

Michelson Interferometer: Versuchsziele und Anleitung

Im Michelsoninterferometer (Abb. 1) wird der vom Laser kommende Lichtstrahl im Strahlteiler 50:50 auf die Laufstrecken zum Spiegel 1 und zum Spiegel 2 aufgeteilt. Sie werden an den Spiegeln reflektiert und jeweils 50% der Intensität beider Teilstrahlen gehen durch die Irisblende zur Photodiode. Werden die beiden Strahlen dort überlagert, dann sieht man auf weißem Papier Interferenzstreifen und bei guter Zentrierung konzentrische Interferenzringe. Genau im Zentrum wechselt bei der Verschiebung von Spiegel 1 mit konstanter Geschwindigkeit die Intensität periodisch von dunkel nach hell. Dies lässt sich einfach auf dem Oszillographen sehen, wenn an ihn die Ausgangsspannung der Diode angelegt wird. Da der Strahl eine Divergenz besitzt haben Lichtstrahlen nahe an der optischen Achse eine andere Wegstrecke als solche weiter aussen, dies bewirkt die Interferenzringe.

Im Versuch wird die Ausgangsspannung der Photodiode verstärkt und dann ein genormter Rechteckpuls für jeden Spannungsanstieg erzeugt, der einen eingestellten Mindestwert übersteigt (Diskriminator). Diese Normpulse werden vom Datenerfassungssystem gezählt während der Spiegel verfahren wird. Dasselbe Programm kann auch den Schrittmotor steuern und Spiegel 1 um eine wählbare Strecke verfahren (z.B. um 4 mm).

Aufgaben:

1. Aufbau und Justierung des Interferometers
2. Messung der Wellenlänge des Lasers
3. Messung der Kohärenzlänge von Lichtquellen

