

## Bestimmung der Wellenlänge eines He-Ne-Lasers mit einem Michelson-Interferometer

### 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

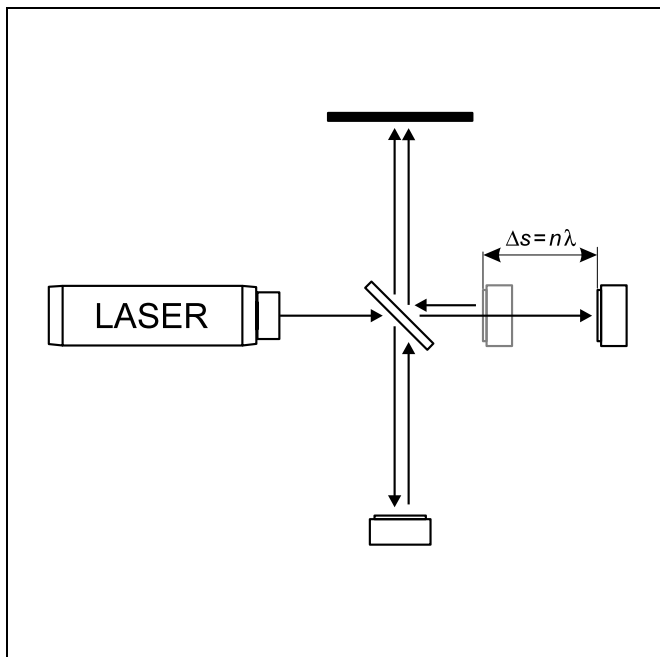
Interferometrie ist eine sehr genaue und empfindliche Meßmethode zur Bestimmung z. B. von Längenänderungen, Schichtdicken, Brechungsindizes und Wellenlängen. Das Michelson-Interferometer gehört zur Familie der Zweistrahlinterferometer. Die interferometrischen Messungen basieren bei diesem Interferometertyp auf folgendem Prinzip:

Der aus einer geeigneten Quelle kommende kohärente Lichtstrahl wird durch ein optisches Bauelement in zwei Teile aufgespalten. Die Teilstrahlen durchlaufen unterschiedliche Wege, werden in sich reflektiert, schließlich wieder zusammengeführt und überlagern sich. 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 den Einfluß von elektrischen und magnetischen Feldern. 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 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.



**Geräte**

1 Laseroptik-Grundplatte . . . . .	473 40
1 He-Ne-Laser, linear polarisiert . . . . .	471 840
1 Laserträger . . . . .	473 41
5 Optik-Füße . . . . .	473 42
1 Strahlteiler . . . . . z. B.	473 432
1 Halter für Strahlteiler . . . . .	473 43
2 Planspiegel, feinjustierbar . . . . .	473 46
1 Kugellinse, f = 2,7 mm . . . . .	473 47
1 Feinstelltrieb . . . . .	473 48
1 Durchscheinender Schirm . . . . .	441 53
1 Sockel . . . . .	300 11
1 Holzmaßstab . . . . .	311 03

**Aufbau**

*Hinweis: 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.*

Die Anordnung des Michelson-Interferometers auf der Laseroptik-Grundplatte ist in Fig. 1 dargestellt. Zum Aufbau sind folgende Schritte notwendig:

**Laseroptik-Grundplatte und Laser:**

- Luftpolster aufpumpen.
- Laseroptik-Grundplatte **(a)** mit Luftpolster waagrecht auf stabilem Experimentiertisch aufstellen.
- Laser auf Laserträger montieren und am linken Rand der Grundplatte plazieren.
- Laser anschließen und einschalten.
- Kontermuttern der drei Justierschrauben des Laserträgers lösen.
- Höhe und Neigung des Lasers mit Hilfe der Justierschrauben so ausrichten, daß sein Strahl waagrecht etwa 75 mm über der Grundplatte verläuft (für Feinjustierung bleibt dann genügend Spielraum); mit Holzmaßstab nachmessen.
- Kontermuttern wieder festziehen.

