

3 Aufgaben

Sicherheitshinweis Im Versuch wird ein Laser der *Laserklasse 2* verwendet. Seine Leistung ist < 1 mW.
Die Laserstrahlung liegt im sichtbaren Bereich. Sie ist bei kurzzeitiger Einwirkung ($t < 0,25$ s) für das Auge ungefährlich. Dem liegt zu Grunde, dass sich die Augenlider reflexartig schließen. Allerdings kann dies durch Medikamente verlangsamt sein oder auch willentlich beeinflusst werden.

Allgemeine Hinweise:

Die optischen Komponenten müssen pfleglich behandelt werden. Bitte nur an den Metallsockeln und nicht an den optischen Flächen (Spiegel, Strahlteiler, Linsen) anfassen. Die Halterungen sollten nicht umkippen und auf die Spiegelflächen fallen. Reinigen Sie die Spiegel aber nicht selbst!

Der Lichtsensor reagiert sehr empfindlich auf den Winkel unter dem der Strahl einfällt. Der Strahleinfall erfolgt ideal senkrecht. Auf keinen Fall sollten Sie während einer Messreihe Position und Stellung des aktiven Beobachtungsschirms verändern, da dies die Messergebnisse verfälschen würde.

Es kommt im folgenden darauf an, dass Sie

- sich zunächst mit den einzelnen Komponenten, der Messmethode und der Datenerfassung vertraut machen
- ihre Vorgehensweise im Protokoll (logbook) beschreiben (auch Misserfolge oder Probleme). Das *logbook* sollte am Ende die Anleitung ersetzen können und zusätzlich alle Ergebnisse und Erkenntnisse beinhalten.

Tipp: Festschrauben der optischen Elemente ist sehr zu empfehlen, da das Interferometer ein sehr empfindliches Instrument ist. Tipp!

Es steht auch eine Kamera zu Verfügung mit der Sie Interferenzmuster oder Teile des Aufbaus aufnehmen können. Zur Kamera gehört das Programm „Macrocapture-DNT“.

Forschungsfrage: Bei einem Lautsprecher soll die Amplitude der Membran, ihre maximale Geschwindigkeit und eine mögliche Abweichung von der Erregerfrequenz bestimmt werden.

3.1 Vorbereitung der Apparatur

<i>Material</i>		
Strahlteiler	justierbarer Spiegel	fester Spiegel
aktiver Beobachtungsschirm	Kamera	

In dieser ersten Aufgabe soll zunächst ein Interferenzmuster am Schirm erzeugt werden. Dabei

sollen Sie auch einen Eindruck von der Empfindlichkeit des Interferometers erhalten.

3.1.1 Aufbau des Experiments

Der Strahlteiler ist bereits montiert. Planen Sie zunächst den weiteren Aufbau und beschreiben Sie Ihre (geplante) Vorgehensweise:

1. Notieren Sie im *logbook* das Ziel des Aufbaus
2. Schalten Sie den Laser ein
3. Skizzieren Sie im *logbook* den Strahlenverlauf ohne zusätzliche Spiegel
4. Positionieren Sie den festen Spiegel so, dass ein Teilstrahl zum Strahlteiler zurück reflektiert wird und am Schirm sichtbar wird (Position etwa zwei Lochreihen vom Strahlteiler)
5. Positionieren Sie den justierbaren Spiegel entsprechend
6. Schrauben Sie beide Spiegel am Tisch fest.
7. Beschreiben Sie Ihr Vorgehen mit eigenen Worten im *logbook* und skizzieren Sie den Strahlenverlauf des fertigen Aufbaus.
8. Versuchen Sie die reflektierten Strahlen am Schirm möglichst gut zur Deckung zu bringen. Verwenden Sie dazu die beiden Justierschrauben.

Jetzt ist das Interferometer grob justiert und Sie können jetzt das Interferenzmuster „suchen“. Dazu gibt es einen Trick. An der Lochblende des Raumfilters sollten zwei zusätzliche Reflexe zu sehen sein. **Tipp:** Im folgenden kann es hilfreich sein die Spiegel abwechselnd abzudecken.

Tipp!

9. Erklären Sie im *logbook* wie die Reflexe am Raumfilter zustande kommen.
10. Beschreiben Sie im *logbook*, wie Sie die Reflexe nutzen können, um die Überlagerung der Teilstrahlen zu optimieren.
11. Versuchen Sie das Interferenzmuster zu finden und zu optimieren (guter Kontrast und eine Breite die sich für die Messung mit dem Photodetektor eignet).

Für den weiteren Verlauf ist es sinnvoll, die Position des Beobachtungsschirms reproduzierbar fest zu legen. Dazu können z.B. die beiden Aluminiumblöcke benutzt werden.

