

Versuch 415

Löwe - Haber - Interferometer

1. Aufgaben

- 1.1 Es ist die Verschiebung der Interferenzstreifen als Funktion der Meßtrommeleinstellung (Stellung der Kompensatorplatte) für gleichen Luftdruck in Meß- und Vergleichsküvette aufzunehmen:
 - a) für gefiltertes Weißlicht (Rotfilter) bzw.
 - b) für Licht einer Na-Spektrallampe (Eichung der Kompensatorplatte)
- 1.2 Die Änderung der Brechzahl n von Luft ist für Na-Licht in Abhängigkeit vom Überdruck für mindestens 5 verschiedene Werte zwischen 0 und 400 mm Wassersäule zu messen und über dem Gesamtdruck grafisch darzustellen!
- 1.3 Die Brechzahl von Luft n_0 unter Normalbedingungen ($t = 0\text{ °C}$, $p_0 = 760\text{ Torr}$) ist bei $\lambda = 589,3\text{ nm}$ zu bestimmen und mit dem Tabellenwert $n_0 = 1,000\ 292$ zu vergleichen!

2. Grundlagen

Stichworte:

Dispersion, Dichteabhängigkeit der Brechzahl, zeitliche und räumliche Kohärenz (Kohärenzbedingung), Zweistrahlinterferometer

Mit Hilfe von Interferometern können optische Wegunterschiede mit einer Genauigkeit unterhalb der Lichtwellenlänge vermessen werden. Das Löwe-Haber-Interferometer ist eine Anordnung zur Erzeugung von Zweistrahlinterferenzen nach dem Prinzip der Beugung am Doppelspalt. Die im Praktikum vorhandene Meßanordnung ist in /1/ beschrieben und in Bild 1 dargestellt.

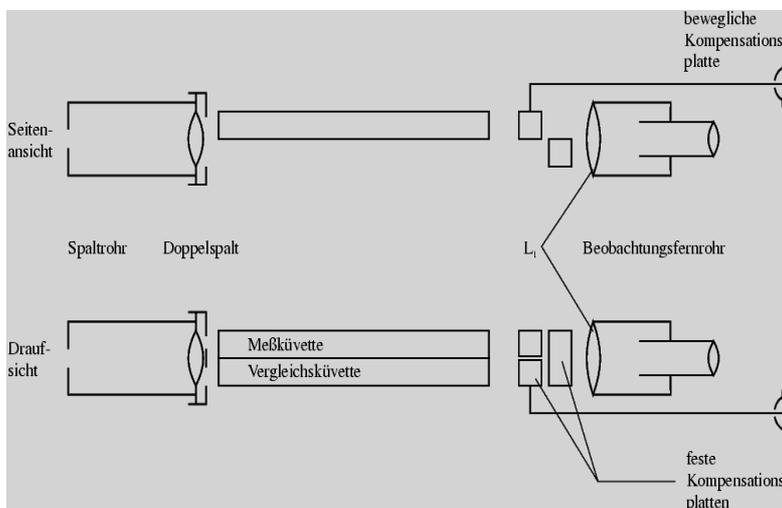


Bild 1:
Schema des
Löwe-Haber-
Interferometers
(auch Rayleigh-
Interferometer
genannt)

Die Zahl der beobachtbaren Interferenzstreifen hängt von den zeitlichen Kohärenzeigenschaften des Lichtes, genauer von der Kohärenzzeit bzw. -länge, ab. Die Kohärenzlänge ist der spektralen Breite des verwendeten Lichtes umgekehrt proportional und demzufolge bei Weißlicht kleiner als bei monochromatischem Licht (z.B. Na - D - Linie).

Weiterhin sind am Doppelspalt mehrere Interferenzordnungen nur dann gleichzeitig zu beobachten, wenn die zugehörigen Raumrichtungen durch Beugung am Einzelspalt auch ausgeleuchtet werden. Die für das Doppelspaltexperiment erforderliche räumliche kohärente Ausleuchtung (Kohärenzbedingung) wird durch das Spaltrohr gewährleistet (vgl. Versuch „Beugung am Spalt“).

