

Rüdiger Scholz

Das Mach-Zehnder-Interferometer

foeXLab – Das DQ-mat Interferometerlabor

1 Funktion des MZI

Interferometer erzeugen Interferenz. Spätestens seit klar ist mit welcher Präzision Längenänderungen und Phasenverschiebungen mit Interferometern (Michelson, Hanbury-Brown/Twiss, Fabry-Perot, Mach-Zehnder, Youngs Doppelspalt) gemessen werden können, avancierten sie zum Standard in den Laboren. 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. Das Mach-Zehnder-Interferometer (MZI) zeichnet sich im Vergleich zum MI durch eine leichtere theoretische Zugänglichkeit und Rigorosität aus und hat einen ganz besonderen Vorteil: Es hat zwei Ausgänge, die unabhängig voneinander beobachtet werden können.

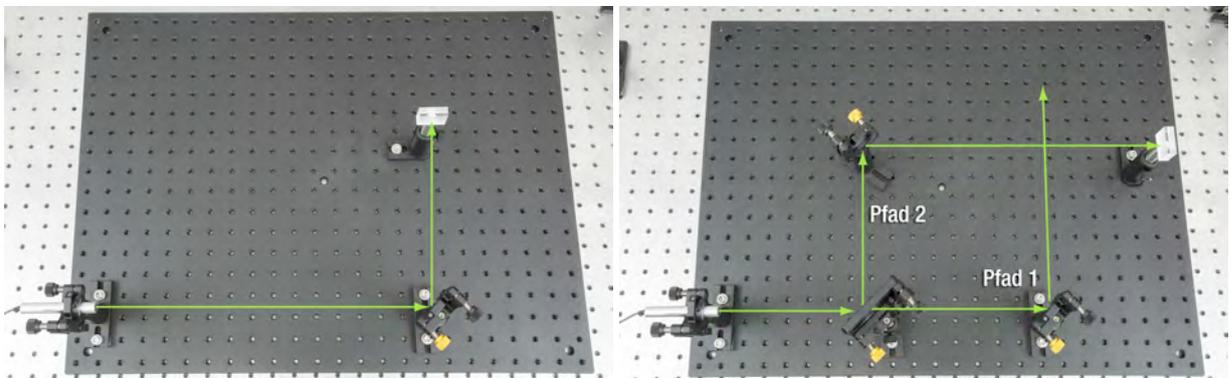
2 Schritte zum justierten MZI

Der Aufbau eines gut justierten MZI erfordert etwas Fingerspitzengefühl. Ein brauchbares Interferenzmuster kann nur erreicht werden, wenn die zwei am ersten Strahlteiler getrennten Lichtfeldanteile am zweiten Strahlteiler kollinear zusammengeführt werden: Unabhängig davon, wo hinter dem Austritt man nachschaut, die Lichtbündel laufen nicht mehr auseinander, stets sieht man nur einen Spot. Parallele Bündel (zwei Spots sichtbar) sind nicht ausreichend.

2.1 Der Laser

Einen guten Kontrast des Musters erreichen Sie, wenn das Licht des Lasers 45° polarisiert ist. Stellen Sie einen Polarisator auf 45° ein und drehen Sie den Laser in seiner Halterung, bis das transmittierte Licht minimale Helligkeit aufweist. Jetzt steht der Laser richtig: 45° polarisiert, wenn auch genau 90° gegen den Polarisator gedreht.

2.2 Lichtbündel parallel zur Aufbauplatte und parallel zu den Lochreihen



Mit dem Fadenkreuz der Justierhilfe legen Sie Höhe der Austrittspupille direkt am Laser fest. Stellen Sie dann den Laser und die Justierhilfe an diagonal gegenüberliegende Ecken des Breadboards und justieren Sie mit der Stellschraube am Laser die Neigung des Lasers so, dass das Lichtbündel wieder die Fadenkreuzmitte der Justierhilfe trifft. Die so gefundene Höhe ist die **Referenzhöhe**. Nutzen Sie die Justierhilfe beim Dazustellen jedes weiteren Bauteils und stellen Sie sicher, dass das die Lichtbündel immer parallel zur Aufbauplatte verlaufen. Durch entsprechende Drehung der Laserhaltung um die Senkrechte richten Sie das Bündel nun möglichst parallel zu einer Lochreihe aus.

2.3 Strahlteiler und der zweite Spiegel

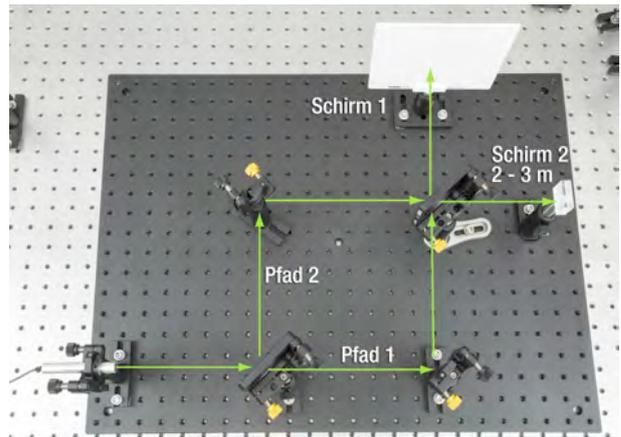
Setzen Sie nun einen der Strahlteiler zwischen Laser und ersten Spiegel (Pfaden 1 in der Abbildung). Damit wurde das Lichtbündel in zwei orthogonale Bündel geteilt. Die Lichtpfade 1 und 2 müssen

- die gleiche Höhe über der Platte haben (Justierhilfe),
- parallel zur Platte verlaufen (Justierhilfe),
- parallel zueinander laufen (Lochraster).

