

INTERFERENZREFRAKTOR VON JAMIN

Ausarbeitung von Erik Brambrink

Betreuer: Markus Kreuzer

Ziel des Versuchs

Bei diesem Versuch soll die Brechzahl von Luft und Sauerstoff in Abhängigkeit vom Druck mittels interferometrischer Messung bestimmt werden.

Theoretische Grundlagen

Die Brechzahl eines Mediums wird durch seine mikroskopischen Eigenschaften bestimmt. Primär ist dafür die Polarisierbarkeit des Moleküls, also eine elektrische Eigenschaft, verantwortlich. Die makroskopische Eigenschaft Polarisation, und damit die Suszeptibilität, ist mit der Polarisierbarkeit über die Clausius-Mossotti-Beziehung verknüpft: $\chi = \frac{Na}{1 - \frac{Na}{3}}$, wobei N die Teilchendichte der Materie, a die Polarisierbarkeit und χ die elektrische Suszeptibilität ist.¹ Die elektrische Suszeptibilität wiederum geht direkt in die Brechzahl ein, falls die Magnetisierbarkeit der Materie vernachlässigbar ist: $n = \sqrt{1 + \chi}$. Insgesamt ergibt sich so die Beziehung $a = \frac{3(n^2-1)}{N(n^2+2)}$. Somit bietet die Messung einerseits die Möglichkeit, die Polarisierbarkeit zu bestimmen, andererseits über die Druckabhängigkeit auch die Dichteabhängigkeit der Brechzahl zu überprüfen.

Desweiteren ist die Brechzahl auch wellenlängenabhängig. Im Falle normaler Dispersion steigt sie mit kürzer werdender Wellenlänge, im Fall anormaler Dispersion fällt sie mit kürzer werdender Wellenlänge. Erklären kann man dies mit dem Verhalten der mikroskopischen Oszillatoren, die für die Dispersion verantwortlich sind. Der Bereich der anormalen Dispersion ist in diesem Modell der Bereich der Resonanzabsorption des Oszillators.² Da in diesem Versuch aber keine wellenlängenabhängige Messung durchgeführt wurde, konnten diese theoretischen Aussagen nicht überprüft werden.

Versuchsaufbau und -durchführung

Aufbau

Zur Bestimmung der Brechzahl wurde ein Interferenzrefraktor von Jamin verwendet. Diese besteht aus zwei optisch gleichen, planparallelen Platten, die zur Erzeugung von Interferenzmustern dienen. An der ersten Platte wird das einfallende Licht in zwei Teilbündel aufgespaltet (Reflexion an Ober- und Unterseite der Platte), an der zweiten Platte passiert das gleiche genau umgekehrt, so daß die beiden Teilbündel wieder zusammenfallen und so interferieren können. Zwischen den beiden Spiegeln durchlaufen die beiden Strähle jeweils ein Gasrohr der Länge $30 \pm 0,1$ cm. Unterschiedlich Brechzahlen in den beiden Rohren führt zu unterschiedlichen optischen Weglängen und damit zu Verschiebungen im Interferenzmuster. Wandern z Streifen durch eine Brechzahländerung vorbei, so entspricht das einer Brechzahländerung von: $\Delta n = Z \cdot \frac{\lambda}{l}$, wobei l die Länge des Gasrohrs und λ die Wellenlänge des Lichts ist.³

Durchführung

Nach Justage der Aperatur wurde das Interferenzmuster aufs Maximum 0. Ordnung eingestellt. Dazu wurde erst mit dem Licht einer Na-Lampe ($\lambda=589,3$ nm) eine grobe

¹Nolting „Theoretische Physik Elektrodynamik“ S. 138 ff

²„Gerthsen Physik“ 18.Auflage S. 549 ff

³Anleitungsblatt S. 3 (liegt bei)