3.1.2 Empfindlichkeit des Aufbaus

Die Beobachtungen der qualitativen Experimente können teilweise mit der Kamera dokumentiert werden. Man versucht ein Gefühl dafür zu bekommen, wie leicht das Interferenzmuster beeinflusst werden kann.

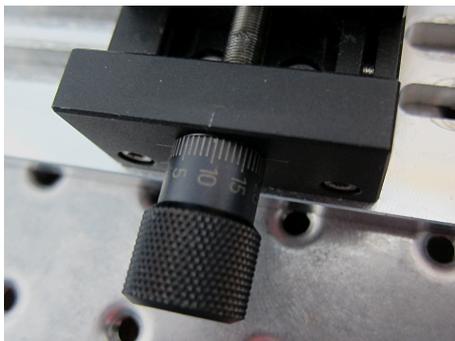


Abbildung 3.1: Ein Teilstrich entspricht einem Verstellweg von 1/100 mm.

1. Drücken Sie leicht gegen den Halter des justierbaren bzw. nicht justierbaren Spiegels. Notieren Sie im *logbook*, wie das Interferenzmuster reagiert.
2. Lassen Sie etwas Feuerzeuggas (ohne Flamme) in einen der beiden Teilstrahlengänge strömen. Was beobachten Sie und wie können Sie diese Beobachtung erklären? *Notieren Sie im logbook*.
3. Drehen Sie langsam am Einstellknopf des Lineartisches (Bild 3.1), so dass Sie eine (mehr oder weniger schnelle) Abfolge von sich abwechselnden Intensitätsmaxima und Intensitätsminima am Lichtdetektor beobachten können. Wie weit (in Einheiten der Lichtwellenlänge) wurde der Tisch verschoben, wenn aus einem Maximum ein Minimum und dann wieder ein Maximum wird? *Notieren Sie im logbook*.

3.2 Intensitätsmessungen

Dieses Experiment soll Ihnen ein tieferes Verständnis der Lichtinterferenz ermöglichen.

Die Intensität einer Lichtwelle mit (elektrischer) Amplitude E_0 ist (Gleichung 2.6):

$$I = \frac{1}{2} c \varepsilon_0 E_0^2$$

Der Faktor $1/2$ ergibt sich bei der Mittelung über $\sin^2 \phi$. c ist die Lichtgeschwindigkeit, ε_0 die elektrische Feldkonstante.

Interferieren zwei Lichtwellen, so addieren sich deren Amplituden E_0^a und E_0^b . Für den idealen Strahlteiler gilt $E_0^a = E_0^b$.

1. *Für Spezialisten (sonst weiter beim Punkt 4):* Welche Intensität I ergibt sich bei der (konstruktiven) Überlagerung zweier Wellen mit zwei gleich großen Amplituden E_0^a und E_0^b im Vergleich zur Intensität einer einzigen Welle?
2. Bei gleichen Amplituden E_0^a und E_0^b sollte die minimale Intensität bei destruktiver Interferenz Null sein. Welcher Mittelwert ergibt sich, wenn wir von konstruktiver zu destruktiver Interferenz verschieben?
3. *Notieren Sie Überlegungen, Rechnungen und Ergebnisse im logbook.*

Für eine optimale Messung kommt es im folgenden darauf an, dass der Beobachtungsschirm so aufgestellt wird, dass man nicht zu nahe am Rand des Interferenzflecks die Intensität detektieren kann. Wichtig ist senkrechter Lichteinfall und natürlich darf die Position des Schirms während der Messreihe nicht verändert.

Mit dem angeschlossenen Multimeter (DC-Messbereich) messen wir die Ausgangsspannung des Lichtsensors. Die Ausgangsspannung hängt linear von der Intensität ab (eine Annahme die natürlich überprüft werden müsste).

4. Konstruktiv interferierende Wellen gleicher Intensität ergeben eine Welle, die die 4-fache Intensität einer einzelnen Welle hat.
 - (a) Messen Sie die Ausgangsspannung U_{\max} im Interferenzmaximum
 - (b) Messen Sie die beiden Ausgangsspannungen U^a und U^b für die beiden Teilwellen.
 - (c) Berechnen Sie das Strahlteilverhältnis U^a/U^b
 - (d) Notieren Sie Ihr Vorgehen und Ihr Messergebnis im *logbook* und vergleichen Sie, in einer kurzen Aussage, mit der theoretischen Vorhersage. Begründen Sie, wenn möglich, auch eventuelle Abweichungen.

- Verstellen Sie den Lineartisch schnell, so dass sie ein zeitliches Mittel des sich ändernden Interferenzmusters messen. Als mittlere Intensität sollte sich die Hälfte der Intensität bei konstruktiver Überlagerung, also die Summe der Intensitäten der beiden Einzelwellen ergeben. Überprüfen Sie diese Aussage und notieren Sie das Ergebnis im *logbook*.

