

Michelson-Interferometer

DEMONSTRATION UND UNTERSUCHUNG DER FUNKTIONSWEISE EINES MICHELSON-INTERFEROMETERS.

- Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts.
- Bestimmung der Brechzahl von Luft in Abhängigkeit vom Luftdruck.

UE4030410

02/17 JS/ALF

ALLGEMEINE GRUNDLAGEN

Das Michelson-Interferometer wurde von A. A. Michelson ursprünglich zum Nachweis der Erdbewegung relativ zum Lichtäther entworfen. Sein Aufbauprinzip (siehe Fig. 1) hat jedoch grundlegende Bedeutung, da es zur interferometrischen Messung z.B. von Längenänderungen, Schichtdicken oder Brechzahlen eingesetzt werden kann: Ein divergentes Lichtbündel wird durch einen halbdurchlässigen Spiegel in zwei Teilbündel aufgespaltet, die unterschiedliche Wege durchlaufen. Beide Teilbündel werden in sich reflektiert und schließlich zur Überlagerung auf einem Beobachtungsschirm zusammengeführt. Dort entsteht ein Interferenzbild, das empfindlich auf Änderungen der optischen Weglänge, also des Produktes aus Brechzahl und geometrischer Weglänge, eines Teilbündels reagiert. Bei konstant gehaltener Brechzahl können also Änderungen des geometrischen Weges bestimmt werden, z.B. Längenänderungen von Materialien durch deren thermische Ausdehnung. Wird dagegen der geometrische Weg konstant gehalten, lassen sich Brechzahlen bzw. deren Änderungen durch Druck-, Temperatur- oder Dichteänderungen ermitteln.

Je nachdem, ob sich die optische Weglänge vergrößert oder verkleinert, entstehen oder verschwinden Interferenzstreifen im Zentrum des Interferenzbildes. Zwischen der Änderung Δs der optischen Weglänge und der Lichtwellenlänge λ besteht der Zusammenhang

$$(1) \quad 2 \cdot \Delta s = z \cdot \lambda,$$

dabei gibt die positive oder negative ganze Zahl z die Zahl der Interferenzstreifen, die auf dem Beobachtungsschirm entstehen bzw. verschwinden.

Wird zur Messung der Lichtwellenlänge einer der beiden Spiegel in Luft mit einem Feinstelltrieb um eine genau bestimmte Strecke Δx verschoben, kann als Brechzahl in guter Näherung $n = 1$ eingesetzt werden. Daher ist die Änderung der optischen Wegstrecke:

$$(2) \quad \Delta s = \Delta x$$

Anders ist die Situation, wenn eine evakuierte Kammer der Länge d in einen Teilstrahl gebracht wird. Lässt man nun Luft einströmen und dadurch den Luftdruck in der Kammer auf den Wert p ansteigen, so ändert sich dadurch die optische Weglänge um

$$(3) \quad \Delta s = (n(p) - 1) \cdot d = A \cdot p \cdot d,$$

da sich die Druckabhängigkeit der Brechzahl von Luft bei konstanter Temperatur in der Form

$$(4) \quad n(p) = 1 + A \cdot p$$

darstellen lässt.

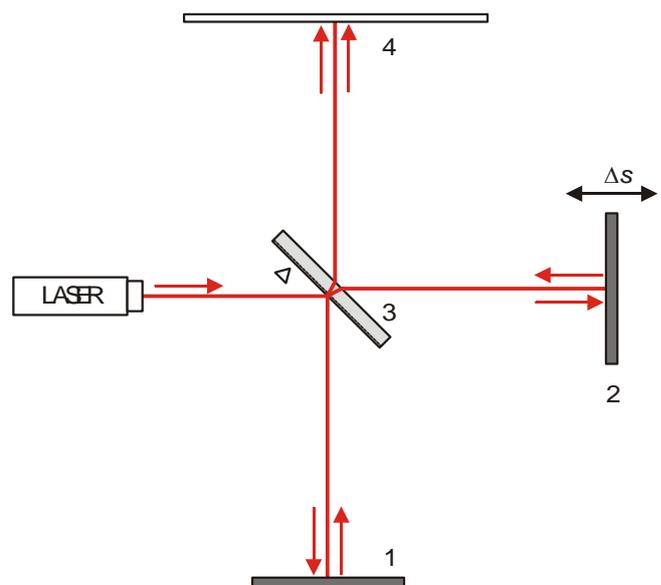


Fig.1: Strahlengang in einem Michelson-Interferometer
1: fester Spiegel, 2: beweglicher Spiegel, 3: Strahlteiler, 4: Schirm

