

3.9 Interferometer

1 Theoretische Grundlagen

Licht ist eine elektromagnetische Strahlung mit sehr geringer Wellenlänge (auf den Welle - Teilchen - Dualismus soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden). Sie liegt für sichtbares Licht im Bereich von $\lambda_{\text{blau}} = 400 \text{ nm}$ bis $\lambda_{\text{rot}} = 700 \text{ nm}$. Die Welleneigenschaften des Lichtes werden deutlich bei der Beugung an Hindernissen, deren Abmessungen mit der Wellenlänge vergleichbar sind, z.B. einem dünnen Spalt (siehe Versuch 3.8: Beugung am Spalt) und bei der Interferenz von Lichtwellen.

1.1 Interferenz

Werden zwei (oder mehrere) Wellen überlagert, so ist die resultierende Welle gleich der Summe der Teilwellen. Damit geordnete und stationäre Interferenzerscheinungen auftreten können, müssen die Wellen kohärent sein.

Wellen sind **kohärent**, wenn die Zeitabhängigkeit der Amplitude in ihnen bis auf eine Phasenverschiebung die gleiche ist.
Sie besitzen demnach gleiche Frequenz und Wellenlänge.

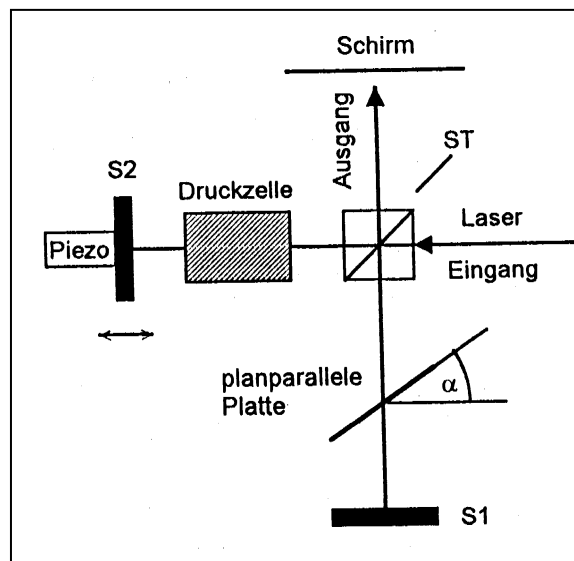
In Abhängigkeit von der Phasendifferenz der Teilwellen kann es zu einer Verstärkung (konstruktive Interferenz) oder Abschwächung (destruktive Interferenz) bis hin zur vollständigen Auslöschung kommen. Verstärkung erfolgt, wenn die Phasendifferenz $\Delta\phi$ ein geradzahliges Vielfaches von 2π ist, Auslöschung bei ungeradzahligem Vielfachen. Phasendifferenzen können, wie in diesem Versuch, auch aufgrund unterschiedlicher Lichtwege der Teilwellen entstehen. Eine Differenz der Lichtwege, d.h. ein (optischer) Gangunterschied von einer Wellenlänge λ oder einem ganzzahligen Vielfachen $z \cdot \lambda$ entspricht einer Phasendifferenz von 2π . Ein optischer Gangunterschied von $\frac{1}{2} \lambda$ (oder $\frac{1}{2} \lambda + z \cdot \lambda$) führt zu einer Phasendifferenz von π . Sind diese Bedingungen an unterschiedlichen Orten erfüllt, so entstehen räumlich konstante Interferenzmuster.

Die zur Interferenz gebrachten Wellen müssen von zwei kohärenten Lichtquellen stammen. In der Optik ist dies mit zwei getrennten Quellen nicht möglich. Es wird daher das kohärente Licht einer Quelle, z.B. eines Lasers, in zwei Teilwellen aufgespalten. Die beiden kohärenten Teilwellen können dann miteinander interferieren.

1.2 Michelson - Interferometer

Allgemein ist ein Interferometer ein Gerät, das die Phasendifferenz bzw. den optischen Gangunterschied zweier Wellen registriert. In der Messung des optischen Gangunterschieds liegt die Hauptanwendung eines Michelson - Interferometers. Mit seiner Hilfe lassen sich aufgrund der geringen Wellenlänge des Lichtes Gangdifferenzen im μm -Bereich (und kleiner) erfassen und sehr präzise Längenmessungen durchführen. Das Michelson -

Interferometer vereint die Funktion von Aufteilung in zwei kohärente Teilwellen und die Analyse der getrennt, auf verschiedenen Wegen geführten Wellen in sich.