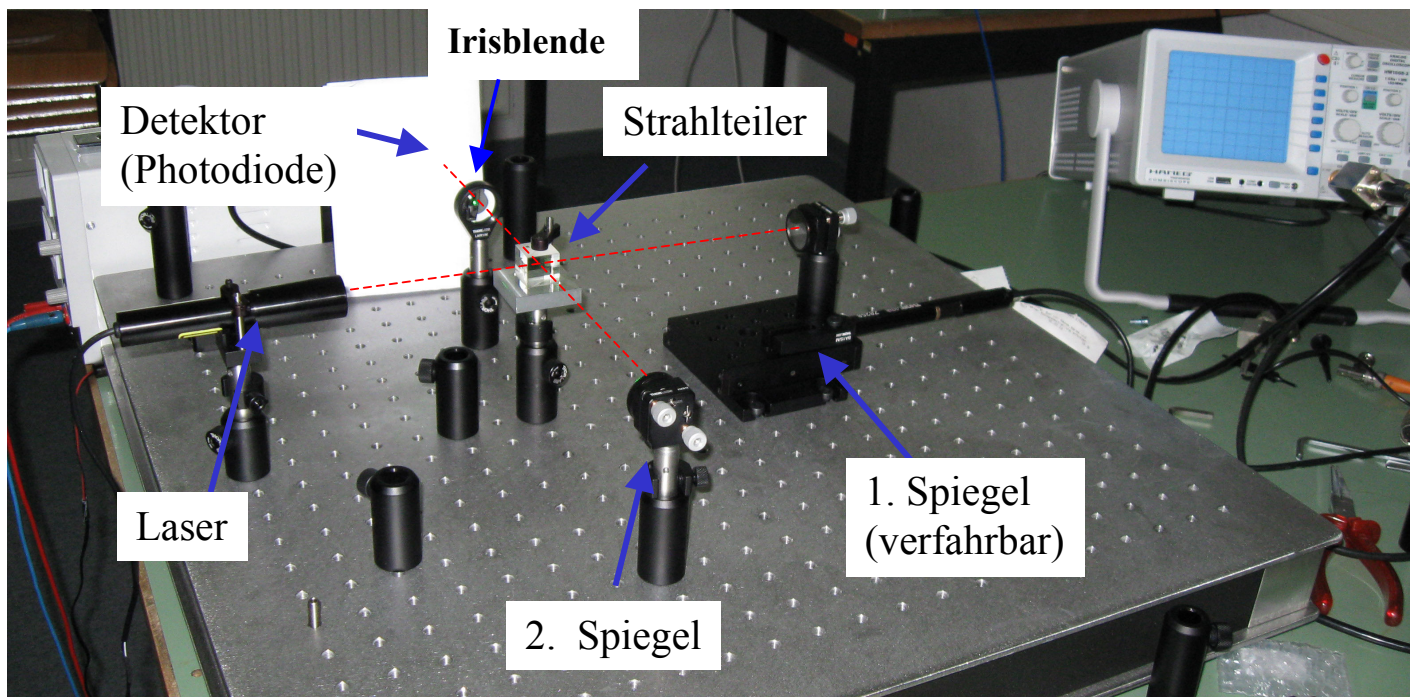


Abb. 1: Aufbau des Interferometers. (Auf dem Photo wird das Interferenzmuster mit einem weissen Papier angeschaut)

Aufgabe 1: Aufbau und Justierung des Interferometers.

Die Halter, der Laser (roter Diodenlaser) sowie der Detektor sind auf dem Breadboard bereits an den richtigen Stellen montiert. Sie müssen also nur die Spiegel und den Strahlteiler einsetzen und den Strahlengang justieren.

Der verschiebbare Spiegel sollte möglichst nah am Strahlteiler stehen... minimaler Abstand. Dann sind beide Spiegel etwa gleich weit vom Strahlteiler entfernt. Notfalls Spiegel 1 von Hand mit der Motorsteuerung an diese Position fahren.

Schritt 1:- setzen Sie Spiegel 1 in den Halter ein.

- setzen sie vor den Laser eine Irisblende ein und drehen sie diese zu bis ein Durchlass von ca 1 mm Durchmesser bleibt. Diese Blende definiert die Höhe des Strahlengangs.
- drehen sie die Aufweitungsoptik des Laserz so, dass ein möglichst punktförmiger Strahl entsteht.

Die erste Aufgabe besteht jetzt darin, den Laserstrahl durch die Irisblende auf die Mitte des Spiegels 1 zu bringen. Justieren sie dazu Höhe und Richtung des Diodenlasers und die Höhe des Spiegels 1. Fixieren sie die Elemente.

Schritt 2: Erste Winkeljustierung von Spiegel 1: Auf der Irisblende sollten sie den reflektierten Strahl von Spiegel 1 sehen. Notfalls können sie auch ein Blatt Papier zu Hilfe nehmen.

- Drehen sie jetzt Spiegel 1 so, dass der Lichtfleck des reflektierten Strahls etwa in die Mitte der Irisblende zeigt.
- nutzen sie danach die Feinjustierschrauben (Abb. 2) und drehen sie an diesen vorsichtig so lange bis der reflektierte Strahl genau im Zentrum der Iris liegt.

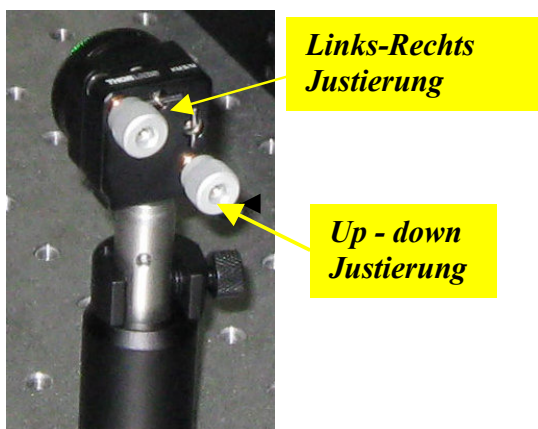


Abb. 2: Feinjustierung der Spiegel

Schritt 3:

- Setzen sie den Strahlteiler und Spiegel 2 in die Halter.
- Drehen sie den Strahlteiler so, dass der Strahl in der Mittelachse von Spiegel 2 liegt und stellen sie die Höhe von Spiegel 2 so ein, dass der Strahl ihn in mittlerer Höhe trifft.
-

Schritt 4: Überlagerung der beiden reflektierten Strahlen.

