

Gebrauchsanweisung Fresnel-Spiegel

Martin Henschke, 2006-05-16

Art.-Nr.: 650272

Diese Gebrauchsanweisung ist urheberrechtlich geschützt. Sie darf - mit Quellenangabe - für nicht-kommerzielle Zwecke vervielfältigt, aber nicht über das Internet weiterverteilt werden. Technische Änderungen vorbehalten.



Abb. 1: Komponenten

- 1 Schutzscheibe aus Acrylglas
- 2 Stiel, 10 mm Durchmesser aus Edelstahl
- 3 optischer Reiter (nicht im Lieferumfang)
- 4 Gehäuse aus schwarz eloxiertem Aluminium
- 5 Rändelschraube zur Spiegelverstellung
- 6 Oberflächenspiegel aus schwarzem Acrylglas

Mit dem Fresnel-Spiegel können Versuche zur Interferenz von monochromatischem, kohärenten Licht durchgeführt werden, wobei durch die beiden Spiegel aus einer Lichtquelle zwei virtuelle Lichtquellen - die dann interferieren - erzeugt werden.

1. Sicherheitshinweise

Bei Verwendung eines Lasers sind die dort angegebenen Sicherheitshinweise strikt einzuhalten. Z. B. Nicht in den Strahl blicken!

Während der Versuche darf sich kein Beobachter geblendet fühlen.

2. Beschreibung, technische Daten

Die Idee von Fresnel, mit Hilfe von zwei Spiegeln Lichtwellen zur Interferenz zu bringen, ist in Abb. 2 dargestellt. Das von einer Punktlichtquelle P ausgehende Licht (paralleler Laserstrahl mit vorgeschalteter Linse) wird von zwei Spiegeln so reflektiert, dass sich die beiden Teilstrahlen überlagern und miteinander interferieren. Die Versuchsauswertung kann mathematisch einfach und physikalisch anschaulich vorgenommen werden, indem der Abstand der beiden virtuellen Punktlichtquellen P_1 und P_2 bestimmt und das Interferenzmuster als Überlagerung von kreisförmigen Wellen, die von P_1 und P_2 ausgehen, berechnet wird.

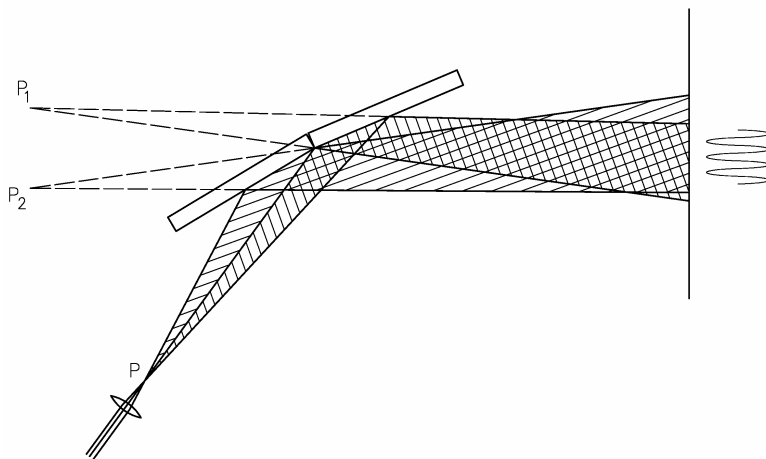


Abb. 2: Funktionsprinzip des Fresnel-Spiegels.

Der Fresnel-Spiegel besteht aus zwei je 29 mm x 45 mm großen Teilsiegeln aus Acrylglas. Da bei den Versuchen ein streifender Lichteinfall eingestellt wird, kommt es zur Totalreflexion und das Acrylglas wirkt als Oberflächenspiegel. Einer der beiden Spiegel ist fest im Gehäuse angebracht, während der andere in der Neigung von ca. $-0,5^\circ$ bis $+2^\circ$ verstellbar ist.

