

Versuch D 14: Laser-Interferometer

- 1. Literatur:** Bergmann-Schaefer, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. III, Optik
 Pohl, Einführung in die Physik, Bd. III, Optik und Atomphysik
 Schpolksi, Atomphysik, Bd. I u. II
 Kohlrausch, Praktische Physik, Bd. I
 Tradowski, Laser - kurz und bündig

Stichworte: Laserprinzip (induzierte Emission), He-Ne-Laser, Kohärenz, Interferenz, Interferometer, Brechungsgesetze (opt. Weglänge), thermische Ausdehnung

2. Grundlagen

2.1 Laser

Mit dem Begriff *Laser* werden Lichtquellen mit besonderen Eigenschaften bezeichnet, die sie von allen anderen natürlichen und technischen Lichtquellen unterscheiden: Laser emittieren scharfe Bündel kohärenter Lichtwellen im sichtbaren Bereich des Spektrums oder in den angrenzenden Gebieten (UV, IR). Das Laserlicht ist zudem extrem monochromatisch und kann eine sehr hohe Energiedichte haben. Diese Eigenschaften beruhen auf dem Prinzip der Lichterzeugung, das im Namen *LASER* selbst, der engl. Abkürzung für *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* zum Ausdruck kommt. Während das Licht konventioneller Lichtquellen durch spontane, d.h. zeitlich und räumlich unkorrelierte Übergänge von Elektronen aus energetisch angeregten Atomzuständen erzeugt wird, entsteht Laserlicht durch Übergänge, die durch eine Lichtwelle geeigneter Frequenz stimuliert bzw. induziert werden. Das erzeugte Licht überlagert sich dabei der erregenden Lichtwelle phasengleich, mit gleicher Polarisation und in gleicher Richtung, so dass die Lichtwelle kohärent verstärkt wird.

Aufgrund ihrer nützlichen Eigenschaften finden Laser-Systeme heute breite Anwendung in Technik und Wissenschaft. Die scharfe Bündelung des Laserstrahls erlaubt eine sehr hohe Präzision im Vermessungswesen über große Distanzen, z.B. beim Tunnelbau, oder in der Astronomie (Abstandsbestimmung Erde - Mond). Die hohe Energiedichte des gebündelten Laserlichts wird technisch bei der mechanischen Bearbeitung harter und hochschmelzender Materialien genutzt wie beim Schweißen, Schneiden und Bohren von Metallen oder in der Medizin, z.B.

bei der Behandlung von Netzhautablösungen. Die räumliche und zeitliche Kohärenz sowie die Monochromasie des Laserlichts ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen wie etwa in der Nachrichtentechnik zur optischen Informationsübertragung (Glasfaserleitung) und Informationsspeicherung (Holographie) sowie allgemein in der Interferometrie zur hochauflösenden Spektroskopie, zur Bestimmung geometrischer Längenunterschiede (auf Bruchteile von Wellenlängen genau) oder von Unterschieden der Brechungsindizes verschiedener optischer Medien. Die Interferometrie mittels Laserlicht ist auch der Gegenstand des vorliegenden Versuches.

2.2 Absorption, spontane u. induzierte Emission

Zur einfachen Beschreibung der Vorgänge Emission und Absorption von Licht seien viele gleichartige Atome mit Elektronen in nur zwei (nicht entarteten) Zuständen der Energie E_1 (Grundzustand) und E_2 (angeregter Zustand) betrachtet (s. Abb. 1). N_1 sei die Zahl der Atome im Zustand der Energie E_1 , N_2 die der im Zustand mit der Energie E_2 . Trifft eine Lichtwelle der Frequenz $\nu_{21} = (E_2 - E_1)/h$ und spektralen Energiedichte $\rho(\nu)$ auf die Atome, so wird diese z.T. absorbiert, d.h. es werden Übergänge der Elektronen von E_1 nach E_2 stattfinden, wobei die Zahl der in der Zeiteinheit angeregten Atome

