

Bestimmung der Wellenlänge eines He-Ne-Lasers mit einem Michelson-Interferometer - Aufbau auf der Optischen Bank

Versuchsziele

- Aufbau eines Michelson-Interferometers
- Beobachtung der Veränderung des Interferenzmusters beim Verschieben eines Interferometer-Spiegels
- Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts aus dem Verschiebungsweg des Spiegels

Grundlagen

Interferometrie ist eine sehr genaue und empfindliche Messmethode zur Bestimmung z. B. von Längenänderungen, Schichtdicken, Brechungsindizes und Wellenlängen. Das Michelson-Interferometer gehört zur Familie der Zweistrahlinterferometer.

Die interferometrischen Messungen basieren bei diesem Interferometertyp auf folgendem Prinzip:

Der aus einer geeigneten Quelle kommende kohärente Lichtstrahl wird durch einen Strahlenteiler (halbdurchlässiger Spiegel) in zwei Teile aufgespalten. Die Teilstrahlen durchlaufen unterschiedliche Wege, werden in sich reflektiert, schließlich wieder zusammengeführt und überlagern sich wieder. Durch die Überlagerung der Lichtwellen entsteht ein Interferenzbild. Ändert sich nun bei einem dieser Teilstrahlen die optische Weglänge, d. h. das Produkt aus Brechzahl und geometrischem Weg, so erfährt er eine Phasenverschiebung gegenüber dem ungestörten Strahl.

Daraus ergibt sich eine Änderung des Interferenzbildes, aus der man die Änderung der Brechzahl oder des geometrischen Weges ermitteln kann, wenn die jeweils andere Größe konstant geblieben ist.

Bei konstant gehaltener Brechzahl können also Differenzen des geometrischen Weges bestimmt werden, z. B. Längenänderungen von Materialien durch Wärme oder durch den Einfluss elektrischer oder magnetischer Felder. Wird dagegen der geometrische Weg konstant gehalten, so können Brechungsindizes oder auch Größen und Einflüsse, die den Brechungsindex verändern, ermittelt werden. Dazu gehören z.B. Druck-, Temperatur- oder Dichteänderungen.

Zur Messung der Wellenlänge des Laserlichts wird einer der Planspiegel mit einem Feinstelltrieb um eine genau bestimmbare Strecke Δs verschoben, wodurch sich die optische Weglänge des betroffenen Teilstrahls ändert. Während dieser Verschiebung wandern die Interferenzstreifen auf dem Beobachtungsschirm. Zur Auswertung werden entweder die Intensitätsmaxima oder die Intensitätsminima gezählt, die an einem festgelegten Punkt auf dem Beobachtungsschirm vorbeilaufen, während der Planspiegel verschoben wird.

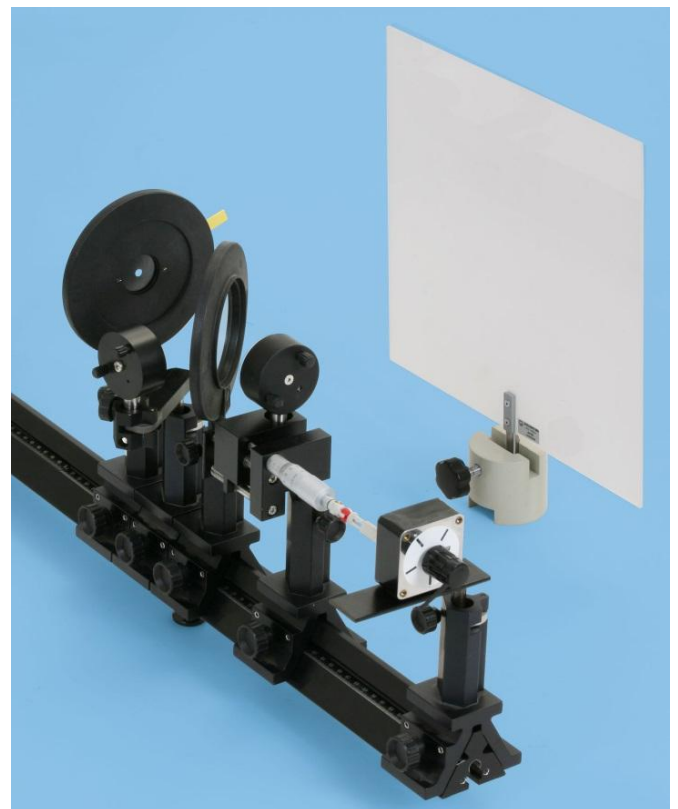
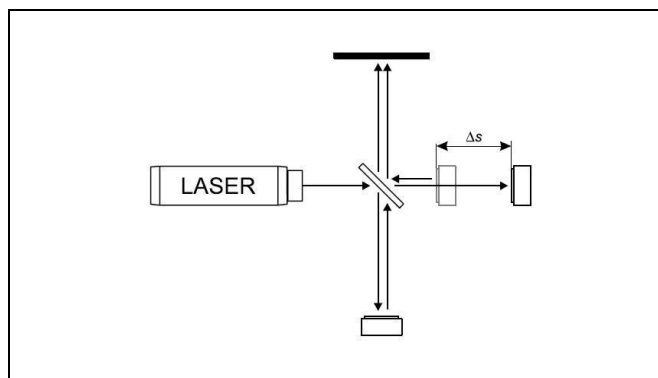