Die beiden Bündel durchlaufen zwei Küvetten, in denen sich die Meßsubstanzen und eine Vergleichssubstanz befindet, deren Brechzahlunterschied gemessen werden soll. In der hinteren Brennebene des Fernrohrobjektives L entsteht das Beugungsbild des Doppelspaltes. Man erhält helle Streifen für alle Winkel α_k , die der Beziehung

$$b \cdot \sin \alpha_k = k \cdot \lambda \quad (1)$$

($k = 0, 1, \dots$ - Ordnung; b - Spaltabstand; λ - Wellenlänge) genügen. Befinden sich in den beiden Küvetten Substanzen mit unterschiedlicher Brechzahl, so ist dieses Streifensystem gegenüber Gl.(1) verschoben und es gilt :

$$b \cdot \sin \alpha'_k = k \cdot \lambda + l \cdot \Delta n \quad (2)$$

Δn - Brechzahldifferenz, l - Küvettenlänge

Um die Verschiebung ($\alpha'_k - \alpha_k$) messen zu können, läßt man einen Teil der beiden Strahlenbündel unterhalb der Küvette verlaufen, so daß sie von Unterschieden im Brechungs-index unbeeinflusst bleiben und als feste Referenzmarke verwendet werden können. Die Messung der Verschiebung des beweglichen Streifensystems gegenüber dem feststehenden erfolgt durch Kompensation, indem durch Drehen einer Glasplatte der optische Weg verändert wird. Der Zusammenhang zwischen der Änderung des optischen Weges in der Kompensationsplatte und der Stellung der Meßtrommel muß vor Beginn der eigentlichen Messung aus der Verschiebung der Streifen für eine bekannte Wellenlänge (Na-D: $\lambda = 589,3$ nm) ermittelt werden (Eichung der Kompensatorplatte).

Eine Verschiebung des Beugungsbildes um h Streifenbreiten entspricht dabei einer Änderung des optischen Weges $\Delta(n \cdot l) = h \cdot \lambda$. Die Brechzahl n für Gase hängt vom Gasdruck p und der Temperatur T ab. Genauer ist $(n - 1)$ proportional zur Teilchendichte N , die ihrerseits wieder von p und T abhängt. Aus der Zustandsgleichung für ideale Gase ergibt sich

$$\frac{N}{N_0} = \frac{p}{T} \cdot \frac{T_0}{p_0} \quad (3)$$

Der Index „0“ bezieht sich immer auf Normalbedingung ($T_0 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $p_0 = 760 \text{ Torr}$). Beim Übergang zur Celsius-Skala erhält man aus Gl. (3)

$$(n - 1) = (n_0 - 1) \cdot \frac{p}{p_0} \cdot \frac{1}{1 + \gamma \cdot \Delta T} \quad (4)$$

(γ - Ausdehnungskoeffizient für ideales Gas, $\gamma = (1/273,15) \text{ K}^{-1}$), ΔT ist die in K gemessene Temperaturdifferenz zwischen Zimmertemperatur T und T_0 .

3. Versuchsdurchführung

Die Beleuchtung des Interferometers mit weißem Licht geschieht mit einem Niedervoltlämpchen. Um eine hinreichende Helligkeit der Interferenzstreifen zu erreichen (wobei der Eintrittsspalt symmetrisch ausgeleuchtet wird), ist die Lage des Lämpchens durch Drehen und Verschieben entsprechend zu justieren. Zur Durchführung der Aufgabe 1a dient ein Rotfilter, das in der Nähe des Lämpchens in den Strahlengang einzuschieben ist.

Zur Messung der Brechzahldifferenz Δn von Luft als Funktion des Überdruckes beobachtet man mit weißem Licht, legt bei Druckgleichheit beider Küvetten den Nullpunkt der Interferenzstreifen fest, stellt einen beliebigen Überdruck in der Meßküvette ein und ändert die Stellung der Kompensationsplatte so, daß wieder Koinzidenz zwischen beiden Streifen-systemen vorhanden ist. Die 0. Ordnung unterscheidet sich von den höheren Beugungs-ordnungen dadurch, daß keine farbigen Säume bei Benutzung von weißem Licht auftreten. Aus der Eichkurve für Na - Licht entnimmt man für die Differenz der beiden Trommelab-lesungen die zugehörige Streifenverschiebung h. Man kann dies deshalb tun, weil auf die 0. Beugungsordnung eingestellt wird, die von der Lichtwellenlänge nicht abhängt. Mit der Küvettenlänge $l = 1 \text{ m}$ läßt sich die Brechzahldifferenz zu

$$\Delta n = \frac{h \cdot \lambda}{l} \quad (5)$$

berechnen. Die gesuchte Brechzahl von Luft unter Normalbedingungen errechnet nach

$$n_0 = 1 + S \cdot p_0 (1 + \gamma t) \quad (6)$$

wobei der Anstieg der Geraden $S = \Delta n / \Delta p$ aus Aufgabe 2 zu entnehmen ist. Die Zimmer-temperatur wird an einem Zimmerthermometer abgelesen.