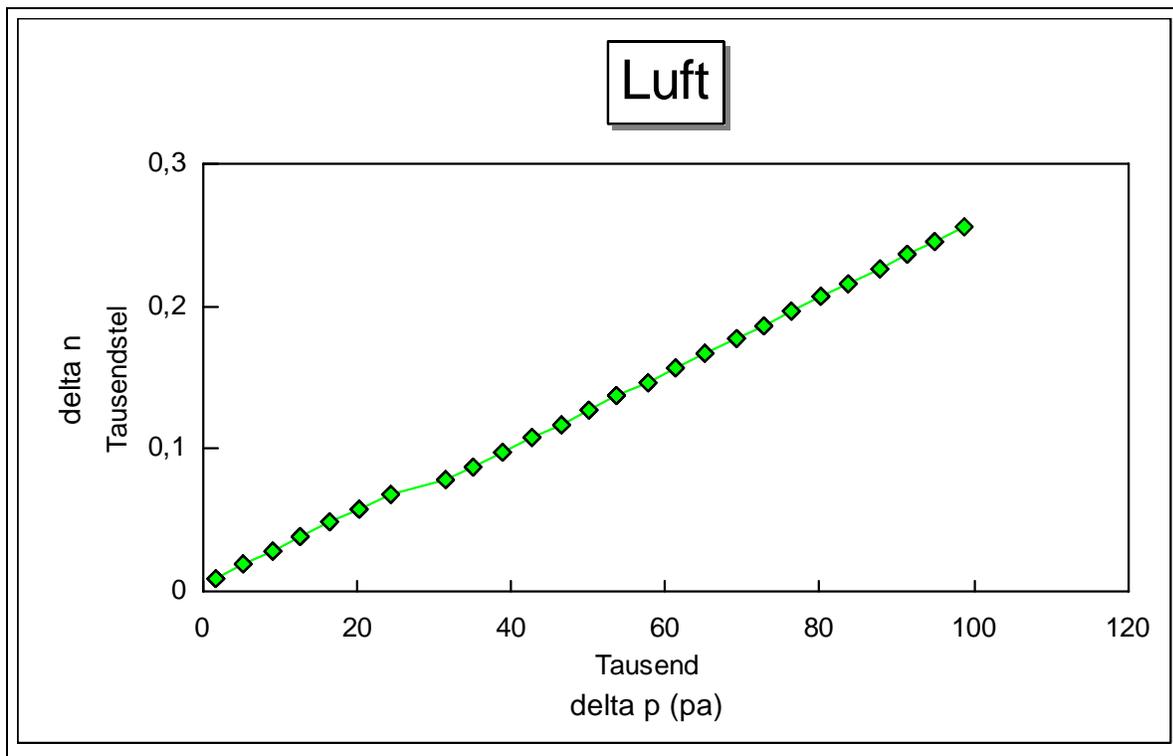
Einstellung vorgenommen (horizontale, gerade Linien), um dann mit Weißlicht das Maximum 0. Ordnung zu finden (keine spektrale Aufspaltung).

