notwendig: Der Normaldruck, welcher  $p_0 = 1.0132$  Bar beträgt, die Normaltemperatur  $T_0 = 273.15$

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

Impulse $n$	Abstand $d$ [ $10^{-2}$ m]	Wellenlänge $\lambda$ [ $10^{-7}$ m]
3102	0.526	6.721
3105	0.545	6.957
3102	0.525	6.708
3102	0.526	6.721
3098	0.526	6.730

Kelvin, die Größe der Messzelle mit  $50 \cdot 10^{-3}$  Meter und schließlich die Umgebungstemperatur, welche (293.15 Kelvin beträgt).

Mithilfe von Gleichung 9 wird dann der Brechungsindex berechnet:

**Tabelle 2:** Tabelle der Messwerte zur Ermittlung des Brechungsindex' von Luft.

Impulse $n$	Druck $p$ [Bar]	Brechungsindex $N$
3102	0.1420	1.0001880851
3111	0.1566	1.0001846511
3102	0.1587	1.0001840045
3103	0.1365	1.0001889562
3105	0.1897	1.0001412949

Der arithetische Mittelwert lautet hier

$$N_{Luft} = 1.000177398. \quad (11)$$

## 5 Diskussion

Besonders auffällig ist die äußerst hohe Präzession bei der Berechnung der Brechungsindizes, denn es treten erst Veränderungen in der vierten Nachkommastelle auf. Der arithemische Mittelwert der Messungen unterscheidet sich um ca. 0,0001 (der Literaturwert beträgt 1,00028). Der Unterschied an sich ist ein Resultat aus systematischen Fehlern, aber auch die Schwierigkeit beim Ablesen seitens der Experimentatoren.

Bei der Ermittlung der Wellenlänge des Lasers wird (bis auf den zweiten Wert) ebenfalls eine hohe Präzession deutlich. Der eine herausragende Wert sorgt für eine deutliche Erhöhung des arithemischen Mittelwerts. Auch hier werden systematische Unsicherheiten und Unsicherheiten beim Ablesen eine Rolle spielen.

## 6 Literatur

Der Literaturwert für den Brechungsindex von Luft: <https://de.wikipedia.org/wiki/Brechungsindex>

Abbildungen und Skizzen: Anleitung zu diesem Versuch.