GERÄTELISTE

1	Interferometer	1002651 (U10350)
1	Ergänzungssatz zum Interferometer	1002652 (U10351)
1	HeNe-Laser	1003165 (U21840)
1	Vakuumpumpe	1012856 (U205001)
1	Silikonschlauch	1002622 (U10146)

AUFBAU



Fig. 2: Michelson-Interferometer

Hinweis: Die erforderliche Höhe des Lichtstrahls über der Arbeitsplatte beträgt 60 – 62 mm.

- Interferometer möglichst waagrecht auf einen stabilen Tisch stellen.
- Laser mittels Sechskantverlängerung auf den Laserträger montieren und möglichst gerade vor die Aufweitungslinse stellen.
- Festen Spiegel und Strahlteiler entfernen.
- Rändelschraube der Aufweitungslinse lösen und Aufweitungslinse aus dem Strahlengang schwenken.
- Laser so einstellen, dass sein Strahl den verschiebbaren Spiegel zentrisch trifft und der reflektierte Strahl zentrisch zurück auf den Laser fällt.
- Aufweitungslinse probeweise in den Strahlengang schwenken und Strahlengang so korrigieren, dass auch diese zentrisch getroffen wird.
- Anschließend Aufweitungslinse wieder aus dem Strahlengang schwenken.
- Festen Spiegel montieren und mit den Einstellschrauben so justieren, dass der Abstand zwischen der Spiegelträgerplatte und dem eigentlichen Träger rundum gleich ist und etwa 5-6 mm beträgt.
- Strahlteiler mit der teilreflektierenden, mit Dreieck gekennzeichneten Seite in Richtung Winkelteilung weisend so montieren, dass die beiden hellsten auf dem Beobachtungsschirm sichtbaren Punkte möglichst auf einer vertikalen Linie liegen.
- Festen Spiegel so justieren, dass sich die beiden hellsten Punkte auf dem Schirm exakt decken.
- Aufweitungslinse wieder in den Strahl schwenken und in der Position festschrauben, in der die hellste Stelle des

Bildes möglichst in der Mitte des Schirms liegt.

- Schirm gegen die Vertikale neigen, so dass der Beobachter ein helles und klares Bild sieht.
- Festen Spiegel nachjustieren, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu erhalten.

DURCHFÜHRUNG

Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts:

Hinweis: Während der Messungen sollte möglichst keine Atemluft in den Strahlenverlauf gelangen, da sich Luftdichteänderungen direkt durch „laufende“ Interferenzringe bemerkbar machen.

- Zunächst die Mikrometerschraube gegen den Uhrzeigersinn bis ca. 25 mm herausdrehen und dann langsam im Uhrzeigersinn bis auf $x(0) = 20,00$ mm zurückdrehen.
- Anschließend die Mikrometerschraube langsam weiter im Uhrzeigersinn drehen, bis 30 vollständige Interferenzringe entstanden sind.
- Position $x(30)$ auf der Mikrometerschraube ablesen und das Ergebnis notieren.

Bestimmung der Brechzahl von Luft in Abhängigkeit vom Luftdruck:

- Strahlenteiler drehen, so dass die teilreflektierende Schicht nach rechts hinten zeigt.
- Vakuumpumpe in den rechten Teilstrahl stellen (siehe Fig. 3).
- Vakuumpumpe an die Vakuumpumpe anschließen.
- Justierbaren Spiegel minimal nachstellen, um die Interferenzringe mittig auf dem Schirm zu halten.
- Vakuumpumpe langsam evakuieren und die Anzahl z der verschwindenden Ringe zählen.
- In regelmäßigen Abständen den Unterdruck p und die zugehörige Anzahl z notieren.