Vor den Spiegeln ist eine Schutzscheibe aus Acrylglas angebracht, die bei den Versuchen nicht entfernt werden muss. Dadurch werden versehentliche Berührungen der Spiegel vermieden.

Der Stativstab hat 10 mm Durchmesser und ist in seiner Länge so bemessen, dass sich für die Spiegelmitte die Standardhöhe von 150 mm ergibt.

3. Bedienung und Wartung

Der Fresnel-Spiegel wird mit streifendem Lichteinfall betrieben, wobei er um etwa $1-2^\circ$ zum Lichtstrahl hin geneigt ist. Nachdem die Lichtquelle so justiert ist, dass beide Spiegel etwa gleich stark beleuchtet werden, können die beiden reflektierten Lichtstrahlen in der Neigung zueinander verstellt werden, indem an der Rändelschraube (5) gedreht wird.

Wartung:

Der Fresnel-Spiegel ist prinzipiell wartungsfrei. Zur Reinigung kann er feucht (Wasser mit Spülmittel) abgewischt werden. Die Spiegel sollten nach Möglichkeit nur trocken mit einem weichen Pinsel von Staub befreit werden. Ggf. können auch sie mit einer Spülmittellösung und einem weichen Lappen gereinigt werden.

Aufbewahrung:

Die Aufbewahrung sollte staubgeschützt, eventuell mit übergestülptem Plastikbeutel, erfolgen.

4. Versuchsdurchführung und Auswertung

Im Folgenden sind zwei Versuchsaufbauten beschrieben. In Abschnitt 4.1 wird ein einfacher und kompakter Aufbau vorgestellt, der zu breiten und hellen Interferenzstreifen führt, bisher aber nicht quantitativ ausgewertet wurde. In Abschnitt 4.2 wird der Aufbau des „klassischen“ Versuchs gezeigt und anhand eines Beispiels ausgewertet.

4.1 Kompakter, qualitativer Interferenzversuch

Folgende Geräte werden benötigt:

- 1 x optische Bank mit Dreikantprofil, 0,5 m lang
- 1 x Optikreiter, 120 mm hoch, 50 mm breit
- 1 x Optikreiter, 90 mm hoch, 50 mm breit
- 2 x Optikreiter, 60 mm hoch, 50 mm breit
- 1 x Verlängerungsarm
- 1 x He-Ne-Laser
- 1 x Fresnel-Spiegel
- 1 x Konvex-Linse, $f = 5 \text{ mm}$
- 1 x Beobachtungsschirm



Abb. 3: Versuchsaufbau „Kompakter Interferenzversuch“

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3 zu sehen. Der Fresnel-Spiegel ist um etwa 1° zum Laser hin geneigt. Die Linse ist zunächst noch aus dem Strahl geschwenkt. Durch Verdrehen des Lasers im Optikreiter wird der Strahl so eingestellt, dass er auf beide Spiegel fällt und auf

dem Beobachtungsschirm zwei etwa gleichhelle Punkte ergibt (ggf. ist die Spiegelneigung durch Drehen der Rändelschraube (5) etwas zu verstellen). Dann werden die beiden Punkte auf dem Schirm durch Drehen der Rändelschraube zur Deckung gebracht. Wenn jetzt die Linse in den Strahlengang geschwenkt wird, sollte sich bereits ein Interferenzmuster auf dem Schirm zeigen, dass durch nachjustieren des Lasers noch schärfer wird.

4.2 Klassischer Interferenzversuch

4.2.1 Versuchsaufbau

Folgende Geräte werden benötigt:

- 1 x optische Bank mit Dreikantprofil, 0,5 m lang
- 1 x Optikreiter, 120 mm hoch, 50 mm breit
- 1 x Optikreiter, 90 mm hoch, 50 mm breit
- 2 x Optikreiter, 60 mm hoch, 50 mm breit
- 1 x He-Ne-Laser
- 1 x Fresnel-Spiegel
- 1 x Konvex-Linse, $f = 5 \text{ mm}$
- 1 x Konvex-Linse, $f = 200 \text{ mm}$

Der Versuchsaufbau ist in Abb. 4 zu sehen. Zunächst werden der Laser und die 5mm-Linse montiert und so ausgerichtet, dass der durch die Linse aufgeweitete Laserstrahl etwa parallel zur optischen Bank verläuft. Der Strahlverlauf kann dabei mit einem Blatt Papier sichtbar gemacht werden. Nicht direkt in den Strahl blicken! Als nächstes wird der Fresnel-Spiegel um etwa $1\text{-}2^\circ$ zum Laser hin geneigt montiert.