Abb.1: Aufbau des Michelson-Interferometers auf der Optischen Bank



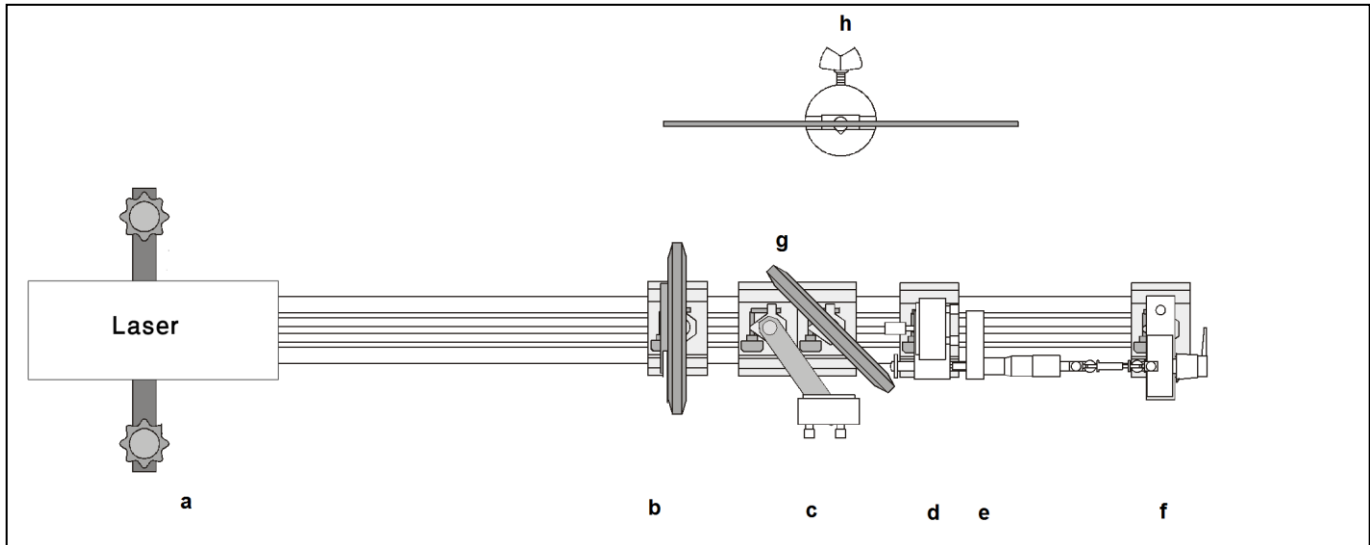


Abb. 2: Versuchsaufbau

Geräte

1 He-Ne-Laser, linear polarisiert	471 830
1 Linse in Fassung, $f=5\text{ mm}$	460 01
1 Strahlenteiler	471 88
2 Planspiegel, feinjustierbar	473 461
1 Verlängerungsarm	460 380
1 Feinstelltrieb	473 48
1 Schirm, durchscheinend	441 53
1 Sockel	300 11
1 Optische Bank mit Normalprofil, 1 m	460 32
1 Optikreiter 60/50	460 373
5 Optikreiter 90/50	460 374

Sicherheitshinweis

Der He-Ne-Laser genügt der DIN EN 60825 : Sicherheit von Lasereinrichtungen.