Schematischer Aufbau des Interferometers

Die am Eingang eintretende Lichtwelle eines He-Ne Lasers wird mittels eines Strahlteilers ST in zwei Teilwellen gleicher Intensität aufgeteilt. Diese treffen nach der Strecke L_1 bzw. L_2 jeweils auf einen Spiegel und werden in sich reflektiert. Beim erneuten Passieren des Strahlteilers werden die reflektierten Wellen wiederum aufgeteilt, zur Interferenz gebracht und dem Ausgang zugeführt. Im Idealfall variiert die Intensität der ausgehenden Welle zwischen Null und der halben Intensität der eingespeisten Welle.

2 Aufgabenstellung

Der Versuch gliedert sich in drei Teilabschnitte, bei denen die optische Weglänge in einem der beiden Schenkel des Interferometers auf unterschiedliche Weise verändert wird, durch Verschiebung eines Spiegels, Änderung des Brechungsindex und Verdrehen einer planparallelen Platte. Daraus sind zu bestimmen:

- Empfindlichkeit eines Piezo - Stelltriebs
- Brechungsindex von Luft
- Dicke einer planparallelen Platte

3 Erforderliche Geräte

- 1 Michelson - Interferometer mit
 - piezoelektrischer Spiegelverstellung
 - Druckkammer
 - drehbarer planparalleler Platte mit Winkelskala
- 1 He-Ne Laser
- 1 Netzgerät mit Spannungsanzeige
- 1 Druckmesser

4 Versuchsdurchführung

Das Michelson - Interferometer ist ein sehr empfindliches Gerät. Beachten Sie, dass schon geringste Erschütterungen, Bewegungen, Temperaturunterschiede u.a. das Interferenzmuster beeinflussen. Führen Sie daher in jedem Fall einige Probemessungen durch. Vermeiden Sie unbedingt eine Dejustierung der Spiegel und des Strahlteilers!

4.1 Piezo -Effekt

Der Piezo-Effekt ist eine Eigenschaft bestimmter kristalliner Stoffe, die aufgrund ihres Kristallbaus permanente elektrische Dipolmomente entlang kristallografischer Achsen besitzen. Beim Anlegen einer elektrischen Spannung ändern sich die atomaren Abstände innerhalb des Kristalls, wodurch dieser je nach Polarität der Spannung gedehnt bzw. gestaucht wird. Umgekehrt führt eine von außen erzwungene Längenänderung zu einer elektrischen Spannung an der Oberfläche des Kristalls (Anwendung: Feuerzeug).

Die Position des Spiegels S2 lässt sich durch einen piezoelektrischen Stelltrieb minimal verändern, wodurch ein Gangunterschied der Teilstrahlen vom Doppelten des Verstellweges entsteht. Zwischen dem Verstellweg s und der angelegten Spannung U besteht der lineare Zusammenhang

$$s = E \cdot U \quad (1)$$

mit E , der Empfindlichkeit des Stelltriebs.

Vorgehensweise:

- Verändern Sie die am Piezo-Stelltrieb angelegte Spannung und beobachten Sie die Veränderungen des Interferenzmusters.
- Messen Sie die Spannung, bei der sich wieder das gleiche Interferenzmuster zeigt.
- Führen Sie die Messung zweimal bei zunehmender und abnehmender Spannung durch.

Zu bearbeiten:

- Tragen Sie den Verstellweg s über die Spannung U für zunehmende und abnehmende Spannung getrennt auf.
- Ergibt sich dabei ein linearer Zusammenhang laut Gleichung (1)? Bestimmen Sie per linearer Regression hieraus die Empfindlichkeit E .
- Gibt es eine Hysterese zwischen zunehmender und abnehmender Spannung ?

4.2 Brechungsindex von Luft

Der Brechungsindex n eines Gases hängt von seiner Teilchenzahldichte und damit von Druck und Temperatur des Gases ab. Für Luft gilt:

$$n(p, T) = 1 + \frac{A}{T[K]} \cdot p[\text{mbar}] \quad (2)$$

und somit
$$\Delta n = \frac{A}{T} \cdot \Delta p \quad \text{für } T = \text{konst.} \quad (3)$$

Die Konstante A hat den theoretischen Wert $A = 77,6 \cdot 10^{-6} \text{ K/mbar}$.