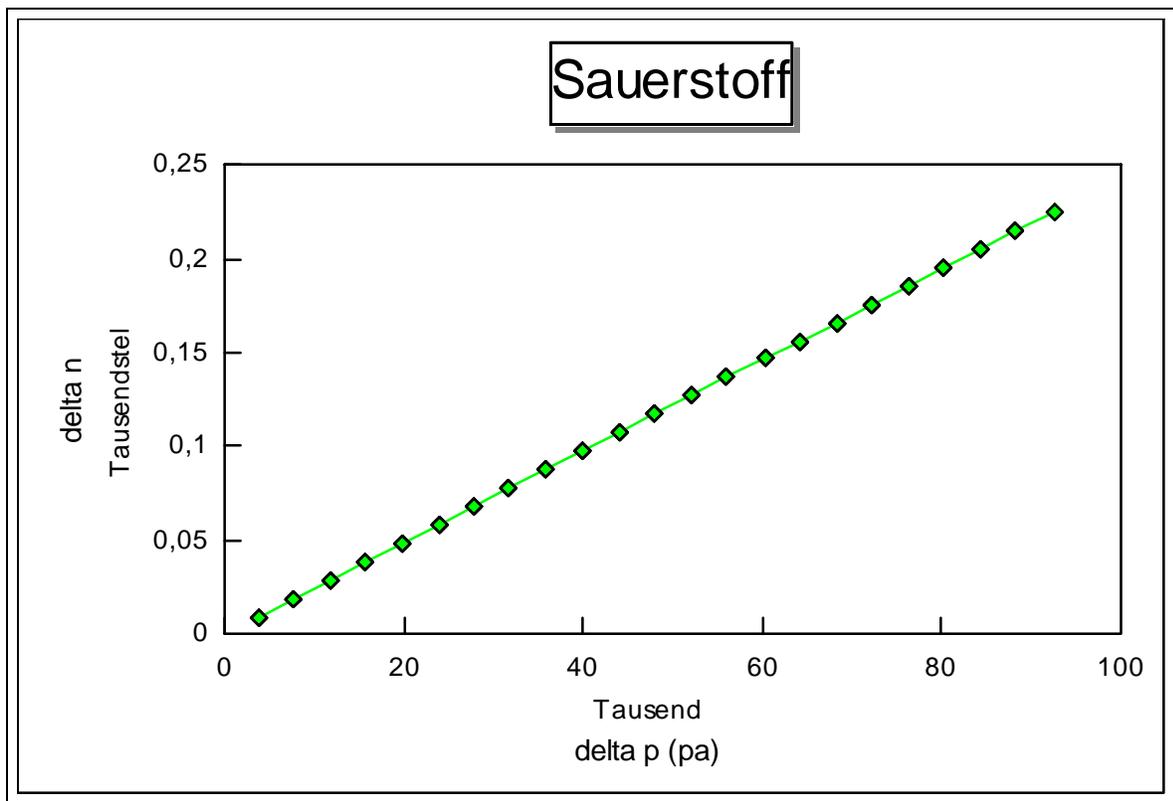
Dann wurde die Brechzahl von Sauerstoff bestimmt. Dazu wurde eines der Gasrohre leergepumpt und dann wieder langsam mit Sauerstoff gefüllt. Nachdem jeweils 5 Streifen durchgewandert waren, wurde der Druck abgelesen, wobei im Versuch ein Quecksilberbarometer verwendet wurde. Selbiges wurde dann noch einmal mit Luft statt Sauerstoff gemacht.

Anschließend wurde eine Kallibrierung der Wikelschraube durchgeführt. Dazu wurde 100 Na-Linien abgezählt und der durchlaufene Winkel notiert. Mit dieser Kallibrierung wurde dann der Abstand des Na-Doublets vermessen, indem man den Winkel zwischen den Kontrastminima, also den Gangunterschieden, bei denen das Maximum der einen Linie im Minimum der anderen Linie liegt, bestimmte. Außerdem wurde noch eine Messung der Brechzahl von Luft mit Weißlicht gemacht, wobei zu einem eingestellten Druck wieder auf das Maximum 0. Ordnung eingestellt wurde und aus der dafür nötigen Winkelverstellung auf die Änderung der optischen Weglänge und damit auf die Änderung der Brechzahl geschlossen wurde.

Auswertung

Die gemessenen Druckwerte des Quecksilbermanometers wurden zuerst auf Normalbedingungen umgerechnet und die Brechzahländerung aus den Interferenzstreifen berechnet. Dabei ergab sich folgendes Bild:





Wie erwartet besteht ein linearer Zusammenhang zwischen Druck, also Dichte, und Brechzahl. Da wir zu Beginn der Messung nie ein absolutes Vakuum hatten, ist der Nullpunkt der y-Achse verschoben. Normalerweise sollte die Gerade durch den Nullpunkt gehen. Für die Bestimmung der Polarisierbarkeit spielt das jedoch überhaupt keine Rolle, da sie aus der Steigung hervorgeht. Diese wurde mittels Regression bestimmt. Diese lieferte für Sauerstoff einen Wert von $2,4 \cdot 10^{-9}$ /pa. Entwickelt man den Ausdruck für a für kleine Δn , so erhält man die Beziehung: $\Delta n = \frac{a}{2} \frac{\Delta p}{RT}$. Daraus folgt: $a = 1,2 \cdot 10^{-5}$ m³/mol für Sauerstoff. Für Luft, die ja hauptsächlich aus Stickstoff besteht, ergibt sich ein a von $1,27 \cdot 10^{-5}$ m³/mol.

