

foeXlab-Baustein

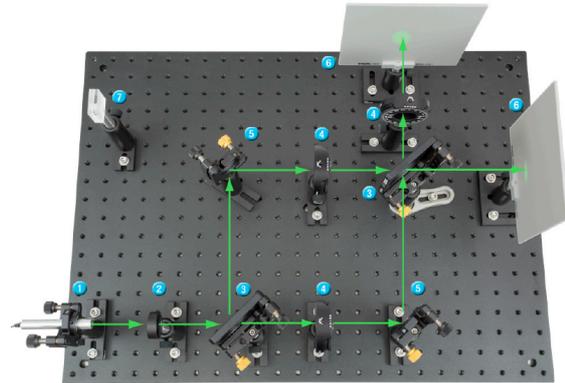
Mach-Zehnder Interferometer

foeXLab – Das DQ-mat-Interferometerlabor

1 Das Mach-Zehnder-Interferometer

Infobox : Ein wenig zur Bedeutung

Mit Interferometern (Michelson, Hanbury-Brown/Twiss, Fabry-Perot, Mach-Zehnder, Youngs Doppelspalt) lassen sich Gangunterschiede zwischen Wellen höchst präzise messen. Ihre Bedeutung nahm in dem in dem Maße zu, in dem sich ihr Einsatzbereich immer weiter in den Bereich der „physics fundamentals“ erstreckte. Das Michelson-Interferometer (MI) erlangte im Zusammenhang mit der Entdeckung der Gravitationswellen aktuelle Berühmtheit.



2 Interferenz beim Mach-Zehnder Interferometer

2.1 Zwei-Quellen-Interferenz

Aufgaben

- Erklären Sie die Begriffe Amplitude, Frequenz und Gangunterschied.
- Berechnen Sie die Frequenz $f = \omega/2\pi$ bei Lichtwellen der Wellenlänge $\lambda = 532 \text{ nm}$.

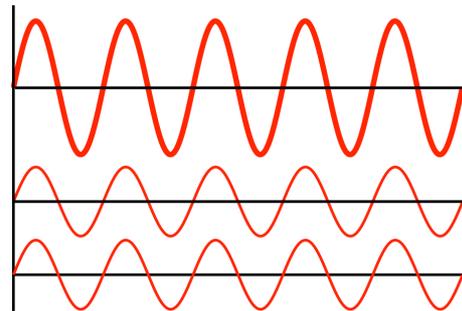
Überlagern sich zwei gleichartige Wellen (gleiche Wellenlänge und gleiche Polarisation) addieren sich die Amplituden und es kommt zur **Interferenz**. Das Ergebnis der Überlagerung hängt vom Gangunterschied Δs zwischen den Wellen ab. **Konstruktive Interferenz** (Abb. 1): Ist der Gangunterschied ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge, $\Delta s = n \cdot \lambda$, kommt es zur Verstärkung. **Destruktive Interferenz** (Abb. 2): Ist Gangunterschied ein ungeradzahliges Vielfaches der halben Wellenlänge, kommt es zu Abschwächung (bei gleicher Amplitude sogar Auslöschung). Sind die Amplituden gleich, führt Interferenz also zu Dunkelheit. Wo bleibt in diesem Fall das Licht?. Energie kann schließlich nicht einfach so verschwinden.

Den Gangunterschied zweier Wellen Δs gibt man als Bruchteil oder auch als Vielfaches der Wellenlänge an. $\Delta s = x \cdot \lambda$. Ergänzen Sie die folgende Tabelle

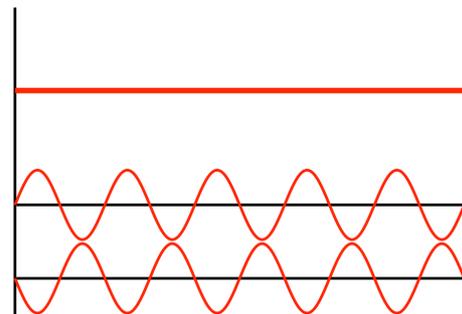
2.2 Das Mach-Zehnder Interferometer

In Abb. 3 sehen Sie den Aufbau eines Mach-Zehnder Interferometers. Machen Sie sich die Lichtwege klar und beschreiben Sie diese in Ihrer Arbeitsgruppe.

Für den Betrieb von Interferometern stellt sich stets die Frage, wie die zwei gleichartigen Lichtwellen erzeugt werden für die Interferenz. Beim Mach-Zehnder Interferometer (Abb. 3) verwendet man dazu einen halbdurchlässigen Spiegel. Nach Reflexion (zur Umlenkung) an den Spiegeln werden die beiden Wellenanteile am zweiten Strahlteiler (der hier ein Strahlverbinder ist) überlagert und zur Interferenz gebracht.