$$-\frac{dN_1}{dt} = N_1 \rho(\nu) B_{12} \quad (1)$$

ist und die Konstante B_{12} die Wahrscheinlichkeit für den Absorptionsprozess, d.h. den Übergang der Atome von 1 nach 2 darstellt. Umgekehrt finden in der gleichen Zeit Emissionsprozesse statt; z.T. sind diese spontan aufgrund der endlichen Lebensdauer des angeregten Zustandes. Aus der mikroskopischen Umkehrbarkeit des Absorptionsprozesses folgt zum anderen, dass auch Übergänge von 2 nach 1 durch die einlaufende Lichtwelle induziert werden (Einstein). Die Zahl der Atome, welche in der Zeiteinheit in den Grundzustand übergehen, ist damit durch

$$-\frac{dN_2}{dt} = N_2 (A_{21} + \rho(\nu) B_{21}) \quad (2)$$

gegeben, wobei A_{21} die Wahrscheinlichkeit für die spontane, B_{21} die für die induzierte Emission darstellen. Sind die Atome im thermischen Gleichgewicht mit der Strahlung, so sind die Besetzungszahlen N_1 und N_2 zeitlich konstant, d.h. es finden in der Zeiteinheit gleich viele Emissions- wie Absorptionsprozesse statt.

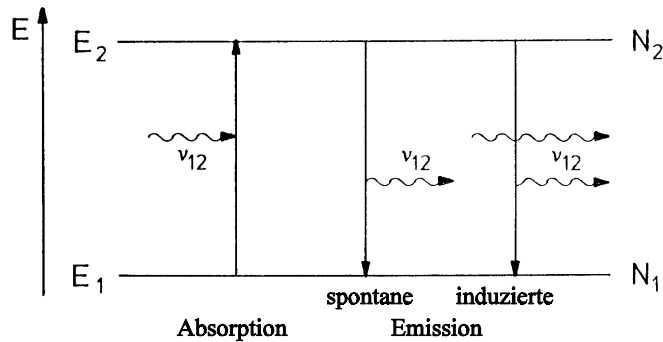


Abb.1: Absorption, spontane und induzierte Emission von Licht bei einem atomaren Zweiniveausystem

Das Verhältnis N_2/N_1 ist zudem durch den Boltzmann-Faktor

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{h\nu}{k_B T}\right) \quad (3)$$

festgelegt. Nach Gleichsetzen von Gl. (1) und (2) und Einsetzen von (3) erhält man für die spektrale Energiedichte

$$\rho(\nu) = \frac{A_{21}}{B_{12} e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - B_{21}} \quad (4)$$

und durch Vergleich von Gl. (4) mit der Planckschen Strahlungsformel (s. auch Versuch D8, Temperaturstrahlung) für die Koeffizienten A und B

$$A_{21} = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} B_{21}, \quad B_{12} = B_{21} \quad (5)$$

Für das Zahlenverhältnis von induzierten zu spontanen Emissionsprozessen thermischer Strahler erhält man mit Gln. (2), (4) u. (5) schließlich

$$\frac{\rho(\nu)B_{21}}{A_{21}} = \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{k_B T}} - 1} \quad (6)$$

Dieses Verhältnis ist im sichtbaren Bereich des Spektrums extrem klein (10^{-5} für $T = 2000 \text{ K}$, $\lambda = 600 \text{ nm}$), so dass das sichtbare Licht thermischer Strahler, wie etwa das einer Glühlampe praktisch nur durch spontane Emission zustande kommt. Darüber hinaus ist bei thermischen Strahlern nur ein sehr geringer Bruchteil der Atome im angeregten Zustand ($N_2/N_1 \approx 10^{-5}$, s. Gl.(3)), so dass die Zahl der in der Zeiteinheit stattfindenden Absorptionsprozesse die der induzierten Emission bei weitem überwiegt, d.h. die Größe $(N_1 - N_2)\rho(\nu)B_{12}$ positiv ist, die erregende Lichtwelle also stets geschwächt wird. Eine Verstärkung der Lichtwelle durch induzierte Emission ist deshalb nur für $N_2 > N_1$, d.h. bei sog. *Besetzungsinversion* möglich.