Aus der Kurve kann man auch die Brechzahl von Sauerstoff und Luft bei Normalbedingungen berechnen. Es gilt: $n = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p$ wenn man für das Vakuum ($p=0$) die Brechzahl 1 setzt. Desweiteren ist die Temperatur zu berücksichtigen, die nach dem allgemeine Gasgesetz proportional zu p ist. Damit folgt: $n = 1 + \frac{\Delta n}{\Delta p} p \frac{T}{T_{nb}}$, wobei T_{nb} die Temperatur von Normalbedingung ist, also 273 K. $\frac{\Delta n}{\Delta p}$ läßt sich aus der Geradensteigung bestimmen: Für Luft $2,73 \cdot 10^{-9}$ pa⁻¹ und für Sauerstoff $2,53 \cdot 10^{-9}$ pa⁻¹. Damit ergibt sich die Brechzahl zu 1,000277 bei Sauerstoff und 1,000299 für Luft.

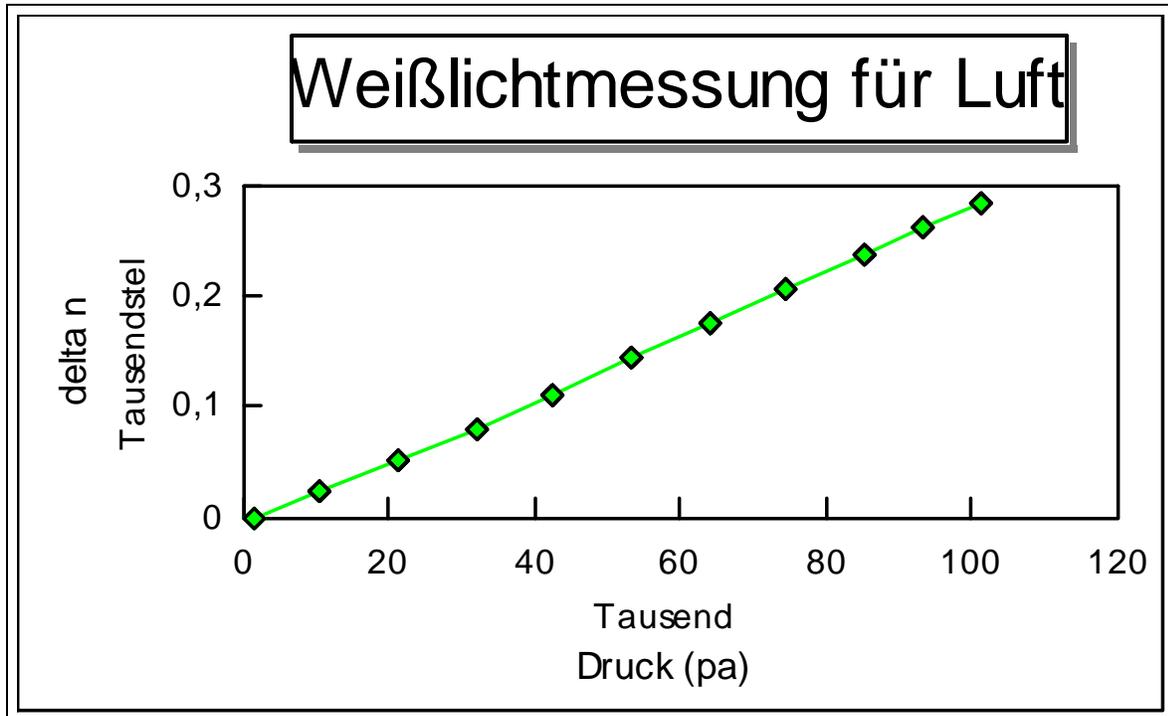
Für die weiteren Messungen wurde die Winkelschraube der Meßoperatur kalibriert. 100 Interferenzstreifen entsprachen dabei einem Winkel von 8'35". Mit dieser Kalibrierung wurden die weiteren Messungen ausgewertet. Es wurde dabei davon ausgegangen, daß zwischen Winkel und Gangunterschied ein linearer Zusammenhang besteht, was für kleine Winkel auch gegeben ist.

