

# Versuch 23: Brechungsindex und Polarisierbarkeit von Gasen

Lichtquanten können mit den Elektronen von Atomen auf verschiedene Weise in Wechselwirkung treten. Wird dabei den Elektronen Energie zugeführt (z.B. Anregung, Ionisation), so werden die Lichtquanten absorbiert.

Eine Wechselwirkung ohne Absorption des Lichtquants ist jedoch auch als Folge der Polarisierung des Atoms über das elektrische Feld der Lichtwelle möglich. Dies ist die Ursache eines von Eins verschiedenen Brechungsindexes außerhalb der Absorptionsgebiete der Materie. Auf diese Weise beeinflussen z.B. Gase die Ausbreitung von Licht im sichtbaren Spektralbereich, in dem so gut wie keine Absorption stattfindet. Wegen der relativ geringen Wechselwirkung und insbesondere infolge der geringen Atomkonzentration weicht jedoch der Brechungsindex nur geringfügig von Eins ab.

Ziel des Versuches ist es, mit Hilfe einer interferometrischen Meßmethode diese Abweichung zu erfassen und daraus die Polarisierbarkeit der verwendeten Gasteilchen zu ermitteln.

## Vorkenntnisse

Elektromagnetische Wellen – Wellengleichung im nichtleitenden Medium – Makroskopische und mikroskopische Betrachtungsweise – Phasengeschwindigkeit und Gruppengeschwindigkeit – Brechungsindex – Dispersion – Polarisation – Polarisierbarkeit –  $\vec{E}$ ,  $\vec{D}$ ,  $\vec{P}$  – Clausius-Mosotti-Formel – Lokales Feld – Resultierendes Feld – Interferometer – Interferenzen gleicher Neigung und gleicher Dicke

## Physikalische Grundlagen



Abb. 1: Verschiebungspolarisation

Ein Dielektrikum ist ein Medium mit verschwindender Gleichstromleitfähigkeit, also ohne freie Ladungsträger (d.h.  $\sigma_0 = 0$ ). In einem elektrischen Feld  $\vec{E}$  werden *elastisch gebundene* Ladungen  $+q$  bzw.  $-q$  eines insgesamt neutralen Teilchens um einen Vektor  $\vec{r}$  gegeneinander verschoben,

so dass ein *Dipolmoment*  $\vec{M}$  induziert wird (hierbei bezeichnet  $q$  den Betrag der Ladung und  $\vec{r}$  die Verschiebung des positiven gegenüber dem negativen Ladungsschwerpunkt):

$$\vec{M} = q \vec{r} \quad (1)$$

Bei  $N$  Teilchen pro Volumeneinheit erhält man als *Polarisation*, d.h. als Dipolmoment pro Volumeneinheit:

$$\vec{P} = N \vec{M} = N q \vec{r} \quad (2)$$

Dabei bleibt innerhalb des Dielektrikums die resultierende Raumladung Null und damit die Neutralität gewahrt. An den Grenzen des Dielektrikums bilden sich Flächenladungen, die den Ausgangspunkt elektrischer Feldlinien bilden. Man spricht von der Flächendichte eines elektrischen Flusses bzw. von der dielektrischen Verschiebung  $\vec{D}$ . Zwischen  $\vec{D}$  und  $\vec{E}$  besteht die Beziehung:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} = \epsilon_{rel} \epsilon_0 \vec{E} \quad (3)$$

Hierbei ist  $\epsilon_0$  die Dielektrizitätskonstante des Vakuums und  $\epsilon_{rel}$  das Verhältnis von  $\epsilon$  zu  $\epsilon_0$ , also:

$$\epsilon = \epsilon_{rel} \epsilon_0 \quad (4)$$

Beispielsweise bei Einkristallen, anisotropen Strukturen oder in Anwesenheit zusätzlicher externer Felder ist  $\vec{D}$  nicht notwendigerweise parallel zu  $\vec{E}$ . In diesem Fall muß die dielektrische Funktion durch einen Tensor dargestellt werden:

$$\vec{D} = \overset{\leftrightarrow}{\epsilon} \vec{E} = \overset{\leftrightarrow}{\epsilon}_{rel} \epsilon_0 \vec{E} \quad (5)$$

Innerhalb des Dielektrikums ist die elektrische Feldstärke im allgemeinen betragsmäßig kleiner als die ursprüngliche, denn die durch die Polarisation verursachten Flächenladungen erzeugen ein dem ursprünglichen Feld entgegengesetztes und damit abschirmendes Feld:

$$\vec{E}_{res} = \frac{1}{\epsilon_0} \vec{D} - \frac{1}{\epsilon_0} \vec{P} \quad (6)$$

## Experiment

Zur Versuchsdurchführung steht ein Michelson-Interferometer mit einem He-Ne-Laser (Wellenlänge  $\lambda = 632.5 \text{ nm}$ ) als Lichtquelle zur Verfügung. Dieses Interferometer ist in Abb. 2 skizziert. Das durch die Linsen  $L_1$  und  $L_2$  aufgeweitete Lichtbündel des Lasers wird am Strahlteiler  $T$  in zwei Strahlen geteilt, die sich nach Reflexion an den Spiegeln  $S_1$  und  $S_2$  hinter dem Strahlteiler überlagern. Das entstehende Interferenzbild kann auf einer Mattscheibe  $M$  beobachtet werden.