2.3 Laser-Systeme, Helium-Neon-Gas-Laser

Zur Lichtverstärkung durch induzierte Emission muss einem geeigneten Laser-Medium (bestimmte Gase, Flüssigkeiten oder Festkörper) Energie, die sog. *Pumpenergie* zugeführt werden. Bei Flüssigkeiten und Festkörpern geschieht dies durch Einstrahlung von Licht, bei Gaslasern, wie auch bei dem im Versuch verwendeten He-Ne-Laser erfolgt die Zufuhr von Energie durch Elektronenstoß in einer elektrischen Gasentladung. Außerdem sind zur Erzeugung der Besetzungsinversion für die optische Übergänge von Laser-Medien nicht wie in Abb. 1 gezeigt nur zwei sondern mindestens drei Niveaus mit Energien $E_3 > E_2 > E_1$ notwendig. Die Pumpenergie dient dabei zum Übergang von 1 nach 3. Die Inversion, $N_3 > N_1$, wird erreicht, wenn dieser Übergang optisch *verboten* ist (s. z.B. Auswahlregeln für Dipolstrahlung, Versuch D15, Zeeman-Effekt), so dass das System praktisch nur über den Zustand 2 in den Grundzustand 1 zurückkehren kann. Erfolgt der Übergang von 3 nach 2 (mit kleiner Energiedifferenz) strahlungslos, ist auch eine Besetzungsinversion der Zustände 2 und 1 möglich und der Übergang von 2 nach 1 fungiert als Laser-Übergang.

Beim He-Ne-Laser (s. Abb. 2) wird die benötigte Pumpenergie in der Gasentladung durch Elektronenstoß überwiegend den He-Atomen zugeführt. Diese werden dabei vom Grundzustand in zwei metastabile Zustände, d.h. solche mit großer Lebensdauer angeregt. Die Anregungsenergie der He-Atome wird während dieser Zeit durch Stöße vollständig auf die Ne-Atome übertragen (*Stöße zweiter Art*), so dass für diese eine Besetzungsinversion bestimmter Anregungsniveaus (sog. *Laserniveaus*) gegenüber tiefer liegenden Energiezuständen sowie dem Grundzustand erzeugt wird. Die von den Ne-Atomen emittierte Laser-

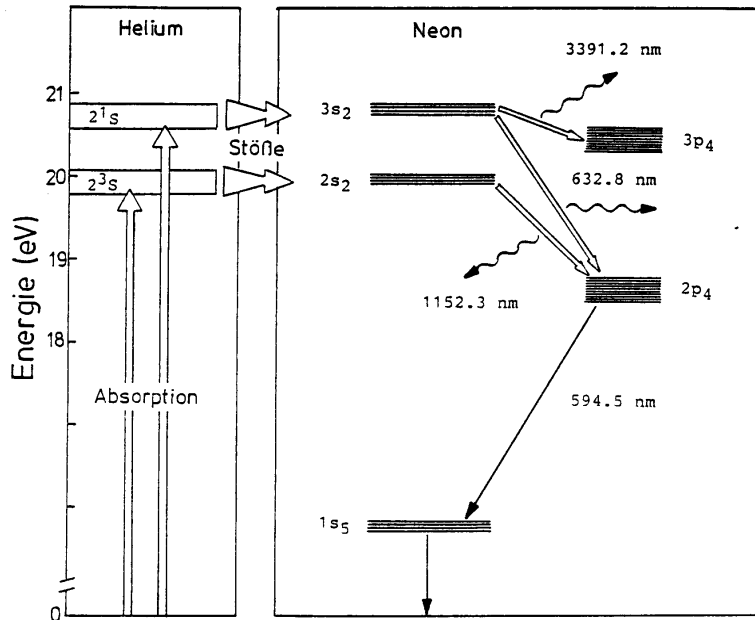


Abb.2: Energieschema für den Helium-Neon-Laser

↓ induzierte Übergänge (Laserübergänge), ↓ spontane Übergänge

Strahlung liegt im roten u. infraroten Bereich des Spektrums (632,8; 1152 u. 3391 nm).