3.3 Hochgenaue Längenmessung

Jetzt wollen wir uns quantitativ mit der Genauigkeit der Messmethode beschäftigen. Dabei spielt die Linearverstellung (am justierbaren Spiegel) die zentrale Rolle (Bild 3.1). Ein Teilstrich entspricht einer Verstellung um $10\ \mu\text{m} = 1/100\ \text{mm}$.

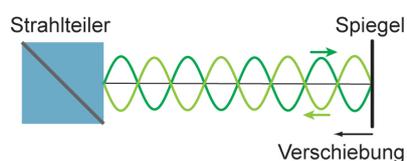


Abbildung 3.2: Sehr schematisch sind hier die Reflexion am Spiegel und die Linearverstellung dargestellt.



Da Beobachten und Mitzählen etwas schwierig ist (probieren Sie es aus) nutzen wir den PC und eine vorgeschaltete Datenerfassungs-Hardware, ein *Datenlogger* (Computer-Oszilloskop). Diese wird auch bei der Vermessung des Lautsprechers benötigt. Dieses Experiment dient deshalb auch dem Kennenlernen der Software „EasyLogger“. Damit wird der zeitliche Spannungsverlauf am Lichtdetektor-Ausgang aufgezeichnet. Für die Einstellung der Parameter für Messung und Darstellung können Sie Vorüberlegungen anstellen oder versuchen durch Probieren zum Ziel zu kommen.

- Erläutern Sie *logbook* den Begriff *sampling rate*.
- Notieren Sie ebenfalls *logbook* die eingestellten Werte für Skalierung (x, y) und „*sampling rate*“ an und erläutern Sie ihre Wahl.

Jetzt soll die Messung durchgeführt werden. Dabei ist zu bedenken, dass die Spindel des Tisches eventuell ein gewisses Spiel aufweist. Man muss deshalb bei der Messung in derselben Richtung drehen, in der man unmittelbar vorher gedreht hat. In der Regel ist es auch von Vorteil, den Drehknopf über den passenden Inbusschlüssel zu betätigen. Falls Probleme beim genauen Ablesen der Skala auftreten, kann die Beleuchtung an der Digitalkamera hilfreich sein.

Um keine unnötig langen und unübersichtlichen Dateien zu erzeugen, startet bzw. stoppt man die Aufzeichnung möglichst kurz vor bzw. nach dem Verschieben des Tisches. Im Team ist das unproblematisch.

- Überlegen Sie, wie Sie möglichst genau die Anzahl der Maxima bei Verschiebung um einen Teilstrich bestimmen können.
- Wie errechnet sich daraus der Verstellweg (vgl. Bild 3.2)? Wie genau ist die Messung?
- Führen Sie die Messung durch.
- Notieren Sie alle Schritte und Ergebnisse im *logbook*.

3.4 Schwingungsmessung

Der nicht justierbare Spiegel des Michelson-Interferometers wird durch den Lautsprecher mit aufgeklebtem Spiegel ersetzt und man stellt ein Interferenzmuster ein, welches möglichst wenige

Streifen aufweist. Der Lautsprecher ist an einen Funktionsgenerator angeschlossen, welcher definierte Spannungssignale erzeugen kann, welche die Lautsprechermembrane in Schwingungen versetzen.

Der Funktionsgenerator wird auf sinusförmiges Ausgangssignal gestellt und die Frequenz 1 Hz ausgewählt.

1. Zeichnen Sie das Signal des Lichtdetektors auf.
2. Welchen Einfluss hat die Amplitudeneinstellung auf das Signal?
3. Interpretieren Sie das Ergebnis.
4. *Notieren Sie Überlegungen und Ergebnisse im logbook.*

Erhöhen Sie die Frequenz am Funktionsgenerator auf 100 Hz und stellen Sie die Amplitude auf einen mittleren Wert ein. Das per Auge sichtbare Interferenzmuster sollte nun verschwinden, weil das Auge maximal nur 20 Bilder pro Sekunde auflösen kann.

Mit dem Datenlogger zeichnet man für einige Sekunden den Spannungsverlauf des aktiven Schirms auf. Man dokumentiert alle für die spätere Auswertung notwendigen Parameter und Messwerte im Versuchsprotokoll. Die Messkurven können auch abgespeichert und z.B. auf einen USB-Stick kopiert werden.

5. Zeichnen Sie den Spannungsverlauf auf.
6. *Notieren Sie alle Parameter im logbook.*
7. Beschreiben Sie den Spannungsverlauf in Bezug auf die Lautsprecherbewegung.
8. Weshalb ändert sich die Amplitude der Spannung.
9. *Notieren Sie ihre Interpretation mit einer groben Skizze im logbook.*

Bestimmt werden sollen:

- Amplitude der Lautsprecherschwingung
- Geschwindigkeit des Spiegels
- Frequenz der Lautsprecherschwingung

10. Werten Sie die Messung aus.
11. *Notieren Sie ihre Ergebnisse im logbook.*