Abb. 4: Versuchsaufbau „klassischer Interferenzversuch“. Position der Komponenten (linke Kante der Optikreiter): Laser: 0 mm, Linse $f = 5 \text{ mm}$: 150 mm, Fresnel-Spiegel: 220 mm, Linse $f = 200 \text{ mm}$ (nur montiert, wenn der Abstand der virtuellen Lichtquellen gemessen wird): ca. 380 mm. Das Interferenzbild wird in 2 bis 3 m Entfernung auf einem Schirm (oder einer hellen Wand) erhalten.

Durch Drehen der Rändelschraube (5) sollte sich jetzt ein Bild auf dem 2-3 m entfernten Schirm einstellen lassen, das prinzipiell Abb. 5 entspricht. Links neben dem Interferenzmuster wird noch ein heller Bereich zu sehen sein, der von dem Licht herrührt, das an den Spiegeln vorbei fällt. Neben den Streifen des eigentlichen Interferenzmusters werden je nach Qualität und Sauberkeit von Laser und Linse noch weitere Interferenzstreifen und Ringe zu sehen sein. Eine Abgrenzung, welche Streifen tatsächlich durch die Spiegel verursacht werden, ist leicht möglich, indem die Rändelschraube (5) verstellt wird. Nur die Streifen die dabei

ihre Breite ändern sind „richtige“ Interferenzstreifen. Ihr Abstand sollte von ca. 1-4 mm einstellbar sein.

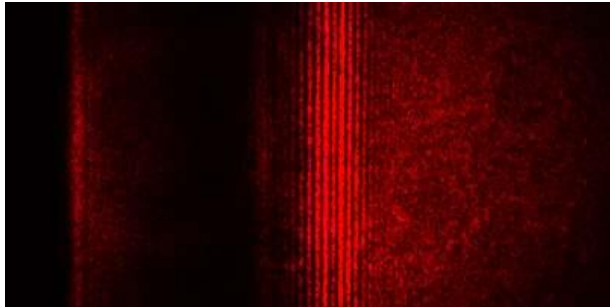


Abb. 5: Interferenzbild auf dem Beobachtungsschirm. Am linken Rand ist noch ein heller Streifen zu erkennen, der von dem Licht herrührt, das an den Spiegeln vorbeifällt.

4.2.1 Versuchsdurchführung

Während eines Versuchs wird zunächst der Abstand D der Interferenzstreifen bestimmt. Beträgt beispielsweise der Abstand zwischen 7 Maxima 24 ± 1 mm, dann ist $D = 3,43$ mm.

Danach wird die 200mm-Linse montiert und ggf. etwas verschoben, bis zwei eindeutige Lichtflecken, die etwa 3 - 15 mm Abstand haben, auf dem Schirm erscheinen (das am Spiegel vorbei fallende Licht erzeugt einen dritten Fleck in größerem Abstand weiter links). Dabei ist es für die Messung evtl. vorteilhaft, wenn die Lichtflecken etwas größer sind, als die Minimalgröße bei scharf gestellter Linse. In diesem Beispiel beträgt der Abstand der Lichtflecken $A = 6,8$ mm und wurde mit einem Messschieber bestimmt.

Die letzte für die Auswertung erforderliche Größe ist die Entfernung b zwischen der 200mm-Linse und dem Beobachtungsschirm ($b = 2700$ mm).