1 Konstruktive Interferenz: Zwei Wellen gleicher Wellenlänge und gleicher Amplitude überlagern sich phasengleich.



2 Destruktive Interferenz: Zwei Wellen gleicher Wellenlänge überlagern sich mit einem Gangunterschied von $\lambda/2$

2.3 Erkundung des MZI

Aufgabe Klären und dokumentieren Sie die unterschiedlichen Funktionen der Strahlteiler im Aufbau. Verwenden Sie Fotografien zur Dokumentation.

Aufgabe: Um die Interferenzmuster wirklich sehen zu können, müssen Sie eine Aufweitungslinse einbauen, wie in Abb. 3 unten gezeigt. Beobachtung: Im divergenten Licht hinter einer Strahlaufweitungslinse werden bei guter Justierung Interferenzmuster sichtbar. Im Idealfall ergeben sich konzentrische Kreise. Geben Sie für das Auftreten der Muster eine möglichst quantitative Erklärung. Vielleicht hilft Ihnen die Abb. 3.

Aufgabe: Als letztes und anspruchsvollstes Experiment setzen Sie wieder die Polarisatoren in den Aufbau ein und experimentieren mit den unterschiedlichen Polarisatorausrichtungen. Wir bezeichnen mit P1 die Polarisatorstellung im oberen, mit P2 die Polarisatorstellung im unteren Pfad; V steht für vertikal, H für horizontal. PO benennt die Polarisatorstellung am gewählten Ausgang; PO = 0 bedeutet: Kein Polarisator im Lichtweg.

a) Prüfen Sie, ob die Laserpolarisation zu Beginn auf 45° steht, dann haben Sie immer genügend Licht im Aufbau.

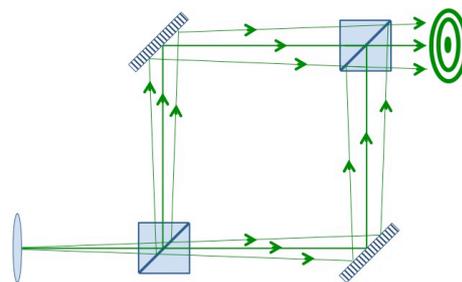
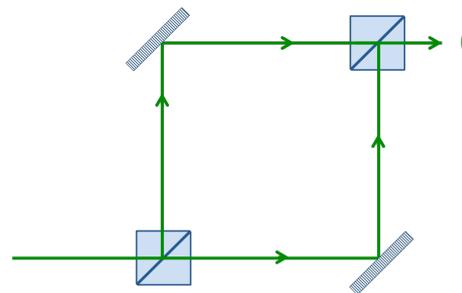
b) Experimentieren Sie mit unterschiedlichen Polarisationsrichtungen. Dokumentieren insbesondere folgende Fälle:

- (P1 = 0, P2 = 0, PO = 0); (P1 = 0, P2 = 0, PO = V);
- (P1 = 0, P2 = 0, PO = H)
- (P1 = H, P2 = V, PO = 0); (P1 = H, P2 = V, PO = H);
- (P1 = H, P2 = V, PO = V);
- (P1 = H, P2 = V, PO = 45).

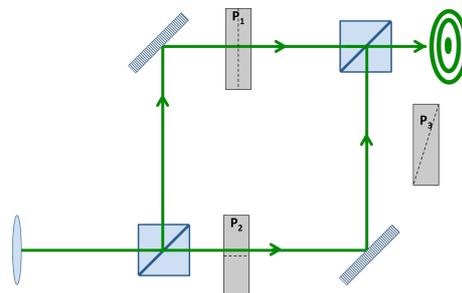
Geben Sie Erklärungen für die Ergebnisse aus dieser Aufgabe. Warum muss der Fall (P1 = V, P2 = H, PO = ...) nicht gesondert untersucht werden?

2.4 Experimente mit Kugelwellen

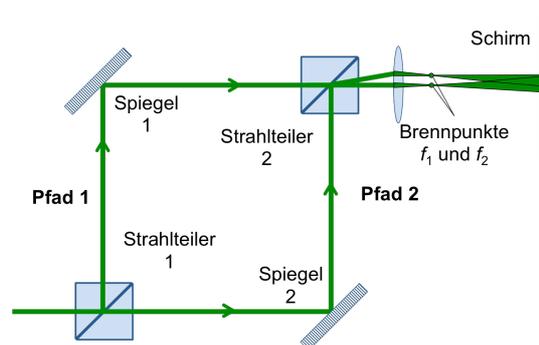
Durch leichtes *seitliches* Dejustieren des 2. Strahlteilers haben die Bündel hinter dem Strahlteiler unterschiedliche Richtungen und die Treffpunkte der Bündel auf dem Schirm rutschen auseinander; stellen Sie auf etwa 2 m entfernten Schirm einen Punktabstand von etwa 5–10 mm ein. Stellen Sie die Aufweitungslinse nun direkt hinter den Strahlteiler. Jetzt sollten Sie (einigermaßen) parallele Interferenzstreifen auf dem Schirm erkennen können (Abb. 7, Einklinker).