Den grundsätzlichen Aufbau des He-Ne-Gas-Lasers zeigt Abb. 3. Das Gas befindet sich unter vermindertem Druck in einem Glaszylinder, in dem die elektr. Entladung stattfindet. Die Fenster an den Enden des Zylinders sind um den Brewster-Winkel (was ist das?) gegen die Zylinderachse verkippt, so dass dort nur Strahlung einer bestimmten Polarisationsrichtung reflexionsfrei austreten kann. Diese Strahlung wird zwischen zwei Spiegeln so in sich reflektiert, dass sie den Zylinder vielfach durchläuft und bei jedem Durchgang Laserstrahlung induziert bzw. durch diese kohärent verstärkt wird. Hierbei bildet sich eine stehende Welle aus, deren genaue Wellenlänge vom Abstand der Spiegel abhängt. Das System Zylinder-Spiegel stellt einen Resonator dar, der die Verstärkung und Emission des Lichts in einem nur sehr schmalen Frequenzintervall ($\Delta\nu$ bis hinab zu ca. 1 Hz möglich) bewirkt. Die kohärente und extrem monochromatische Laser-Strahlung

tritt durch einen der Spiegel, der zum (geringen) Teil durchlässig ist, in den Außenraum.

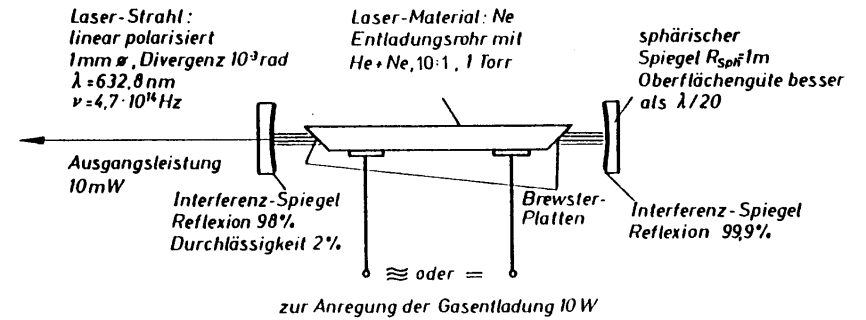


Abb.3: Typischer Aufbau eines He-Ne-Gaslasers

2.4 Interferometer, Versuchsanordnung

Bei Interferometern wird, wie der Name andeutet, die Interferenz von zwei oder mehreren kohärenten monochromatischen Lichtbündeln genutzt, d.h. von solchen, die eine räumlich (u. zeitlich) definierte Phasendifferenz aufweisen. Aus der Abhängigkeit der Phasendifferenz vom Strahlengang im Interferometer kann zum einen die Wellenlänge des benutzten Lichts sehr genau bestimmt werden, zum anderen lassen sich Unterschiede optischer Weglängen bei bekannter Wellenlänge präzise ermitteln. Laser sind wegen der großen Kohärenzlänge ihrer Strahlung ideale Lichtquellen für interferometrische Messungen, insbesondere bei der Interferenz in höherer Ordnung sowie der vieler Teilstrahlen (Vielstrahlinterferenz).

Abb. 4 zeigt schematisch den Aufbau und Strahlengang des Michelson-Interferometers, eines Zweistrahlinterferometers, das im vorliegenden Versuch u.a. zur Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts benutzt wird. Mit Hilfe der Linsen L_1 und L_2 wird der Strahl des Lasers aufgeweitet, so dass ein ausgedehntes, nahezu paralleles Lichtbündel von L_2 auf den halbdurchlässigen Spiegel T als Strahlteiler trifft. Die von T ausgehenden Teilstrahlen werden an den beiden Spiegeln S_1 und S_2 in sich reflektiert und treffen an T wieder zusammen, wo sie entsprechend dem Unterschied der optischen Weglängen TS_1T und TS_2T konstruktiv oder destruktiv interferieren. Zur besseren Beobachtung wird der von T ausgehende Strahl nochmals durch die beiden Linsen L_3 und L_4 erweitert, bevor

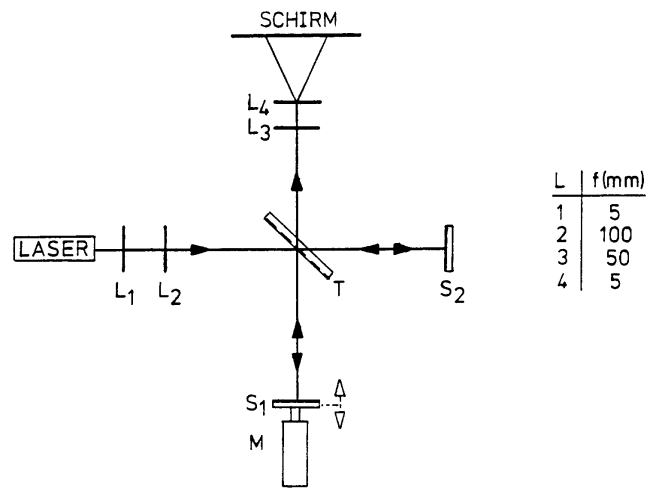


Abb.4: Strahlengang des Michelson-Interferometers;
 L₁ - L₄ Linsen zur Strahlaufweitung, S₁, S₂ Spiegel,
 T teildurchlässiger Spiegel, M Mikrometerschraube