**Strahlteiler:**

*Reflektierter und transmittierter Teilstrahl sollten ähnliche Intensitäten haben:*

*Bei Verwendung des variablen Strahlteilers (473 435) darauf achten, daß der Laserstrahl den Strahlteiler etwa in der Mitte trifft.*

- zunächst kontrollieren, ob der Strahlteiler **(b)** das Laserlicht waagrecht reflektiert; dazu den Strahlteiler mit Optik-Fuß am anderen Ende der Laseroptik-Grundplatte in den Strahlengang stellen und den Lichtstrahl neben die Austrittsöffnung des Lasers reflektieren.
- ggf. den Neigungswinkel des Strahlteilers und somit den Strahlverlauf mit Hilfe der zwei Schrauben am Stiel korrigieren.
- anschließend Strahlteiler gemäß Fig. 1 unter einem Winkel von 45° in den Strahlengang bringen; dabei die teildurchlässige Schicht des Strahlteilers am besten dem Laser zuwenden.

**Planspiegel und Feinstelltrieb:**

*Hinweise:*

*Bei leicht verdunkeltem Raum ist die Justierung einfacher.*

*Neben den Hauptstrahlen treten durch Vielfachreflexionen noch weitere, sog. parasitäre Teilstrahlen mit geringerer Intensität auf. Diese Teilstrahlen werden später durch den Linsenhalter ausgeblendet und spielen daher für die weitere Justierung keine Rolle.*

*Die Qualität des Laserstrahls wird beeinträchtigt, wenn die an den Planspiegeln reflektierten Teilstrahlen genau in die Austrittsöffnung des Lasers zurückfallen.*

- Planspiegel **(c)** seitlich in den Feinstelltrieb **(f)** einspannen und anschließend den Feinstelltrieb am Optik-Fuß befestigen.

**Sicherheitshinweis**

Der He-Ne-Laser genügt den „Sicherheitstechnischen Anforderungen für Lehr-, Lern- und Ausbildungsmittel – Laser; DIN 58126 Teil 6“ für Laser der Klasse 2. 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)

