

Beugung an Kreisblenden und kreisförmigen Öffnungen - Poissonscher Fleck - (ArtikelNr.: P1412201)

Curriculare Themenzuordnung



Schwierigkeitsgrad



Mittel

Vorbereitungszeit



10 Minuten

Durchführungszeit



20 Minuten

empfohlene Gruppengröße



2 Schüler/Studenten

Zusätzlich wird benötigt:

Versuchsvarianten:

Schlagwörter:

Einführung

Einleitung

Werden kreisförmige Öffnungen mit kohärentem Licht beleuchtet, so entstehen durch Beugung und Interferenz abwechselnd konzentrische helle und dunkle Kreise. Die Intensität der Interferenzmaxima nimmt mit zunehmender Entfernung vom Zentrum rasch ab.

Werden die kreisförmigen Öffnungen gegen Kreisblenden ausgetauscht, so zeigen sich ähnliche Interferenzmuster. An jedem Ort auf der Mittelachse des geometrischen Schattenbereichs ist immer Helligkeit zu beobachten.

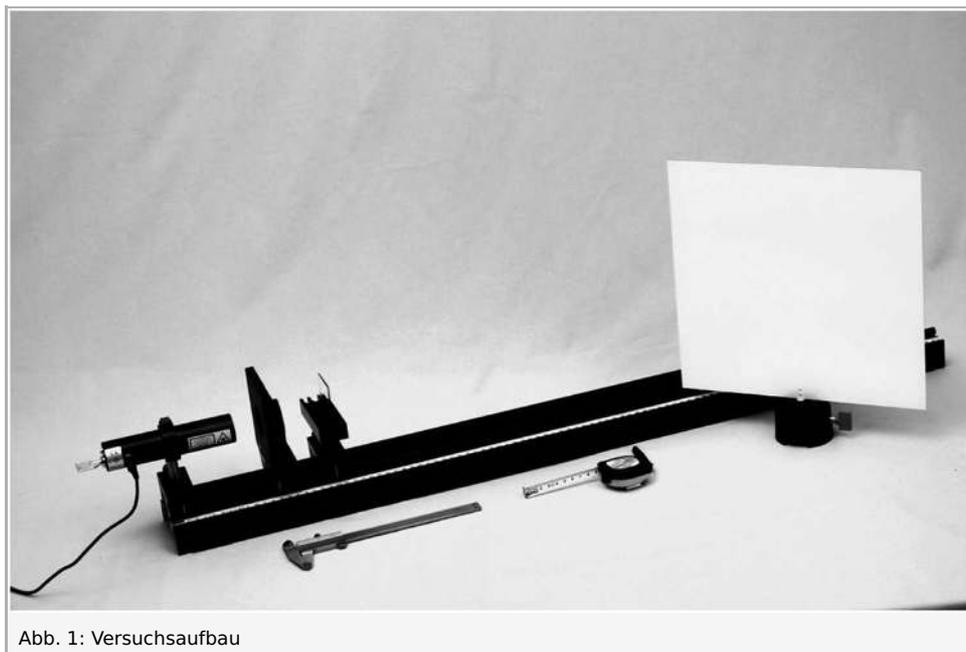


Abb. 1: Versuchsaufbau

Material

Position	Material	Bestellnr.	Menge
1	Optische Profilbank, l = 1000 mm	08370-00	1
2	Diodenlaser 0,2 / 1,0 mW, 635 nm	08760-99	1
3	Halter für Diodenlaser	08384-00	1
4	Reiter für optische Profilbank	09822-00	2
5	Fassung mit Skale auf Reiter	09823-00	1
6	Linse in Fassung, f = - 50 mm	08026-01	1
7	Plattenhalter für 3 Objekte	09830-00	1
8	Blende mit Beugungsobjekten	08577-02	1
9	Schirm, Metall, 300 mm x 300 mm	08062-00	1
10	Tonnenfuß PHYWE	02006-55	1
11	Messschieber (Schieblehre), Edelstahl	03010-00	1
12	Maßband, l = 2 m	09936-00	1

Aufgaben

Erzeuge mit verschiedenen Lochblenden "Poissonscher Fleck" Interferenzmuster und berechne daraus ihren Durchmesser.

Aufbau und Durchführung

Aufbau

Abb. 1 zeigt den Versuchsaufbau.

Die Strichmarken der Reiter zur Halterung der Komponenten haben auf der optischen Bank folgende Positionen.

- Reiter mit Diodenlaser bei 2 cm
- Reiter mit Plattenhalter und eingesetzter Blende mit Beugungsobjekten bei 20 cm

Zur Untersuchung der Beugung an Kreisblenden ist es vorteilhaft, zur vergrößerten Abbildung des Beugungsbildes die Zerstreuungslinse $f = -50 \text{ mm}$ hinzuzufügen. Diese wird in die Fassung mit Skale zwischen Laser und Beugungsobjekt bei ca. 13 cm eingesetzt.