er auf den Schirm trifft und - bei optimaler Justierung aller Komponenten - als ausgedehntes Interferenzbild aus konzentrischen hellen und dunklen Ringen zu beobachten ist. Durch Verschieben des Spiegels S₁ längs des Lichtweges wird die Weglänge TS₁T verändert, so dass im Interferenzbild die Ringe aus dem Zentrum heraus bzw. in dieses hineinlaufen. Die Bewegung des Bildes um einen Ringabstand entspricht gerade einer Phasendifferenzänderung der Teilstrahlen um 2π bzw. der optischen Weglängenänderung um λ, also der Verschiebung des Spiegels um λ/2. Ein an S₁ angebrachter Feinstelltrieb gestattet eine definierte Bewegung Δs des Spiegels, so dass mit

$$\lambda = \frac{2\Delta s}{z} \quad (7)$$

aus der Verschiebung des Interferenzbildes um z Ringe (oder Streifen) die Wellenlänge λ des Lichts bestimmt werden kann.

Umgekehrt kann mit Kenntnis der Wellenlänge bei ortsfestem Spiegel S₁ aus der Änderung des Interferenzbildes auch eine Veränderung Δs der Lage des Spiegels

S₂ bestimmt werden. Abb. 5 zeigt die Halterung des Spiegels S₂' (anstelle S₂) zur Bestimmung der (geringen) Längenänderung ΔL der Länge L = 10 cm eines Metallstabes infolge der Änderung seiner Temperatur. Der Metallstab M ist parallel zum Lichtweg TS₂T an einem Ende ortsfest eingespannt; am anderen Ende ist der Spiegel S₂' aufgeschraubt. Mit einer über den Stab geschobenen elektr. Heizmanschette H wird der Stab geringfügig (um einige Grad Celsius) oberhalb Raumtemperatur erwärmt und dabei der Spiegel S₂' um die Strecke ΔL (=Δs) in

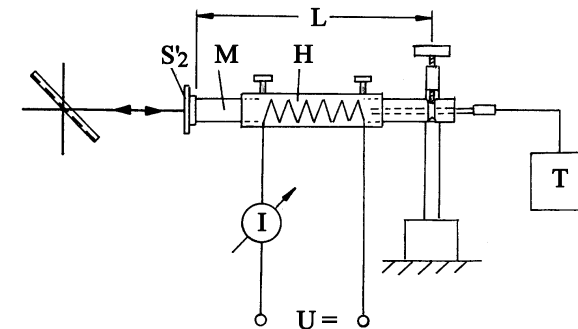


Abb.5: Halterung der Spiegels S₂' des Michelson-Interferometers zur Bestimmung der Längenänderung ΔL des Metallstabes M bei Erwärmung; H elektr. Heizmanschette, T Temperaturanzeige

Richtung des Strahlteilers verschoben. Die Temperatur T des Stabes wird durch einen Sensor bestimmt, welcher an der eingespannten Seite in einer Bohrung steckt. Aus der mit Gl. (7) ermittelten Längenänderung ΔL und der Temperaturänderung ΔT des Stabes kann der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient α des benutzten Stabmaterials bei Raumtemperatur bestimmt werden:

$$\alpha = \frac{1}{L} \frac{\Delta L}{\Delta T} = \frac{\lambda}{2L} \frac{z}{\Delta T} \quad (8)$$

Der lineare thermische Ausdehnungskoeffizient α metallischer Elemente hat bei Raumtemperatur die Größenordnung 10⁻⁵ K⁻¹. Bestimmte ferromagnetische Legierungen, sog. *Invar*, zeigen dagegen in einem weiten Temperaturbereich eine viel geringere Wärmedehnung und sind deshalb von großer technischer Bedeutung. Die schon seit etwa 100 Jahren bekannten FeNi-Invar-Legierungen haben z.B. bei der Zusammensetzung Fe₆₅Ni₃₅ im Bereich um Raumtemperatur den