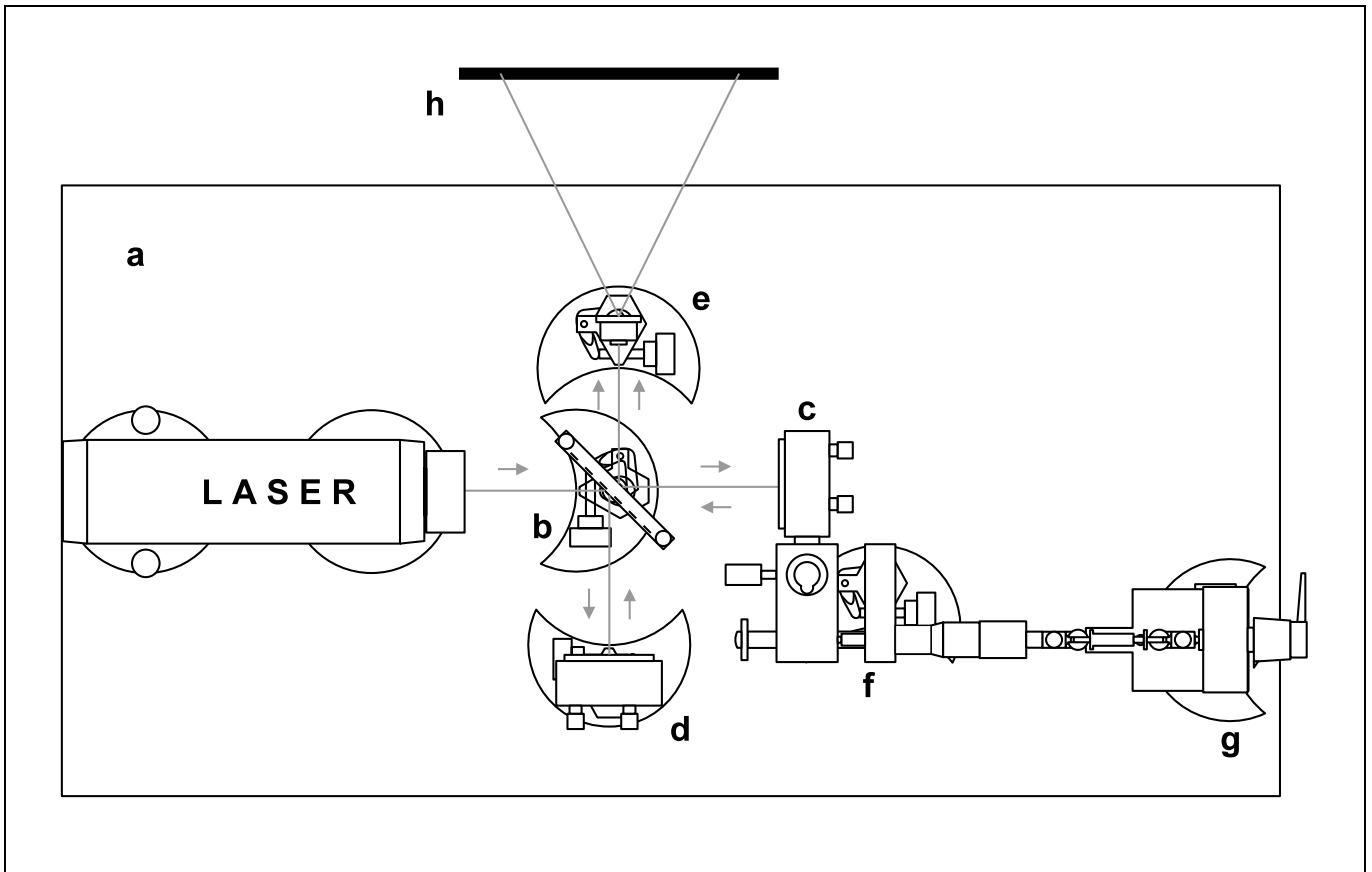


Fig. 1: Aufbau des Michelson-Interferometers auf der Laseroptik-Grundplatte mit Feinstelltrieb für einen Planspiegel, von oben betrachtet  
 a Laseroptik-Grundplatte  
 b Strahlteiler  
 c, d Planspiegel, feinjustierbar  
 e Kugellinse  
 f Feinstelltrieb  
 g Untersetzungsgetriebe des Feinstelltriebs  
 h Durchscheinender Schirm

- Optik-Fuß unter dem Feinstelltrieb gemäß Fig. 1 ausrichten, um stabilen Stand zu sichern.
- die Kombination Planspiegel (c), Feinstelltrieb (f) so auf der Laseroptik-Grundplatte (a) plazieren, daß der Planspiegel zentrisch vom Laserstrahl getroffen wird; dabei beachten, daß die Spiegelebene möglichst senkrecht zur Verschieberichtung steht, damit auch beim Verschieben des Spiegels der Strahl immer an der gleichen Stelle reflektiert wird.
- Spiegel durch Drehen des Optik-Fußes auf der Grundplatte und Verstellen der Justierschrauben auf der Rückseite so ausrichten, daß der Strahl nahezu in sich reflektiert wird und nach der Transmission durch den Strahlteiler dicht über die Austrittsöffnung des Lasers zurückfällt.
- Getriebetisch mit Optik-Fuß hinter dem Feinstelltrieb aufstellen.
- Untersetzungsgetriebe des Feinstelltriebs (g) mit dem Magnetband auf dem Getriebetisch befestigen.
- Doppelkreuzgelenk-Kupplung vorsichtig an den Gelenkkopf der Mikrometerschraube des Feinstelltriebs (f) klemmen.
- Optik-Fuß des Untersetzungsgetriebes (g) so verschieben und Getriebetischhöhe so einstellen, daß das Kupplungsgestänge weder völlig gestreckt noch gestaucht wird, weil sonst später die Messung durch Verschieben des Feinstelltriebs verfälscht werden kann.
- Winkel zwischen den einzelnen Gliedern der Gelenkkupplung so klein wie möglich halten (auf keinen Fall größer als 45°).
- Ausrichtung des Planspiegels (c) überprüfen und ggf. nachjustieren.
- durchscheinenden Schirm (h) im Sockel befestigen und gemäß Fig. 1 hinter der Laseroptik-Grundplatte so aufstellen, daß er mittig vom Laserstrahl getroffen werden kann.
- Planspiegel (d) gemäß Fig. 1 in den vom Strahlteiler (b) reflektierten Teilstrahl stellen; dabei eine ähnliche Entfernung zum Strahlteiler wählen wie beim Planspiegel (c).
- Planspiegel durch Drehen des Optik-Fußes auf der Grundplatte und Verstellen der Justierschrauben so ausrichten, daß dieser Teilstrahl ebenfalls nahezu in sich reflektiert wird und nach Transmission durch den Strahlteiler mit dem ersten Teilstrahl zusammentrifft.
- die jeweils intensivsten Strahlen der beiden Reflexgruppen auf dem Schirm durch Justieren der Planspiegel (c) und (d) mit Hilfe der Spiegelstellschrauben vollständig zur Deckung bringen.

