

Versuch O04: Fraunhofer-Beugung an einem und mehreren Spalten

23. Februar 2023

I. Lernziele

- Huygen'sches Prinzip und optische Interferenz
- Photoelektronik als Messmethode

II. Physikalische Grundlagen

Grundlage der *geometrischen Optik* ist die ungehinderte Ausbreitung des Lichtes in einem Medium. Auch Übergänge von einem in ein anderes Medium lassen sich damit beschreiben (Brechung). Trifft das Licht nun aber auf undurchsichtige Hindernisse im Strahlengang, so erfordert dies die Behandlung mittels *Wellenoptik*. Solche Prozesse werden *Beugung* genannt.

Den Punkt, an welchem die Beugungerscheinung geschieht, bezeichnet man als Aufpunkt. Liegen Quelle und Aufpunkt unendlich weit voneinander entfernt, so spricht man von *Fraunhofer-Beugung*. Beugung bei divergent einfallenden Strahlen, also mit einer punktförmigen Lichtquelle in endlicher Entfernung, heißt *Fresnel-Beugung*. In diesem Versuch wird ausschließlich Fraunhofer-Beugung untersucht.

II.1. a) Einfachspalt

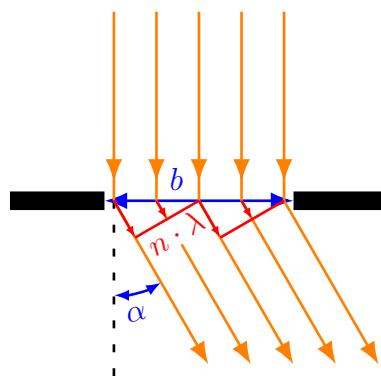


Abbildung 1: Einfachspalt der Breite b .

Die Intensitätsverteilung der Beugungsfigur an einem Spalt der Breite b lautet

$$I = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2, \quad \text{wobei} \quad u = \frac{\pi \cdot b \cdot \sin \alpha}{\lambda} \quad \text{ist.} \quad (1)$$

Dabei ist α der Winkel gegen die ursprüngliche Einfallsrichtung, λ die Wellenlänge, und u der Gangunterschied.

Intensitätsminima erhält man demnach für $\sin u = 0$, also für $u = n \cdot \pi$, wobei n eine ganze Zahl ist. Mit dem Ausdruck für u aus Gl. (1) ergibt sich dann für die Winkelpositionen der **Minima**:

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{n \cdot \lambda}{b}\right) \quad (2)$$

Stellt man im Abstand a hinter dem Spalt einen Schirm auf, so gilt für die räumliche Lage der **Minima** um das 0. Maximum:

$$\Delta x_n \approx n \cdot \frac{\lambda \cdot a}{b} \quad \leftarrow \quad \sin(\alpha) \approx \frac{\Delta x_n}{a} \quad (3)$$

Entsprechend gilt für die Lage der **Maxima**:

$$\Delta x_n \approx \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda \cdot a}{b} \quad (4)$$

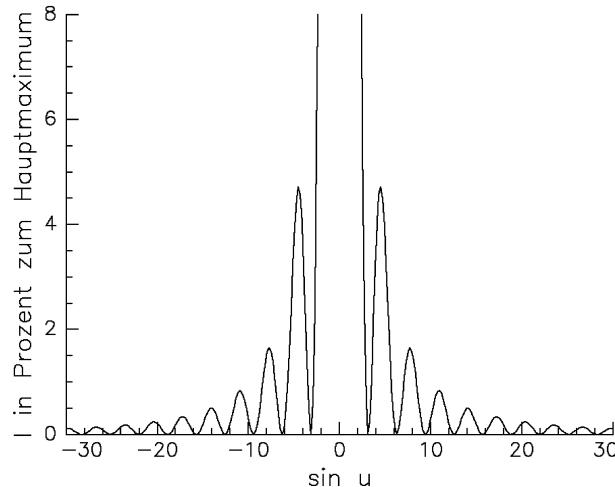


Abbildung 2: Intensitätsverteilung: Beugung am Einfachspalt.

II.2. b) Mehrfachspalt

Die Beugung an mehreren Spalten kann als Interferenz der Beugungerscheinungen entsprechend vieler Einzelspalte verstanden werden. In der Richtung α hinter N Spalten der Breite b des Mittenabstandes d beobachtet man theoretisch und praktisch folgende Intensitätsverteilung:

$$I = I_0 \left(\frac{\sin u}{u} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin(N \cdot v)}{\sin(v)} \right)^2, \quad (5)$$

$$\text{wobei } u = \frac{\pi \cdot b \cdot \sin \alpha}{\lambda} \quad \text{und} \quad v = \frac{\pi \cdot d \cdot \sin \alpha}{\lambda} \quad \text{sind.} \quad (6)$$

Der erste Term entspricht ganz dem der Beugung am Einzelspalt, während der zweite Term zusätzlich die gegenseitig interferierende Wirkung der N Spalte beschreibt.