Ausdehnungskoeffizienten $\alpha = 1,2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

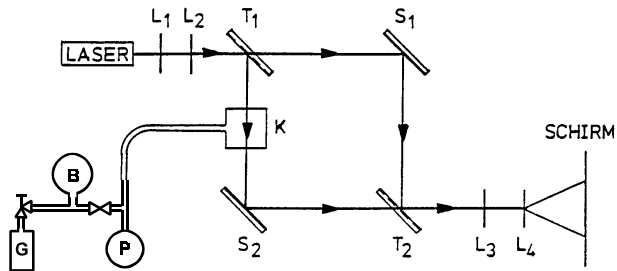


Abb.6: Aufbau u. Strahlengang des Mach-Zehnder-Interferometers; $L_1 - L_4$ Linsen zur Strahlauflösung, S_1, S_2 Spiegel, T_1, T_2 teildurchlässige Spiegel, K Kammer, P Pumpe, B Ballon, G Gasbehälter

Abb. 6 zeigt den Strahlengang eines Interferometers nach *Mach-Zehnder*. Im Unterschied zum Interferometer nach *Michelson* werden hier zwei halbdurchlässige Spiegel T_1 und T_2 zur Strahlteilung und -vereinigung benutzt. Einer der beiden Teilstrahlen durchläuft die mit Luft oder CO_2 gefüllte Kammer K, die über einen Schlauch mit der Pumpe P sowie über Ventile mit dem Ballon B und dem Gasbehälter G (CO_2) verbunden ist. Obwohl Gase einen Brechungsindex n von nahezu 1 haben, bewirkt ihre Dichte- bzw. Druckänderung in der Kammer eine Änderung der optischen Weglänge des Teilstrahls, so dass aus der Verschiebung des Interferenzbildes um z Ringe bzw. Streifen der Brechungsindex von Luft bzw. CO_2 bestimmt werden kann.

Der druck- u. temperaturabhängige Brechungsindex $n(p, t)$ von Gasen lässt sich darstellen als

$$n(p,t) = 1 + \frac{p(n_0 - 1)}{p_0(1 + \beta t)} \quad (9)$$

Hierbei sind:

- p : Druck in der Kammer
- p_0 : Normaldruck ($p_0 = 1013 \text{ mbar} = 760 \text{ Torr}$) \approx Außenluftdruck

- β : Ausdehnungskoeffizient des Gases ($\beta = 1/273 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)
- t : Temperatur ($^\circ\text{C}$)
- n_0 : Brechungsindex bei $p_0, t_0 = 0^\circ\text{C}$
- Luft: $n_0 = 1,000292$ ($\lambda \approx 600 \text{ nm}$)
- CO_2 : $n_0 = 1,000449$ ($\lambda \approx 600 \text{ nm}$)

Mit der der Interferenzbedingung

$$z\lambda = (n(p,t) - n(p_0,t))L \quad (10)$$

folgt aus Gl. (9)

$$n_0 - 1 = \frac{z}{p_D} \frac{\lambda p_0 (1 + \beta t)}{L} \quad (11)$$

Hierbei ist $p_D = p - p_0$ der an der Pumpe ablesbare Differenzdruck von Kammer und Außenraum und $L = 50 \text{ mm}$ die Kammerlänge.

3. Aufgabenstellung

- 1. Aufgabe:** Bauen Sie ein Michelson-Interferometer gem. Abb. 4 auf und bestimmen Sie mit Gl. (7) die Wellenlänge des He-Ne-Laserlichts.
 - 2. Aufgabe:** Bestimmen Sie mit dem Michelson-Interferometer gem. Abb. 5 und Gl. (8) den linearen thermischen Ausdehnungskoeffizienten α von drei verschiedenen Metallstäben im Bereich um Raumtemperatur.
- oder:** Bauen Sie gem. Abb. 6 ein Mach-Zehnder-Interferometer auf und bestimmen Sie mit Gl. (11) den Brechungsindex n_0 von Luft und CO_2 unter Normalbedingungen.