Das Interferometer entspricht in der Wirkung einer Luftplatte, die zwischen dem Spiegel  $S_1$  und dem vom Spiegel  $S_2$  entworfenen virtuellen Bild  $V$  gebildet wird. Wären  $S_1$  und  $V$  völlig parallel, so wäre auf der Mattscheibe bei paralleler Beleuchtung nur eine homogene Helligkeitsverteilung zu beobachten. Infolge von Dejustierungen und Fehlern der verwendeten Spiegel und des Strahlteilers sind jedoch Kreise oder Streifen zu sehen. Ändert sich die Strecke  $T-S_1$  oder  $T-S_2$  um  $\lambda/2$  (die gesamte optische Weglänge also um  $\lambda$ ), dann verschieben sich die Interferenzstreifen gerade um einen Streifen. Der zur Verschiebung um eine Streifenbreite erforderliche zusätzliche Gangunterschied von  $\pm\lambda$  muß nicht als geometrischer Wegunterschied vorhanden sein. Entscheidend ist vielmehr der *optische Weg*  $l$ , das Produkt aus geometrischer Strecke  $s$  und Brechzahl  $n$  auf dieser Strecke:

$$l = s n \quad (7)$$

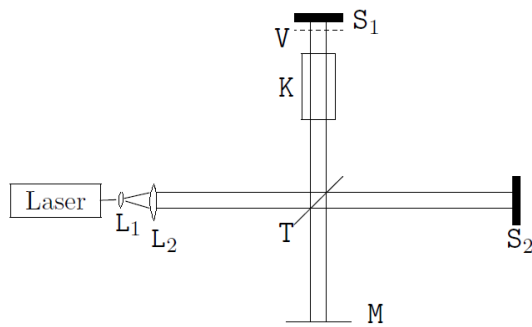


Abb. 2: Interferometer

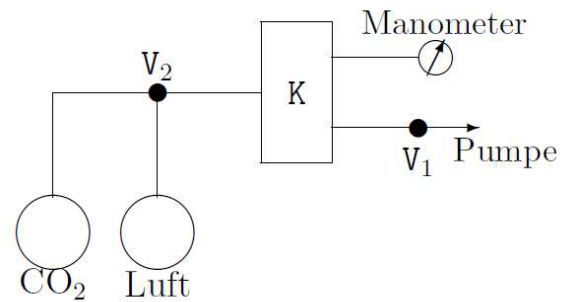


Abb. 3: Küvette

Bei konstanter Geometrie ergibt sich daher auch dann eine Verschiebung um eine Streifenbreite, wenn sich über der Länge  $s$  die Brechzahl um  $\Delta n$  ändert, so dass gilt:

$$\Delta l = s \Delta n = \lambda \quad (8)$$

Diese Beziehung wird ausgenutzt, um in einer Küvette der Länge  $d$  die Brechzahländerung  $\Delta n$  zu messen, die sich als Funktion des Gasdruckes ergibt.

In den einen Arm des Interferometers ist daher zusätzlich noch eine Küvette K (Länge  $d = 10 \text{ cm}$ ) montiert. Diese Küvette kann über eine Pumpe evakuiert bzw. mit Luft oder HE variablen Druckes gefüllt werden. Der Druck wird durch ein Manometer, das in technischen Einheiten kalibriert ist (Umrechnung in  $\text{mbar}$  erforderlich), angezeigt.

Im einzelnen sind folgende Schritte durchzuführen (siehe auch Abbildungen 2 und 3):

1. Evakuieren der Küvette. Dazu erst die Pumpe anstellen, danach Ventil 1 öffnen. Anschließend nach **hinreichender Pumpzeit** (ca.  $1 \text{ min}$ ) Ventil 1 schließen, Pumpe abstellen und Enddruck notieren.
2. Durch Justieren mit  $S_2$  ein Interferenzbild mit möglichst wenigen Streifen erzeugen. Sollte dies mißlingen, bitte den betreuenden Assistent benachrichtigen.
3. Über Ventil 2 langsam die Luft als Testgas in die Küvette einlassen. Man zählt an einem Bezugspunkt die durchgelaufenen Interferenzstreifen in Abhängigkeit vom Druck. Die Belüftung soll also so langsam erfolgen, dass pro Sekunde etwa ein Streifen verschoben wird (Druckbereich  $0 - 2 \text{ bar}$ ).
4. Die Messung ist für jedes Testgas zu wiederholen.

## Versuchsaufgaben

Für die Messungen werden Luft und Helium als Testgas verwendet. Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit werden je Testgas zwei Messungen durchgeführt und folgendes bestimmt:

### 1. Bestimmung der Brechzahl

Mit Hilfe des Michelson-Interferometers bestimme man die Brechzahl

a) von Luft            und

b) von He.

Hierzu soll die Interferenzstreifenanzahl über dem Druck in einem Diagramm dargestellt werden. Dabei sollte sich bei Gültigkeit der Theorie eine Gerade ergeben, aus deren Verlauf die Brechzahl für 1 bar bzw. 2 bar zu berechnen ist (Beziehung selbst herleiten, Ausgangspunkt ist das Vakuum).

### 2. Bestimmung der Polarisierbarkeit

Zeigen Sie, dass gilt:  $n_{Gas} - n_{Vak} \sim N$ , wobei  $N$  die Teilchendichte ist.

### 3. Bestimmung der Polarisierbarkeit

Aus der Dichte der Gasmoleküle berechne man die Polarisierbarkeit von Luft-Molekülen bzw. He-Atomen.