Bei Beachtung der entsprechenden Hinweise in der Gebrauchsanweisung ist das Experimentieren mit dem He-Ne-Laser ungefährlich.

- Nicht in den direkten oder reflektierten Laserstrahl blicken.
- Überschreiten der Blendungsgrenze vermeiden (d. h. kein Beobachter darf sich geblendet fühlen).

Hinweise

Optische Komponenten mit beschädigten oder verschmutzten Oberflächen können Störungen im Interferenzmuster hervorrufen.

Planspiegel, Strahlteiler und Kugellinse sehr sorgfältig behandeln, staubfrei aufbewahren und nicht mit bloßen Händen anfassen.

Aufbau

Die Anordnung des Michelson-Interferometers auf der Optischen Bank ist in Abb. 1 und 2 dargestellt. Zum Aufbau sind folgende Schritte notwendig. Die cm-Angaben beziehen sich auf die linke Kante der Optikreiter.

Montage auf der optischen Bank:

- Den He-Ne-Laser (a) im Optikreiter 60/50 am linken Ende der optischen Bank anbringen.
- Das Unteretzungsgetriebe des Feinstelltriebs (f) mit dem Magnetbank auf dem Getriebetisch befestigen und am anderen Ende der optischen Bank (ca. 77 cm) anbringen.
- Den Planspiegel (d) oben in den Feinstelltrieb (e) einspannen und vor dem Unteretzungsgetriebe (f) auf der Bank (61 cm) montieren.
- Mikrometerschraube des Feinstelltriebes (e) auf 10 mm stellen, so dass der Spiegel in beide Richtungen bewegt werden kann.
- Mit der Kardanwelle vorsichtig das Unteretzungsgetriebe und den Feinstelltrieb verbinden.
- Dabei ggf. den Optikreiter des Feinstelltriebs (e) so verschieben und die Getriebetischhöhe des Unteretzungsgetriebes (f) so einstellen, dass die Kardanwelle möglichst gerade und weder völlig gestreckt noch gestaucht wird. Andernfalls kann später die Messung durch Verschieben des Feinstelltriebs verfälscht werden.

Hinweis: Bei den nachfolgenden Schritten den Laser zum Justieren der optischen Komponenten jeweils nur kurz einschalten und vor dem Einsetzen der nächsten Komponente wieder ausschalten, so dass keine unbeabsichtigten Reflexionen auftreten.

- Höhe des Lasers so einstellen, dass der Planspiegel (d) mittig getroffen wird.
- Den Planspiegel (d) durch Verstellen der Justierschrauben auf der Rückseite so ausrichten, dass der reflektierte Laserstrahl in sich zurückreflektiert wird.
- Die Justierschrauben des Planspiegels (d) dürfen ab jetzt nicht mehr verstellt werden!

- Den Strahlenteiler (g) auf der optischen Bank (50 cm) vor dem Planspiegel (d) montieren:
Den Strahlenteiler (g) so unter 45° ausrichten, dass die beiden reflektierten Laserstrahlen senkrecht zur optischen Bank verlaufen.
Durchscheinenden Schirm (h) im Sockel befestigen und senkrecht zum Strahlenteiler so aufstellen, dass er mittig vom Laserstrahl getroffen wird.
- Den Planspiegel (c) auf der optischen Bank (45 cm) mit Hilfe des Verlängerungsarmes vor dem Strahlenteiler (g) montieren:
Den Planspiegel (c) so ausrichten, dass er mittig vom Laserstrahl getroffen wird und den Laserstrahl durch den Strahlenteiler auf den durchscheinenden Schirm reflektiert.
Den Planspiegel (c) durch Verstellen der Justierschrauben auf der Rückseite so ausrichten, dass dieser Laserstrahl genau auf die gleiche Stelle wie der erste Laserstrahl trifft.
- Die Linse (b) auf der optischen Bank (40 cm) vor dem Optikreiter des Planspiegels (c) montieren:
Höhe der Linse so einstellen, so dass sie möglichst mittig vom direkten Laserstrahl getroffen wird. Auf dem durchscheinenden Schirm sollte jetzt ein großer Lichtfleck erscheinen. Ggf. Laser im Optikreiter etwas drehen.