4. Versuchsdurchführung und Auswertung

Vorsicht! Nicht direkt in den Laserstrahl schauen, auf keinen Fall in den unaufgeweiteten Strahl, um Augenverletzungen zu vermeiden! Schutzbrillen tragen!

Achtung! Bitte nicht die empfindlichen Spiegeloberflächen berühren!

Der Laser ist auf einem schwenkbaren Arm an einer Metallplatte montiert, welche schwingungsgedämpft auf dem Experimentiertisch liegt. Auf dieser werden alle optischen Komponenten bis auf den Schirm mittels Haftmagneten unter Ausnutzung der gesamten Plattenfläche montiert. Achten Sie darauf, dass der Laserstrahl (millimetergenau) parallel zur Plattenfläche verläuft, die Linsen und Spiegel in gleicher Höhe über der Platte angeordnet sind und die Strahlteiler so stehen, dass die optischen Achsen der Interferometer jeweils im rechten Winkel zueinander liegen. Prüfen Sie den Strahlengang mit Papier, die Höhe des Strahls über der Platte mit einem Maßstab. Die beiden Spiegel S_1 und S_2 haben auf ihrer Rückseite Stellschrauben zur Feinjustierung. Die Linsen L_1 und L_2 sollten so positioniert werden, dass der durch sie aufgeweitete Laserstrahl ein paralleles Lichtbündel darstellt, welches einen möglichst großen Teil der Spiegelflächen nicht jedoch deren Ränder trifft, um Beugungserscheinungen zu verhindern. Während der Versuche ist jegliche Erschütterung der Platte zu vermeiden.

4.1 Michelson-Interferometer

Bestimmen Sie zunächst das Untersetzungsverhältnis des Feinstelltriebes. Bauen Sie danach das Interferometer gem. Abb. 4 auf. Beachten Sie, dass nach Justierung der Spiegel S_1 und S_2 die von ihnen reflektierten Teilstrahlen z.T. in die Lichtaustrittsöffnung des Lasers zurückfallen müssen. Nur wenn diese am Lasergehäuse sichtbaren Lichtflecke übereinander liegen, lässt sich ein Interferenzbild auf dem Schirm beobachten.

Im nachfolgenden Versuch wird der Feinstelltrieb 5 mal um jeweils 10 Umdrehungen verstellt und die entsprechende Zahl der Interferenzstreifen bestimmt. Beachten Sie dabei evtl. totes Spiel im Stelltrieb.

Berechnen Sie mit Gl. (7) die Wellenlänge des Lasers und die Standardabweichung des Messergebnisses. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Literaturwert. Diskutieren Sie mögliche Fehlerquellen und Schwierigkeiten bei der Versuchsdurchführung.

4.2 Thermische Ausdehnung

Wählen Sie drei verschiedene Metallstäbe zur Bestimmung ihrer thermischen Längenänderung aus. Ersetzen Sie den Spiegel S_2 des Michelson-Interferometers durch den Aufbau gem. Abb. 5. Die Feststellschrauben der Heizmanschette werden zur Verbesserung des thermischen Kontaktes zum Metallstab leicht ange dreht. Stellen Sie nach Anschluss der Spannungsversorgung für den Heizer

und Einschalten der Temperaturanzeige das Interferenzbild ein und warten Sie, bis sich dieses nicht mehr verändert, d.h. sich thermisches Gleichgewicht eingestellt hat. Stellen Sie nun den Heizstrom auf etwa 200 mA ein (U ca. 4 V=) und notieren Sie die Temperatur des Stabes bei Verschiebung des Interferenzbildes um jeweils einen Streifen, bei Stäben mit sehr geringer Wärmedehnung die Verschiebung der Streifen für Temperaturintervalle von 0,5 K. Stellen Sie nach einer Temperaturerhöhung um ca. 5 K die Heizung aus und bestimmen Sie nun die (rückläufige) Verschiebung entsprechend, bis sich der Stab auf etwa 1 K oberhalb der Anfangstemperatur (Raumtemperatur) abgekühlt hat.

Die Messergebnisse $z(T)$ sind für die drei Stäbe auf Millimeterpapier aufzutragen, über Ausgleichsgeraden mit Gl. (8) die thermischen Ausdehnungskoeffizienten α zu bestimmen und mit Literaturwerten zu vergleichen. Schätzen Sie aus den Messdaten die Maximalfehler für α ab und diskutieren Sie vor allem mögliche *systematische* Messfehler bei dem hier verwendeten Versuchsaufbau.