- stellen sie ein Blatt Papier vor den Photodetektor (wie in Abb. 1).
- Sie sollten jetzt beide reflektierten Strahlen sehen.
- Bringen sie diese beiden Strahlen durch Drehen an den Feinjustierschrauben von Spiegel 1 und 2 in die Mitte der Irisblende vor dem Photodetektor und zur Deckung.

Schritt 5:

- drehen sie die Aufweitungsoptik am Laser ganz auf, so dass ein breiter Strahl entsteht.
- sie sollten auf dem Papier jetzt Interferenzstreifen sehen. Versuchen sie durch kleine Nachjustierungen der Spiegelwinkel jetzt das Zentrum der Interferenzringe ins Zentrum der Irisblende zu bringen

3. Messung der Wellenlänge des Lasers.

Die Methode besteht darin, Spiegel 1 um z.B. 4 mm zu verfahren und dabei die Zahl der Helligkeitsmaxima mit den Pulsen der Photodiode zu messen. Diese haben jeweils einen Abstand von $\frac{1}{2}$ Wellenlänge. Gleichzeitig wird mit einer Mikrometermessuhr der Fahrweg des Spiegels auf ca. 1 μm genau gemessen.

Wenn sie der Anzeige der Messuhr trauen, können sie die Wellenlänge des Lichts bestimmen. Alternativ kann bei bekannter Wellenlänge die Mikrometeruhr geeicht werden. Dies ist im Prinzip die Methode mit der heute Messstäbe genau kalibriert werden.

Durchführung:

- Stellen sie sicher, dass die Motorsteuerung und die Elektronikbox mit dem Rechner verbunden sind.
- Starten sie das Programm MichelsonSpektrometer. Es erscheint ein Menue, das die Steuerung der Datennahme erlaubt.
- Schauen sie nach, ob der Zähler vom Programm erkannt wurde sonst das Feld 'Counter suchen' anklicken.
- Klicken sie auf 'Einstellungen und setzen sie im Fenster die Geschwindigkeit auf 0.2 und die Beschleunigung auf 0.1. Wählen sie single step aus und Steplänge 4 (mm).

Einstellung der Verstärkung und des Oszillographenbildes

- Geben sie das verstärkte Photodiodensignal (mittlere BNC Buchse) auf Eingang 1 des Oszillographen und das Rechteckzählsignal (rechte BNC-Buchse) auf Eingang 2 und schauen sie sich beide gleichzeitig an (CHOP Mode). Triggern sie auf Kanal 2 (MODE: NORMAL)
- Sobald sie Spiegel 1 mit der Motorsteuerung von Hand vom Strahlteiler weg in Bewegung setzen, sollten sie beide Signale sehen. Wählen sie die Empfindlichkeit an den Oszi-Eingängen so, dass sie beide Signale gut sehen. Falls das Signal verrauscht ist sollten sie die Verstärkung der Pindiodensignals anheben (Drehknopf an der Elektronikbox).

Einstellung der Startposition:

- Fahren sie Spiegel 1 von Hand an die Mikrometermessuhr heran. Sobald diese vom Schlitten berührt wird fahren sie langsam -durch kurze Schalterimpulse- den Schlitten weiter bis der Zeiger der Messuhr auf der oberen Null steht. Sie haben die Startposition erreicht.