Nach kurzer Zeit (1 bis 2 Sekunden) ohne Erschütterung des Aufbaus sollte sich in dem Lichtfleck ein konzentrisches Ringsystem ergeben. Ggf. durch Verstellen der Justierschrauben des Planspiegels (c) diese gut sichtbar in die Mitte des Lichtfleckes verschieben.

Hinweis: Das Interferenzmuster ist wesentlich heller und somit einfacher zu beobachten, wenn der Laser auf 1 mW Ausgangsleistung umgeschaltet wird. Weil der Strahlengang dadurch geringfügig verändert werden kann, muss die Position der Kugellinse oder der Strahlenverlauf ggf. etwas nachjustiert werden.

Feinjustierung:

Falls noch kein Streifenmuster auf dem durchscheinenden Schirm zu erkennen ist:

- Strahlengang durch Ausrichtung des Strahlenteilers (g) und der Spiegels (c) geringfügig verändern, dabei ggf. die Linse nachjustieren.

Breite und Abstand der Interferenzstreifen sind umso größer, je besser die Parallelität der beiden Teilstrahlen zwischen Strahlenteiler und Schirm gewährleistet ist:

- durch kleine Veränderungen der Ausrichtung der Spiegel das Interferenzmuster auf ein bequem beobachtbares Format einstellen.

Durchführung

- Mechanische Erschütterungen der Optischen Bank vermeiden (z. B. nicht am Tisch wackeln).
- Entstehung von Luftschlieren im Aufbau, z. B. durch Hineinatmen oder Durchzug, vermeiden.
- Eine Stelle auf dem durchscheinenden Schirm (h) markieren, an der die vorbeiziehenden Interferenzstreifen gezählt werden können.
- Getriebeknopf durch leichtes Anlegen des Fingers an den Hebel des Untersetzungsgetriebes (f) langsam und gleichmäßig verstellen (ggf. mehrere Umdrehungen), bis sich die Interferenzstreifen in Bewegung setzen. Anschließend mit Getriebeknopf mindestens eine weitere Umdrehung vollziehen. Damit ist das Gewindespiel der Zahnräder aufgehoben.
- Getriebeknopf in gleicher Richtung weiterdrehen und gleichzeitig die an der Markierung vorbeiziehenden Interferenzstreifen und die Umdrehungen des Untersetzungsgetriebes zählen.

Hinweis: Bei „ruckelnder“ Bewegung des Planspiegels und somit des Interferenzmusters muss die Gleitbuchse des Feinstelltriebes geschmiert werden.

Messbeispiel

Tab. 1: Anzahl Z der ausgezählten Intensitätsmaxima in Abhängigkeit von der Zahl der Umdrehungen N des Untersetzungsgetriebes

N	Z
1	16 ± 1
2	32 ± 1

Auswertung und Ergebnis

Die Zahl N der Umdrehungen des Untersetzungsgetriebes, die Gesamtverschiebung Δs des Planspiegels, die Wellenlänge λ des Laserlichts und die Anzahl Z der ausgezählten Intensitätsmaxima stehen in folgendem Zusammenhang:

$$Z \cdot \lambda = 2 \Delta s$$

mit Δs = N · 5 μm

Der Faktor 2 tritt in dieser Gleichung auf, da der geometrische Weg sowohl für den ankommenden als auch für den reflektierten Strahl um Δs verändert wird.

Für λ gilt also die Bestimmungsgleichung

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta s}{Z}$$

Tab. 2: Verschiebung Δs des Planspiegels und berechnete Wellenlänge λ

$\frac{\Delta s}{\mu m}$	$\frac{\lambda}{nm}$
5	625 (+ 42 / - 37)
10	625 (+ 20 / - 19)

Literaturwert für die rote He-Ne-Linie: λ = 632,8 nm.

Die Messgenauigkeit für λ nimmt mit der Gesamtverschiebung Δs zu.