Anmerkung: Die Längenänderung der Spiegelunterlage kann vernachlässigt werden, da sie aus Invar besteht.

4.3 Mach-Zehnder-Interferometer

Bauen Sie das Interferometer gem. Abb. 6 auf. Beginnen Sie mit der Positionierung der Spiegel S_1 und S_2 und des Schirmes. Setzen Sie dann den Strahlteiler T_1 parallel zu S_1 mit der reflektierenden Oberfläche zu S_2 so ein, dass das reflektierte Bündel den Spiegel S_2 zentrisch trifft und von dort ebenfalls um 90° abgelenkt wird. Darauf wird T_2 mit der reflektierenden Seite zu S_1 eingesetzt und S_2 so justiert, dass die Lichtbündel T_2 an der gleichen Stelle durchsetzen und die Reflexe auf dem Schirm (unabhängig vom Abstand zu T_2) übereinanderliegen. Bauen Sie anschließend die Strahlaufweitungssysteme auf und justieren Sie das Interferometer so, dass ein kontrastreiches, konzentrisches Ringsystem auf dem Schirm sichtbar wird.

Positionieren Sie darauf die mit Luft unter Außendruck gefüllte Kammer zwischen T_1 und S_2 . Gegebenenfalls ist die Kammer an der Pumpe (kurzer Hebel) zu belüften.

Es ist nun der Luftdruck in der Kammer durch *langsames* Pumpen (langer Hebel) auf p_D von ca. -800 mbar zu verringern und dabei nach einer Druckänderung von jeweils etwa 50 mbar die entsprechende Zahl $z(p_D)$ der Ringverschiebung zu bestimmen.

Danach ist durch behutsames Drücken des kurzen Hebels der Pumpe umgekehrt der Druck in der Kammer *langsam* zu erhöhen und nach etwa den gleichen

Druckänderungen die jeweilige Zahl z zu bestimmen. Führen Sie diesen Versuch mindestens zweimal mit Luft durch.

Anschließend werden Kammer, Schlauch und Ballon, soweit möglich, leergepumpt und durch vorsichtiges Öffnen des Gasbehälterventils *langsam* mit CO_2 gefüllt. Nach Schließen des Gasbehälters, Auspumpen und erneutem Füllen der Kammer mit CO_2 wird der Interferenzversuch wie zuvor mit Luft durchgeführt.

Bestimmen Sie aus den jeweiligen Auftragungen $z(p_D)$ über Ausgleichsgeraden und Gl. (11) den Brechungsindex n_0 von Luft und CO_2 und vergleichen Sie die Ergebnisse mit den Literaturangaben. Diskutieren Sie wie in 4.1 u. 4.2 die Messergebnisse und evtl. Messfehler!

5. Fragen zur Selbstkontrolle

- 1) Durch welchen Elementarprozess entsteht (sichtbares) Licht allgemein, welcher bewirkt die Erzeugung von *Laserlicht*?
- 2) Durch welche Eigenschaften unterscheidet sich das Licht eines Lasers von dem anderer Lichtquellen; welche dieser Eigenschaften sind für die Interferometrie günstig?
- 3) Unter welcher Voraussetzung ist durch induzierte Emission die kohärente Verstärkung einer Lichtwelle möglich?
- 4) Erläutern Sie den prinzipiellen Aufbau und das Funktionsprinzip eines He-Ne-Gas-Lasers!
- 5) Unter welchen Bedingungen können Lichtwellen konstruktiv bzw. destruktiv interferieren? Was bedeuten die Begriffe *Kohärenz* und *Kohärenzlänge*?
- 6) Erläutern Sie den Strahlengang eines *Michelson-Interferometers* sowie eines *Mach-Zehnder-Interferometers*! Mit welcher Auflösung können mit diesen Instrumenten Unterschiede optischer Weglängen bestimmt werden?
- 7) Wie hängt der Brechungsindex eines Gases von seiner Dichte bzw. vom Druck und von der Temperatur ab?
- 8) Warum dehnen sich Festkörper bei Temperaturerhöhung aus?