3 Prinzipielle Aufbau des MZI; oben ohne unten mit Aufweitungslinse

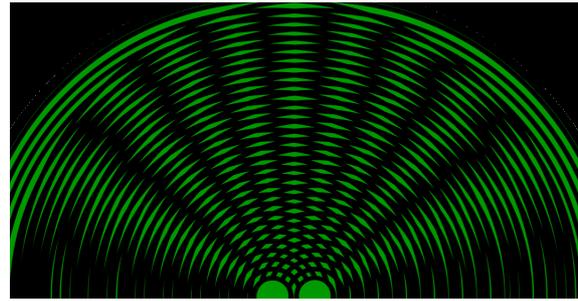


4 Polarisatoren im Mach-Zehnder Interferometer



5 Erzeugung kohärenter Kugelwellen

Ihr Erscheinen ist leicht erklärt: Die Linse fokussiert die Laserbündel auf zwei Brennpunkte (durch das leichte Dejustieren des Strahlteilers sind es zwei, f_1 und f_2 in Abb. 7). Diese Lichtpunkte wirken wie zwei kohärente Quellen für zwei kohärente Kugelwellen (Abb. 6; ähnlich wie beim Doppelspaltversuch): Man erhält Interferenzstreifen auf dem Schirm.



6 Interferenz von zwei Kreiswellen

Abstand und Breite der Interferenzstreifen werden durch die Geometrie des Aufbaus und durch die Wellenlänge bestimmt. Zweimal den Strahlensatz auf die Lage des 1. Maximums angewandt, ergibt dafür eine Näherungsformel:

1. Abstand zwischen 0. und 1. Maximum: Δy ;
2. Damit die Interferenz konstruktiv ist, muss der Gangunterschied $s_1 - s_2 = \lambda$ sein.

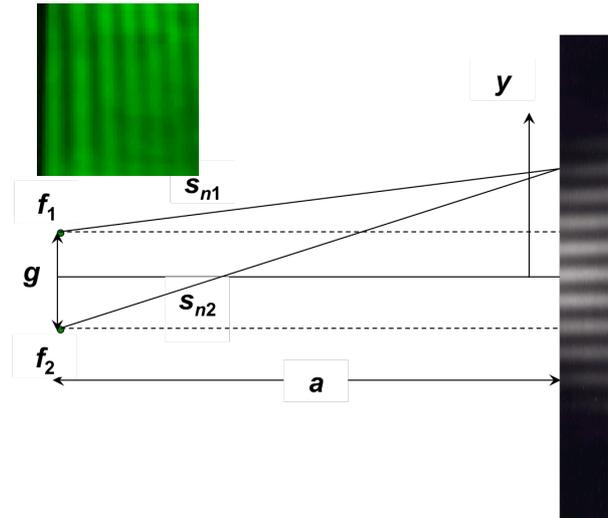
3. Strahlensatz (Interferenzstreifen):

$$\frac{\Delta y}{a} = \frac{s_1 - s_2}{g} = \frac{\lambda}{g}$$

4. Nochmal Strahlensatz anwenden (Punktabstand):

$$\frac{g'}{a} \approx \frac{g}{f}$$

(1) Alles zusammen: $\lambda = \frac{f \cdot g'}{a^2} \Delta y$. (1)



7 Interferenzstreifen als Resultat der Interferenz zweier kohärenter Kugelwellen mit den Zentren in den Brennpunkten f_1 und f_2

Aufgabe: Überprüfen Sie Gl. (1). Messen Sie dazu g' ; a und Δy für drei bis fünf unterschiedliche Werte von g' . Was bekommen Sie als Mittelwert $\langle \lambda \rangle$ heraus? Die Laserwellenlänge ist $\lambda = 532 \text{ nm}$; wie gut passt Ihr Ergebnis?



Literatur

Thorlabs Handbuch MTN002250-D03 Rev D, 10. April 2016

Impressum

foeXLab Baustein
Mach-Zehnder Interferometer

© 2018 foeXLab· Leibniz Universität Hannover

www.uni-hannover.de

Das Werk und seine Teile sind urheberrechtlich geschützt. Jede Nutzung in anderen als den gesetzlich zugelassenen Fällen bedarf der vorherigen schriftlichen Genehmigung des Herausgebers.

Hinweis zu §52a: Weder das Werk noch seine Teile dürfen ohne eine solche Einwilligung gescannt und in ein Netzwerk gestellt werden. Dies gilt auch für Intranets von Schulen und Hochschulen und andere Bildungseinrichtungen.

Trotz sorgfältigster Bearbeitung sind Fehler nie auszuschließen. Für Schäden, die durch Fehler im Werk oder seinen Teilen entstanden sind, kann keine Haftung übernommen werden.

Trotz sorgfältigster Bearbeitung sind Fehler nie auszuschließen. Für Schäden, die durch Fehler im Werk oder seinen Teilen entstanden sind, kann keine Haftung übernommen werden.

Abbildungen:

Alle Fotos: Thorlabs

Zeichnung: Archiv/RS