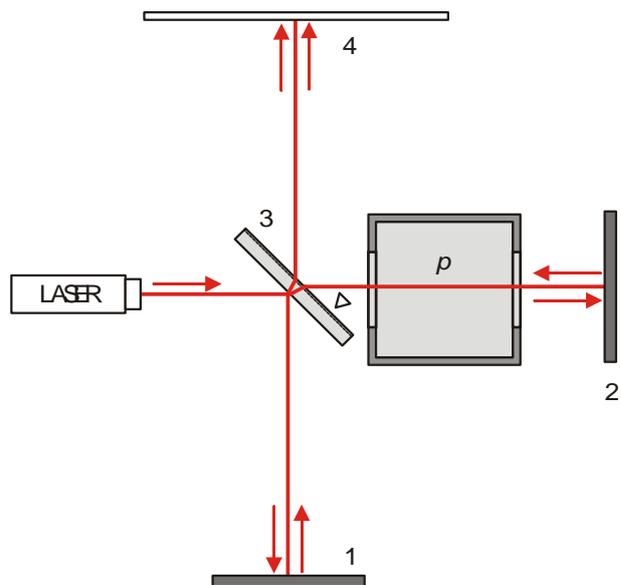


Fig.3: Vakuumpumpe im Strahlengang des Michelson-Interferometers

MESSBEISPIEL

Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts:

$z = 30$, $x(0) = 15,98$ mm, $x(30) = 7,77$ mm,
 Übersetzungsverhältnis 1 : 830

Bestimmung der Brechzahl von Luft in Abhängigkeit vom Luftdruck:

Tab. 1: Zahl z der durch Leerpumpen einer Vakuumzelle erzeugten Interferenzringe in Abhängigkeit von der Druckdifferenz Δp

Δp / hPa	p / hPa	z
220	780	10
420	580	16,5
550	450	21,5
650	350	25
720	280	28
780	220	30
800	200	31
820	180	32
840	160	33

AUSWERTUNG

Bestimmung der Wellenlänge des Laserlichts:

Aus (1) und (2) erhält man als Bestimmungsgleichung zur Berechnung der Lichtwellenlänge aus der Verschiebestrecke des Spiegels:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{z}$$

Die zur Erzeugung von 30 Interferenzringen erforderliche Verschiebestrecke des Spiegels ist

$$\Delta x = \frac{x(0) - x(30)}{830} = 9,9 \mu\text{m}$$

Also ist: $\lambda = \frac{2 \cdot \Delta x}{z} = 660\text{nm}$

Tabellenwert: $\lambda_{\text{HeNe}} = 632,8$ nm

Bestimmung der Brechzahl von Luft in Abhängigkeit vom Luftdruck:

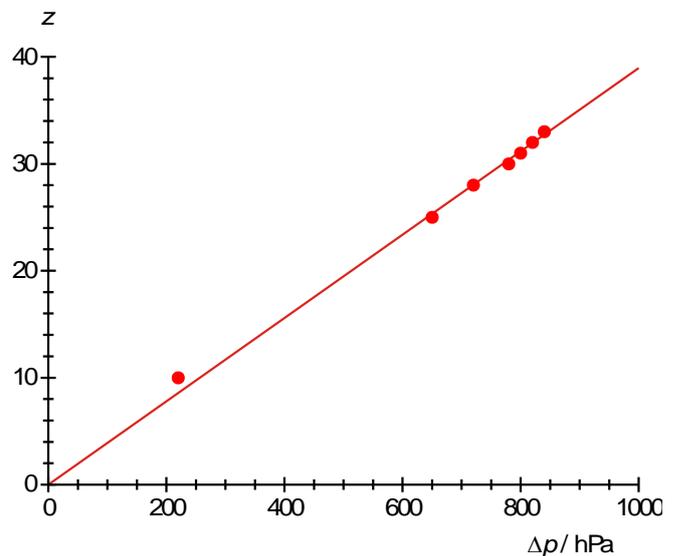


Fig. 4: Zahl der Interferenzstreifen als Funktion der Druckdifferenz

Fig. 4 zeigt die Abhängigkeit der Anzahl z der durch Abpumpen erzeugten Interferenzstreifen von der Druckdifferenz Δp in einem Diagramm. Die Messpunkte liegen im Rahmen der Messgenauigkeit auf einer Ursprungsgeraden mit der Steigung

$$a = \frac{2 \cdot A \cdot d}{\lambda} = 0,039 \frac{1}{\text{hPa}}$$

Also ist

$$A = \frac{a \cdot \lambda}{2 \cdot d} = 0,30 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{hPa}}$$

Die Brechzahl von Luft beträgt daher bei Normaldruck

$$n = 1 + A \cdot 1000 \text{hPa} = 1,0003$$