4.2.1 Versuchsauswertung

Wie bereits anhand von Abb. 2 erläutert wurde, kann das Interferenzbild als Überlagerung des Lichts von zwei Punktlichtquellen P_1 und P_2 interpretiert werden. Damit auf dem Beobachtungsschirm ein Intensitätsmaximum entsteht muss der Gangunterschied d zwischen zwei Strahlen, die von P_1 und P_2 ausgehen, genau der Wellenlänge λ oder einem ganzzahligen Vielfachen von λ entsprechen. Mit den in Abb. 6 definierten Größen ergibt sich

$$\frac{d}{a} = \sin \varphi \quad (1)$$

und

$$\frac{D}{L} = \tan \varphi. \quad (2)$$

Bei hinreichend kleinen Winkeln φ ist $\sin \varphi \approx \tan \varphi$. Weiterhin sei $d = \lambda$ (erstes Maximum). Damit folgt aus den Gln. 1 und 2:

$$\lambda = a \frac{D}{L} \quad (3)$$

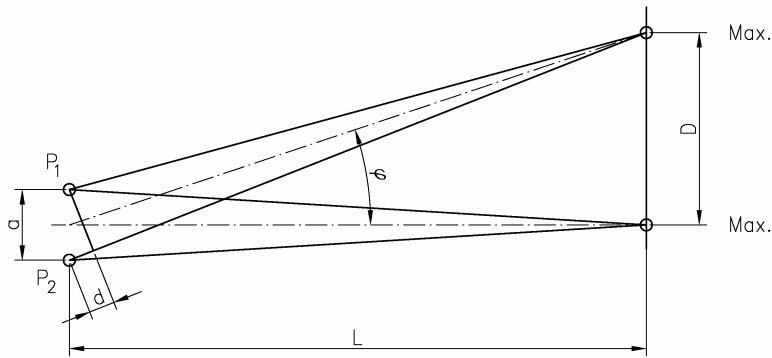


Abb. 6: Entstehung von Intensitätsmaxima, wenn $d = n \lambda$ ist (n ist ganzzahlig).

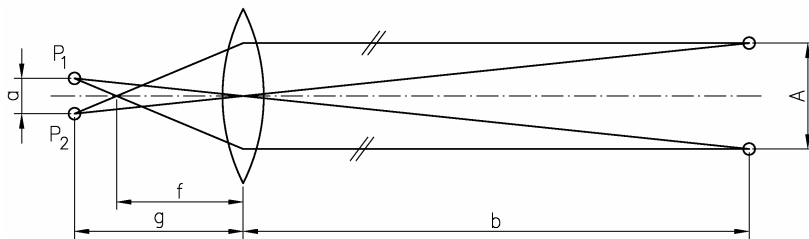


Abb. 7: Bestimmung des Abstandes a der virtuellen Punktlichtquellen unter Verwendung einer Linse (z. B. $f = 200$ mm). Die Abstände A und b werden gemessen.

Die Bestimmung des Abstandes a der virtuellen Punktlichtquellen ist in Abb. 7 dargestellt. Durch Anwendung Strahlensatzes ergeben sich direkt die beiden Beziehungen

$$\frac{a}{A} = \frac{g}{b} \quad (4)$$

und

$$\frac{a}{A} = \frac{g-f}{f}. \quad (5)$$

Gleichsetzen der beiden Gleichungen zur Elimination von a/A und Auflösen nach g ergibt

$$g = \frac{bf}{b-f}. \quad (6)$$

Wird dies in Gl. 4 eingesetzt, kann a bestimmt und in Gl. 3 eingesetzt werden. Die noch fehlende Länge L in Gl. 3 ergibt sich gemäß Abb. 7 aus der Summe der beiden Abstände g und b . Alles in Gl. 3 eingesetzt liefert:

$$\lambda = \frac{ADf}{b^2}$$

Für das Beispiel ergibt sich $\lambda = 640$ nm, was gut mit der Herstellerangabe für den verwendeten Laser übereinstimmt (632,8 nm).