Bei der Bestimmung des Abstands der Natriumdoublett-Linie wurde der Abstand zwischen zwei Kontrastminima bestimmt. Er berug im Schnitt 1°27', was 1023 Interferenzstreifen entspricht. Damit kann man mit $\Delta \lambda = \frac{\lambda}{2n+1}$ einen Abstand von 0,6 nm bestimmen, was auch mit den Literaturwert (ebenfalls 0,6 nm) gut übereinstimmt².

¹ Anleitungsblatt S. 5

² Stöcker „Taschenbuch der Physik“ 2. Auflage S.285

Mit der kalibrierten Aperatur wurde dann die Brechzahl mit Weißlicht vermessen. Dieses Verfahren ist zwar weitaus ungenauer als die interferometrische Bestimmung, wird aber der Vollständigkeit halber auch noch erwähnt. Wieder wurde der Druck auf Normalbedingungen umgerechnet und aus dem Winkelunterschied die Brechzahländerung bestimmt.



Auch hier zeigt sich wieder deutlich der lineare Zusammenhang, der erwartet wird. Auch sind die Werte mit denen der interferometrischen Bestimmung vergleichbar. Wieder ergibt sich für Luft eine Brechzahl von 1,0003, was mit dem Literaturwert¹ von 1,00029 und dem Wert aus der interferometrischen Messung von 1,000299 gut übereinstimmt. Auch bei Sauerstoff gibt es mit dem Literaturwert von 1,00027 eine gut Übereinstimmung.

Fehlerbetrachtung

In die Bestimmung der Brechzahl geht die Länge der Gaskammer linear ein, damit kann der Relativfehler direkt übernommen werden: 0,3 %. Für die Druckbestimmung gab es eine Ablesungenauigkeit für das Hg-Barometer. Da die Aperatur nicht vollständig dicht war und so der Druck während des Ablesens leicht fiel, ist es nicht möglich, besser als 1 mm genau abzulesen. Da für die Bestimmung von α der Druck und damit die Länge der Hg-Säule linear eingeht, kann der relative Druckfehler zum Gaskammerfehler hinzuaddiert werden. Der relative Druckfehler betrug 0,6 % (entspricht 2 mm auf 35 cm), da man nur den Fehler am Anfangs- und am Endpunkt berücksichtigen muß. Die Zahl der Striche kann als genau angenommen werden, da die Striche gut erkennbar waren und somit wir uns wohl nicht verzählt haben. Damit haben wir einen Gesamtfehler von 0,9%. Dieser Fehler gilt natürlich genauso für die Bestimmung der Brechzahl, genauer für $n-1$, wie für die Bestimmung von α . Für Die Brechzahl ergibt sich so ein absoluter Fehler von 0,000009. Und innerhalb dieser Fehlerschranken stimmen unsere Werte auch mit der Literatur überein. Für eine genauere Bestimmung wäre ein präziseres Manometer und eine besser abgedichtete Aperatur vonnöten. Bei der Bestimmung über die Winkelschraube geht einerseits ein Ablesefehler bei der Messung an sich ein, andererseits auch der Fehler bei der Kallibrierung der Winkelschraube. Da zwischen Winkel und Zahl der Streifen ein linearer Zusammenhang besteht, geht der

¹Stöcker „Taschenbuch der Physik“ 3. Auflage S.387

Relativfehler der Kallibrierung direkt in den Relativfehler der Streifenanzahl ein. Bei der Kallibrierung lag der Fehler bei ca. $5''$, was ca. 1% entspricht.

Bei der Bestimmung des Wellenlängenabstandes wurde als Meßfehler $5'$ angenommen, da sich die „gleichmäßige“ Helligkeit des Musters nur schlecht bestimmen ließ. Das ist ein relativer Fehler von 5%. Zusammen mit dem Kallibrierungsfehler ergibt sich somit ein Gesamtfehler von 6%, das entspricht 0,036 nm.

Bei der Bestimmung der Brechzahl geht neben dem Ablesefehler von $10''$, das entspricht 2 %, und dem Kallibrierungsfehler von 1 % auch noch der Ablesefehler für den Druck, der wie oben 0,6 % beträgt. Damit erhält man hier einen Gesamtfehler von 3,6 % also für $n-1$ einen Absolutfehler von 0,000011. Die Fehlerbetrachtung unterstreicht noch einmal die bessere Genauigkeit der interferometrischen Messung.