In den Plattenhalter wird die Blende mit den Beugungsobjekten so eingeschoben, dass die Reihen der Lochbzw. Kreisblenden senkrecht stehen. Der Schirm wird im Tonnenfuß befestigt und ca. (3 – 4) m von der Blende entfernt aufgestellt.

Durchführung

Auf dem Schirm, dessen Flächennormale in Richtung der optischen Achse zeigt, wird mit Tesafilm ein Blatt Schreibmaschinenpapier befestigt.

Durch seitliches Verschieben der Blende und Höhenverstellung des Plattenhalters sind zuerst nacheinander die Lochblenden symmetrisch mit Laserlicht auszuleuchten.

Bei abgedunkeltem Raum sind auf dem Schirm nun konzentrische helle und dunkle Kreise zu beobachten (siehe Abb. 3).

Zur Bestimmung der Durchmesser der Minimakreise werden diese mit einem wasserlöslichen Filzstift geeignet markiert.

Der Abstand r zwischen Beugungsobjekt und Schirm ist mit dem Maßband zu bestimmen. Die Durchmesser der Minimakreise sind mit Hilfe der Schieblehre zu ermitteln.

Anschließend werden die Kreisblenden ausgeleuchtet, deren Interferenzmuster auf dem Schirm zu beobachten sind.

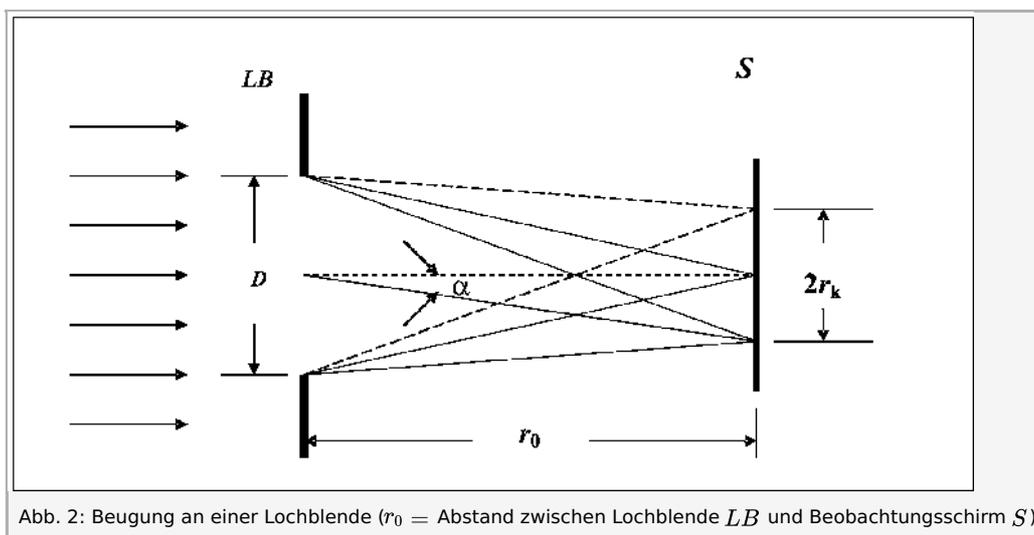
Sollte der Experimentierraum nicht vollständig abzudunkeln sein, kann der Laser auch zum Hervorheben der Interferenzmuster im 1-mW-Modus betrieben werden. **DABEI IST ABER UNBEDINGT DARAUFGU ACHTEN, DASS NICHT DIREKT IN DEN LASERSTRAHL GEBLICHT WIRD.**

Beobachtung und Ergebnis

Beobachtung

Wird eine ebene Wellenfront durch ein Hindernis gestört, so gehen nach dem Huygensschen Prinzip von allen Orten der Störung Elementarwellen aus, die durch Überlagerung miteinander interferieren.

Vom Rand eines kreisförmigen Hindernisses gehen die gebeugten Strahlen gleichphasig aus. Bei Überlagern irgendwo auf der Mittelachse sind diese Strahlen aufgrund ihrer gleichen Wege ebenfalls stets gleichphasig (Abb. 2). Somit herrscht auf der Mittelachse immer Helligkeit.



Haben die gebeugten Strahlen unterschiedliche Laufwege, so können sie je nach Wegunterschied konstruktiv oder destruktiv miteinander interferieren.

Wegen der radialsymmetrischen Geometrie besteht das Interferenzmuster aus konzentrischen hellen und dunklen Kreisen.

Die mathematische Abhandlung der Beugung an kreisförmigen Hindernissen ist sehr aufwendig und anspruchsvoll. Deshalb werden hier ohne Herleitung die Bedingungen für die ersten drei dunklen Kreise angegeben. Sind D der Blendendurchmesser, α der Beugungswinkel und λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts, so gilt für die Auslöschung:

$$\sin \alpha_1 = 1,22 \frac{\lambda}{D}; \sin \alpha_2 = 2,232 \frac{\lambda}{D}; \sin \alpha_3 = 3,238 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

Für den Beugungswinkel der Minima eines Einfachspaltes gilt eine ähnliche Bedingung. Ersetzt man nämlich in (1) den Durchmesser D einer Lochblende durch die Breite b eines Spaltes, so sind bis auf die konstanten Faktoren die Minimabedingungen für beide Beugungsobjekte identisch.