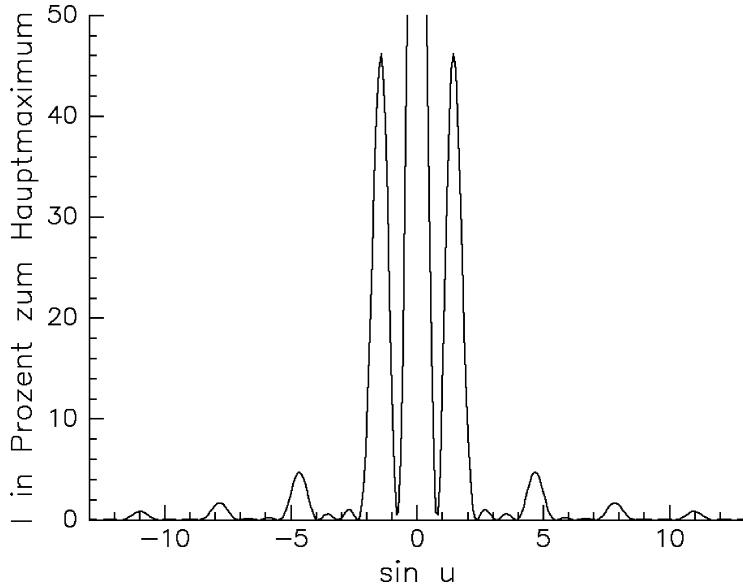


Abbildung 3: Intensitätsverteilung bei Beugung am Zweifachspalt.

Man erhält Minima:

- an allen Stellen, an denen schon beim Einzelspalt Minima auftreten:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{n \cdot \lambda}{b} \right) \quad \leftarrow \quad u = n \cdot \pi \quad \leftarrow \quad \sin u = 0 \quad (7)$$

- im Bereich der Einzelspaltmaxima durch Interferenz der Strahlen aus verschiedenen Spalten:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{n \cdot \lambda}{N \cdot d} \right) \quad \leftarrow \quad N \cdot v = n \cdot \pi \quad \leftarrow \quad \sin(N \cdot v) = 0 \quad (8)$$

Man erhält Maxima:

- an Stellen der Einzelspaltmaxima, sofern die Bedingung (8) für ein Minimum der Vielstrahlinterferenz nicht erfüllt ist:

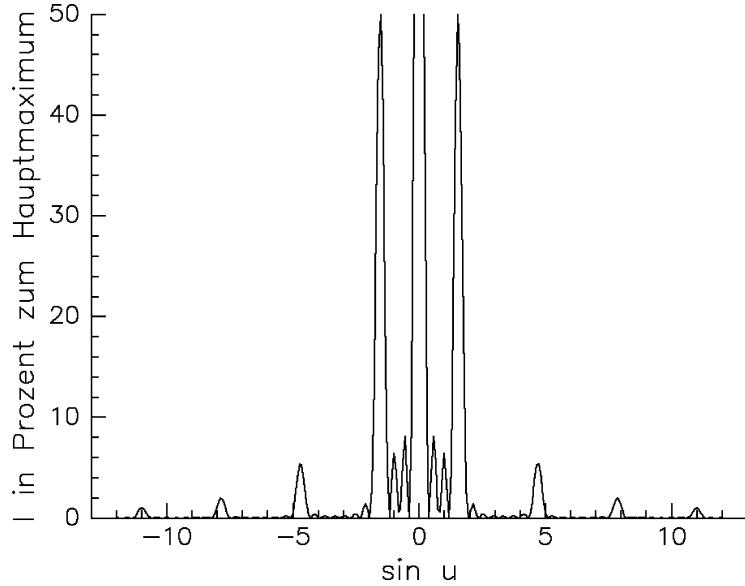


Abbildung 4: Intensitätsverteilung bei Beugung am Vierfachspalt.

$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2} \right) \cdot \frac{\lambda}{b} \neq \frac{n \cdot \lambda}{N \cdot d} \quad (9)$$

- an Stellen, an denen der Nenner im zweiten Term von Gl. (5) gemeinsam mit dem Zähler Null wird.

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{n \cdot \lambda}{d} \right) \quad \leftarrow \quad v = n \cdot \pi \quad \leftarrow \quad \sin v = 0 \quad (10)$$

II.2.1. Intensitätsverteilung im Beugungsspektrum:

Die Intensität der Maxima beim Mehrfachspalt ist proportional zu N^2 . Man bezeichnet sie als **Hauptmaxima**. Zwischen diesen liegen jeweils $N - 2$ **Nebenmaxima**.