In einem Schenkel des Interferometers befindet sich eine von zwei planparallelen Glasfenstern begrenzte Küvette. Die vom Strahlteiler ST kommende und die vom Spiegel S2 reflektierte Welle durchlaufen beide diese Druckzelle, in der der Luftdruck veränderbar ist. Für diese Welle ändert sich innerhalb der Druckzelle die optische Weglänge entsprechend dem eingestellten Druck. Es gilt :

$$S_{\text{Druckzelle}} = 2 \cdot L_{\text{Druckzelle}} \cdot n(p, T), \quad (4)$$

Also auch

$$\Delta s = 2 \cdot L \cdot \Delta n \quad (5)$$

Mit Gleichung (3) ergibt sich hieraus

$$\Delta s = 2 \cdot L \cdot \frac{A}{T} \cdot \Delta p \quad (6)$$

Eine Druckänderung in der Zelle bewirkt demnach eine sichtbare Änderung des Interferenzmusters.

Vorgehensweise:

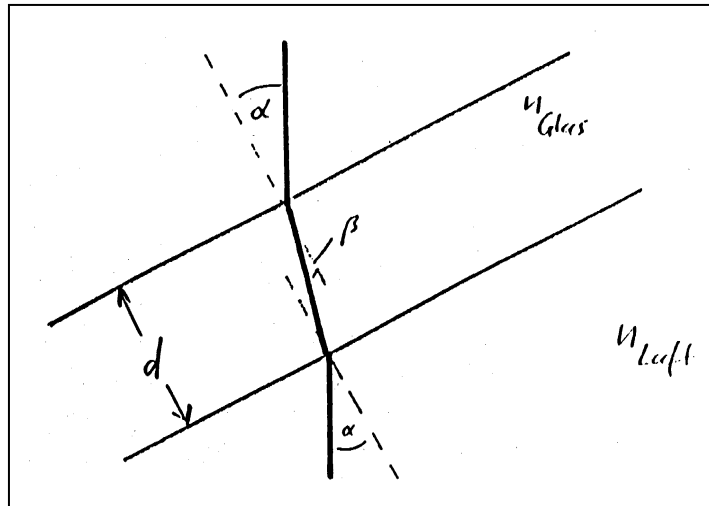
Messen Sie zweimal bei zu- und abnehmendem Druck den Druck, bei dem sich das gleiche Interferenzmuster ergibt.

Zu bearbeiten:

- Tragen Sie den Gangunterschied über die Druckänderung auf. Ergibt sich ein linearer Zusammenhang laut Gleichung (6)?
- Bestimmen Sie aus der Steigung (per linearer Regression ermittelt) die Konstante A und vergleichen Sie das Ergebnis mit dem theoretischen Wert.
- Welcher Brechungsindex ergibt sich für Luft bei den aktuellen Umgebungsdaten (Temperatur und Umgebungsdruck)?

4.3 Dicke einer planparallelen Platte

Beim Durchgang durch eine planparallele Glasplatte (Brechungsindex $n_{\text{Glas}} = 1.5$) der Dicke d wird ein Lichtstrahl zweimal gebrochen, wodurch er einen seitlichen Versatz erfährt. Zudem ändert sich die von ihm durchlaufene optische Weglänge in Abhängigkeit vom Eintrittswinkel α .



Aus der Geometrie der Anordnung lässt sich mit Hilfe des Brechungsgesetzes

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_{\text{Glas}}}{n_{\text{Luft}}} \quad (7)$$

für $n_{\text{Luft}} \approx 1$ ein Ausdruck für die Änderung der optischen Weglänge $\Delta S_{\text{optisch}}$ in Abhängigkeit vom Einfallswinkel α herleiten :

$$\Delta S_{\text{optisch}} = \frac{n_{\text{Glas}} - 1}{n_{\text{Glas}}} \cdot d \cdot \sin^2 \alpha \quad (8)$$

Vorgehensweise:

- Drehen Sie die Glasplatte zweimal in beide Richtungen und beobachten Sie dabei das Interferenzmuster.
- Bestimmen Sie den Nullpunkt, d.h. die Einstellung für senkrechten Einfall.
- Messen Sie die Winkel (bezüglich des Nullpunkts), für die gleiche Interferenzmuster auftreten.

Zu bearbeiten:

- Tragen Sie $\Delta S_{\text{optisch}}$ als Funktion des Winkels auf.
- Tragen Sie $\Delta S_{\text{optisch}}$ als Funktion von $\sin^2 \alpha$ auf und bestimmen Sie per linearer Regression aus der Steigung dieserer linearisierten Auftragung die Dicke d der Glasplatte.

5 Literatur

Dobrinski, Krakau, Vogel: Physik für Ingenieure