Der zweite Spiegel lenkt das Bündel wieder um 90° um. Dies wird wieder mit der Justierhilfe kontrolliert.

2.4 Der 2. Strahlteiler vereint die Lichtbündel wieder

Bringen Sie den zweiten Strahlteiler am Schnittpunkt der beiden Teilstrahlen in den Aufbau ein (Abb. rechts). Zum fixieren verwenden Sie die spezielle Klemme (CF125). Stellen Sie für jeden Schritt mit der Justierhilfe sicher, dass die Lichtbündel die richtige Höhe über der Platte haben.



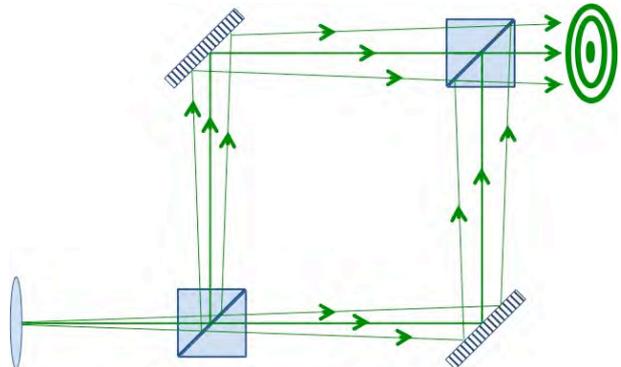
2.5 Ausrichtung

Stellen Sie dann einen der Beobachtungsschirme nah hinter dem 2. Strahlteiler auf (Schirm 1 in der Abbildung) den anderen in einem Abstand von mindestens 2-3 Metern.

Unser Ziel ist es, die beiden Teilbündel perfekt zu überlagern. Zunächst werden Sie wohl zwei Laserspots auf den Schirmen sehen. Sie müssen nun versuchen, diese beiden zu überlagern. Sie können die Spots mit Hilfe der Feinjustierschrauben an den Spiegel- und den Strahlteiler-Mounts positionieren.

Stellen Sie das Interferometer so ein, dass die Bündel am 2. Strahlteiler richtig gut übereinander liegen (es genügt nicht, dass die Spots nur auf den Schirmen gut aufeinander liegen; sie müssen an allen Stellen hinter dem 2. Strahlteiler übereinanderliegen!) Ist dies nicht der Fall, muss entweder die zuerst die Position des 2. Strahlteilers entsprechend korrigiert werden und danach Einstellung der Spiegel.

Liegen die Spots auf dem 2. Strahlteiler gut übereinander, justieren Sie diesen so, dass die Spots auch auf den Schirmen aufeinander liegen. Wenn Sie jetzt die Aufweitungslinse zwischen Laser und 1. Strahlteiler stellen, sollten Sie ein Interferenzmuster sehen können. Wenn nicht justieren Sie sehr vorsichtig die Spiegel nach. Hilft das nicht, müssen Sie noch einmal von vorn beginnen. Nicht verzweifeln, die meisten benötigen zwei bis drei Anläufe.



2.6 Bevor Sie verzweifeln: Der *Beam-walk*

Beim Beam-Walk handelt es sich um eine iterative Methode, um Lichtbündel mittels zweier kinematischer Elemente auszurichten. Diese beiden Elemente sind in unserem Fall der erste Strahlteiler und ein Spiegel Ihrer Wahl. Diese werden verändert, um den Strahl auf zwei „Ziele“ einzustellen, nämlich die Spots auf dem zweiten Strahlteiler und auf einem der Schirme. Gehen Sie wie folgend vor:

- Justieren Sie den ersten Strahlteiler, bis die beiden Spots auf dem zweiten Strahlteiler überlappen;
- justieren Sie nun den von Ihnen gewählten Spiegel so, dass die beiden Spots am Schirm übereinander liegen.

Wiederholen Sie diese beiden Schritte nun so oft, bis die Spots sowohl am Strahlteiler als auch am Schirm optimal übereinander liegen. Setzen Sie dann die Linse ein. Wenn Sie das Interferenzmuster noch nicht sehen, dann drehen oder neigen Sie langsam einen der Spiegel. Finden Sie immer noch kein Muster, müssen die vorherigen Schritte wiederholt werden.

Viel Erfolg!

Literatur

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

Impressum

Mach-Zehnder- Interferometer

© 2016 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