Je mehr Spalte zusammenwirken, desto schwächer werden die Nebenmaxima bei gleichzeitigem Intensitätszuwachs der Hauptmaxima.

Die Intensität der Hauptmaxima wird aber auch noch von dem Faktor in Gl. (5) beeinflusst, der die Beugung an einem Spalt beschreibt. Dadurch werden die Hauptmaxima um so lichtschwächer, je weiter sie von der nullten Ordnung entfernt liegen.

Fällt ein Hauptmaximum mit einem Minimum des Einzelpaltes zusammen, so fällt dieses Hauptmaximum ganz aus.

III. Meßanordnung

Mit einem Laser werden unterschiedliche Spaltsysteme (Einfach-, Zweifach- und Vierfachspalt) bestrahlt. Auf einem hinter dem Spaltsystem stehenden Schirm läßt sich die Beugungsfigur auffangen. Diese kann mit einer Photodiode punktweise vermessen werden. Der Strom, der durch die Photodiode bei einer fest angelegten Spannung fließt, ist proportional zur Intensität des einfallenden, monochromatischen Lichtes. Der Strom wird mit einem zwischengeschalteten Meßverstärker verstärkt und mit einem Drehspulinstrument angezeigt.

Auf den Drehrädern befinden sich verschiedene Einzel- und Mehrfachspaltsysteme. Mit Hilfe des Stellrades läßt sich das jeweils gewünschte Spaltsystem auswählen.

Tipps zur Durchführung:

- Minimieren Sie den Streulichteinfall in die Photodiode während der folgenden Messungen.
- Maximieren Sie die Lichtausbeute, indem Sie sich daran erinnern, dass die Intensität von Licht mit dem Quadrat des Abstandes von der Lichtquelle abnimmt.
- Achten Sie darauf, daß sich die Photodiode zu jeder Zeit vollständig im Bereich des Beugungsbildes befindet, da ansonsten die gemessene Stromstärke rasch zusammenbricht.

Vorsicht!

Schauen Sie auf keinen Fall direkt in den Laserstrahl. Dies kann zu irreversiblen Verletzungen der Netzhaut bis hin zur Erblindung führen.

Ebenso wichtig ist es, dass die Möglichkeit für andere im Raum befindliche Personen zufällig in den Laser zu schauen, ausgeschlossen wird.

IV. Aufgaben

1. Bestimmen Sie die Wellenlänge des verwendeten Laserlichts. Messen Sie dazu die Positionen von fünf möglichst weit außen liegenden Minima auf dem Schirm, jeweils vom linken bis zum rechten Minimum und halbieren sie dann den Wert um Δx_n zu erhalten. Ermitteln Sie aus den daraus berechneten Werten für die Wellenlänge den Mittelwert und die Standardabweichung.
2. Bestimmen Sie mithilfe der nun hinzugefügten Elektronik die Intensität der Maxima erster und zweiter Ordnung, wobei eine Intensität von 100% für das Maximum nullter Ordnung vorausgesetzt wird.
3. Vermessen Sie anschließend geeignete Ausschnitte der Beugungsfiguren am Zweifach- und am Vierfachspalt.

Zum Ausmessen der Beugungsfiguren müssen *deutlich mehr* Punkte aufgenommen werden als nur ein einziger pro Minimum und Maximum. Diese Meßpunkte dürfen der Einfachheit halber (bezogen auf die Abszisse) äquidistant sein.

Tragen Sie danach auf Millimeterpapier die Intensität (d.i. die dazu proportionale Stromstärke) über der horizontalen Position x auf. Um das Wesentliche hervortreten zu lassen, wählen Sie den Ordinatenmaßstab so, daß die Hauptmaxima höherer Ordnung in genügender Höhe erscheinen. Das Hauptmaximum nullter Ordnung kann dabei abgeschnitten werden (vergleiche Beugungsspektren in der Anleitung). Außerdem dürfen an passender Stelle Skalenwechsel vorgenommen werden, um schwache Maxima durch vertikale Streckung "hervorzuzoomen."

4. Erläutern Sie die beobachteten Beugungsfiguren. Weisen Sie hierbei auf deutlich sichtbare bzw. eher schlecht oder gar nicht erkennbare Maxima und Minima hin und erklären Sie ggf., warum diese Ihrer Meinung nach schlecht zu erkennen sind.

V. Fragen und Diskussionspunkte

- Erläutern Sie folgende Begriffe: Interferenz, Gangunterschied, Youngscher Versuch.
- Warum wird ein Laser verwendet?
- Warum bleiben unter der Voraussetzung gleicher Spaltbreiten bei der Beugung am Mehrfachspalt die Minima des Einfachspaltes immer erhalten?

- Unter welchen Bedingungen kann man Beugung vernachlässigen, also die geometrische Optik anwenden? (Hinweis: Betrachte das Verhältnis von Wellenlänge zu Spaltbreite in Abb. 1).