Messung:

- Klicken sie im Menue des Messprogramms auf Start. Der Spiegel wird jetzt 4 mm vom Strahlteiler weggefahren. Der Zeiger der Messuhr sollte sich drehen und auf dem Oszillographenbild sollten sie während des ganzen Vorgangs kontinuierlich sowohl das Analogsignal als auch das Rechtecksignal sehen. Wundern sie sich nicht darüber, dass das Analogsignal während der Messung mehrfach seine Amplitude ändert. Das ist unerheblich solange das konstante Zählsignal immer da ist.
- Lesen sie die Zahl der Counts auf dem Bildschirm ab – obere rechte Ecke des Menues - und lesen sie die Stellung der Mikrometeruhr ab. Notieren sie beides.
- berechnen sie die Wellenlänge des Lasers aus den beiden Werten.

- wiederholen sie die ganze Messung nochmals, um die Reproduzierbarkeit und den statistischen Messfehler abzuschätzen.

4. Messung der Kohärenz des weissen Lichts einer Glühlampe.

Damit Licht interferieren kann, müssen die beiden interferierenden Wellenzüge eine feste Phasenbeziehung zueinander haben. Bei 'inkohärenten' Quellen wie beim Licht einer Glühlampe oder einer LED haben die Wellenzüge unterschiedlicher Lichtquanten immer zufällige relative Phasen. Ausnahme ist der 'monochromatische' Laser bei dem alle Lichtquanten mit derselben Phase emittiert werden.

Der Wellenzug eines Lichtquants hat eine endliche Länge, die Kohärenzlänge $L \approx c \cdot \tau$, wobei τ die mittlere Lebensdauer des angeregten Zustandes ist, der das Lichtquant emittiert. Wird die Wegdifferenz zwischen den beiden Wegen im Interferometer größer als die Kohärenzlänge, dann kann keine Interferenz mehr auftreten.

Typische Kohärenzlängen sind ca. 7 m für die Balmerlinien des Wasserstoffspektrums. Der rote Laser hat eine Kohärenzlänge von Kilometern. Das Licht der Glühlampe interferiert dagegen nur über eine Länge von wenigen Mikrometern. Diese kurze Kohärenzlänge soll demonstriert und gemessen werden.

Messung:

Auf Grund der winzigen Kohärenzlänge ist es sehr schwierig, das Interferenzmuster von Hand zu finden. Wir wissen nur, dass die Abstände beider Spiegel nahezu identisch sein müssen.

- Fahren Sie Spiegel 1 von Hand so nahe wie möglich an den Strahlteiler heran (der Motor stoppt am Endpunkt von selbst). Die Positionen sind so gewählt, dass jetzt der Weg zu Spiegel 1 etwas kürzer ist als der zu Spiegel 2
- Das Interferenzsignal wird mit dem Oszillographen gesucht. Wählen sie dazu im Triggermenue die Option 'Single Shot' aus. Wenn der Trigger scharf ist, blinkt eine rote Taste.
- Fahren sie Spiegel 1 jetzt von Hand mit kleinen Schalterimpulsen vom Strahlteiler weg. Sobald sie gleichen Abstand erreichen, sehen sie auf dem Oszillographenbild einige wenige Oszillationen. Stoppen sie sofort.
Sie können auf dem Schirm die Zahl der sichtbaren Oszillationen abzählen. Sie sind jeweils 1 Wellenlänge lang. Nehmen sie an, dass die mittlere Wellenlänge von weissem Licht bei ca. 550 nm liegt und schätzen sie die Kohärenzlänge ab.
- Zuletzt können sie auch noch probieren, auf einem Papier die Weisslichtinterferenzstreifen direkt zu sehen. Stellen sie dazu ein weisses Papier vor den Detektor und fahren sie von der letzten Position langsam und vorsichtig Richtung Strahlteiler zurück- sie sind ja inzwischen zu weit gefahren. Im Prinzip findet man das Interferenzbild so immer.