**Kugellinse:**

- Zur Aufweitung des Laserstrahls Kugellinse (e) (mit kleinerer Strahleintrittsöffnung des Linsenhalters zum Strahlteiler zeigend) zwischen Strahlteiler und Schirm aufstellen.
- Kugellinse seitlich und in der Höhe so ausrichten, daß sie von beiden Teilstrahlen axial durchlaufen wird.

**Feinjustierung:**

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

- Strahlengang durch Ausrichtung des Strahlteilers oder der Spiegel geringfügig verändern, dabei ggf. die Linse nachjustieren.

Breite und Abstand der Interferenzstreifen sind um so größer, je besser die Parallelität der beiden Teilstrahlen zwischen Strahlteiler und Schirm gewährleistet ist:

- durch kleine Veränderungen der Ausrichtung der Spiegel und des Strahlteilers das Interferenzmuster auf ein bequemes beobachtbares Format einstellen.

Falls die Feinjustierung nicht zum Ziel führt:

- die Interferometeranordnung nochmals von Anfang an justieren.

*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.*

**Durchführung**

Während des Versuchs:

- mechanische Erschütterungen der Laseroptik-Grundplatte 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 (**g**) langsam und gleichmäßig verstellen (ggf. mehrere Umdrehungen), bis sich die Interferenzstreifen in Bewegung setzen.
- anschließend mit Getriebeknopf mindestens eine weitere Umdrehung vollziehen.
- Getriebeknopf 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	$16 \pm 1$
2	$32 \pm 1$

**Auswertung und Ergebnis**

Die Zahl  $N$  der Umdrehungen des Untersetzungsgetriebes, die Gesamtverschiebung  $\Delta s$  des Planspiegels, die Wellenlänge  $\lambda$  des Laserlichts und die Anzahl  $Z$  der ausgezählten Intensitätsmaxima stehen in folgendem Zusammenhang:

$$Z \cdot \lambda = 2 \Delta s \quad \text{mit} \quad \Delta s = 5 \mu\text{m} \cdot N \quad (\text{I})$$

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

Für  $\lambda$  gilt also die Bestimmungsgleichung

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta s}{Z} \quad (\text{II})$$

Tab. 2: Verschiebung  $\Delta s$  des Planspiegels und Ergebnis für die Wellenlänge  $\lambda$

$\frac{\Delta s}{\mu\text{m}}$	$\frac{\lambda}{\text{nm}}$
5	$625 \pm 39$
10	$625 \pm 20$

Tab. 2 enthält das Ergebnis für die Wellenlänge  $\lambda$ . Es stimmt innerhalb der Fehlergrenzen mit dem Literaturwert  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  für das rote He-Ne-Laserlicht überein. Die Meßgenauigkeit für  $\lambda$  ist um so besser, je größer die Gesamtverschiebung  $\Delta s$  ist.