Bezeichnet man mit r_k die Radien der Minimakreise und ist r_0 der Abstand des Beugungsobjektes zum Beobachtungsschirm, so gilt mit $r_0 \ll r_k$: $\sin \alpha \approx r_k / r_0$. Mit dieser Beziehung und (1) erhält man schließlich aus den ersten drei dunklen Kreisen für den Durchmesser einer Blende:

$$D = 1,22 \frac{r_0 \cdot \lambda}{r_1} = 2,232 \frac{r_0 \cdot \lambda}{r_2} = 3,238 \frac{r_0 \cdot \lambda}{r_3} \quad (2)$$

Auswertung

Bei Beugung an Lochblenden beobachtet man Interferenzmuster, die abwechselnd aus hellen und dunklen konzentrischen Kreisen bestehen. Mit zunehmender Entfernung vom stets hellen Zentrum nimmt die Intensität der Maxima rasch ab. Außerdem rücken die Kreise immer enger zusammen. Nimmt der Durchmesser der Lochblende zu, so verkleinern sich die Radien der Beugungsringe.

Für Lochblenden mit drei verschiedenen Durchmessern D_n wurden die in der Tabelle angegebenen Durchmesser $2r_k$ der dunklen Kreise gemessen und daraus die Blendendurchmesser D_{exp} nach (2) berechnet.

k	D_n / mm	$2 r_k / \text{mm}$	$D_{\text{exp}} / \text{mm}$
1	0,25	20,0	0,25 ₈
2		35,0	0,26 ₇
1	0,5	10,8	0,47 ₃
2		18,8	0,49 ₇
3		26,5	0,51 ₂
1	1,0	5,0	1,02 ₂
2		9,0	1,03 ₉
3		13,0	1,04 ₄

Tabelle: $r_0 = 3300 \text{ mm}$; $\lambda = 635 \text{ nm}$

Die Beugungserscheinungen an Kreisblenden sind prinzipiell mit denen an Lochblenden vergleichbar. Unabhängig vom Durchmesser des Hindernisses beobachtet man im Zentrum des geometrischen Schattens einen hellen Fleck, den sog. Poissonschen Fleck. Um diesen liegen wiederum abwechselnd konzentrische helle und dunkle Kreise. Ändert man den Abstand des Schirms zum Beugungsobjekt, so bleibt der Poissonsche Fleck immer erhalten.

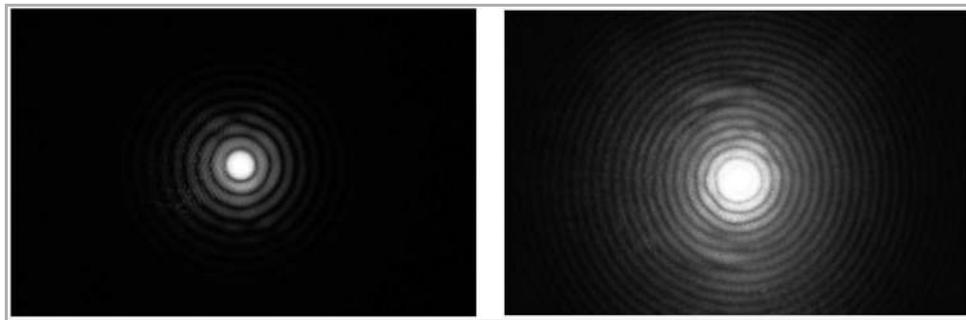


Abb. 3: Interferenzmuster zweier Lochblenden
3a: links: $D_1 = 0,5 \text{ mm}$, 3b: rechts: $D_2 = 1,0 \text{ mm}$

Anmerkung

Die Beugungsbedingungen an kreisförmigen Öffnungen führen zu einer tiefgreifenden Konsequenz für das Auflösungsvermögen optischer Instrumente.

So wirkt z.B. die Fassung der Objektivlinse eines Mikroskops als beugende Kreisöffnung.

Zwei eng benachbarte Objekte können mit einem Mikroskop nur dann noch getrennt beobachtet werden, wenn das zentrale Helligkeitsmaximum des Beugungsbildes des einen Objekts mit dem ersten Helligkeitsminimum des Beugungsbildes des anderen Objekts zusammenfällt.

Eine tiefergehende Betrachtung zeigt, dass das sog. Auflösungsvermögen eines Mikroskops proportional mit dem Durchmesser der Objektivlinse und umgekehrt proportional mit der Wellenlänge des verwendeten Lichtes steigt.