

## 1.5 Fraunhoferbeugung

### 1 Grundlagen

Fällt Licht auf eine Öffnung, so kommt es im allgemeinen zu Beugungs- und Interferenzerscheinungen. Ist das einfallende Licht parallel (ebene Wellenfronten), so spricht man von *Fraunhoferbeugung*. Dies ist immer der Fall, wenn die Lichtquelle im Unendlichen liegt oder durch eine Linse dorthin „verschoben“ wird. Bei Einfall von nichtparallelem Licht spricht man von *Fresnelbeugung*.

Die Theorie der Fraunhoferbeugung am Einfachspalt liefert bei Einfall von monochromatischem, kohärentem Licht für die Intensitätsverteilung  $I$  hinter dem Spalt die Beziehung

$$I = I_0 \cdot \left| \frac{\sin u}{u} \right|^2, \quad (1)$$

mit

$$u = \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin(\alpha). \quad (2)$$

Hierbei sind  $I_0$  die Intensität des nullten Maximums,  $d$  die Spaltbreite,  $\alpha$  der Winkel zur optischen Achse und  $\lambda$  die Wellenlänge des Lichtes. Die Intensitätsminima befinden sich bei  $u_{\min} = n \cdot \pi$  bzw. bei

$$\sin \alpha = n \cdot \lambda / d \quad \text{mit} \quad n = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (3)$$

Für die Beugung an  $N$  äquidistanten Spalten gilt

$$I = I_0 \cdot \left| \frac{\sin u}{u} \right|^2 \cdot \left| \frac{\sin(N \cdot v)}{\sin v} \right|^2, \quad (4)$$

mit

$$u = \frac{\pi d}{\lambda} \cdot \sin(\alpha) \quad \text{und} \quad v = \frac{\pi b}{\lambda} \cdot \sin(\alpha), \quad (5)$$

wobei  $b$  der Spaltabstand, gemessen von Spaltmitte zu Spaltmitte ist.

In diesem Versuch soll die Fraunhoferbeugung am Einfach- und am Doppelspalt untersucht werden. Im ersten Versuchsteil soll die Wellenlänge von rotem Licht unter Verwendung einer Glühlampe bestimmt werden. Im zweiten Versuchsteil soll die Intensitätsverteilung einer mit Laserlicht erzeugten Beugungsfigur ausgemessen werden.

## 2 Aufbau und Durchführung

### 2.1 Beugung am Einzelspalt unter Verwendung von natürlichem Rotlicht

Für die Herleitung von Gleichung (1) ist es wesentlich, dass alle Elementarkugelwellen in der Spaltebene mit gleicher Phase schwingen, bzw. dass das einfallende Licht ebene Wellenfronten besitzt. Diese Bedingung muss im Aufbau berücksichtigt werden. Das von der Glühlampe kommende Licht muss zunächst in paralleles Licht verwandelt werden. Dazu bildet man die Glühwendel mit einer kurzbrennweitigen Linse auf einen Vorspalt ab,

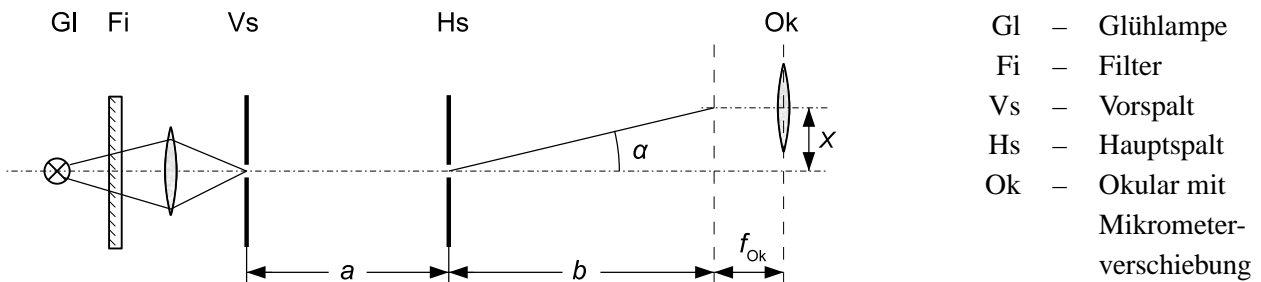


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Fraunhoferbeugung

der etwa einen halben Meter vor dem beugenden Spalt (Hauptspalt) steht (Abb. 1). Das auf den Hauptspalt fallende Licht ist dann hinreichend parallel, wenn die Spaltbreite  $s$  des Vorspaltes der Ungleichung

$$s \ll a \cdot \lambda / d \quad (6)$$

genügt, wobei  $a$  der Abstand von Vor- zu Hauptspalt ist. Dies bedeutet, dass die Differenz der Abstände zweier

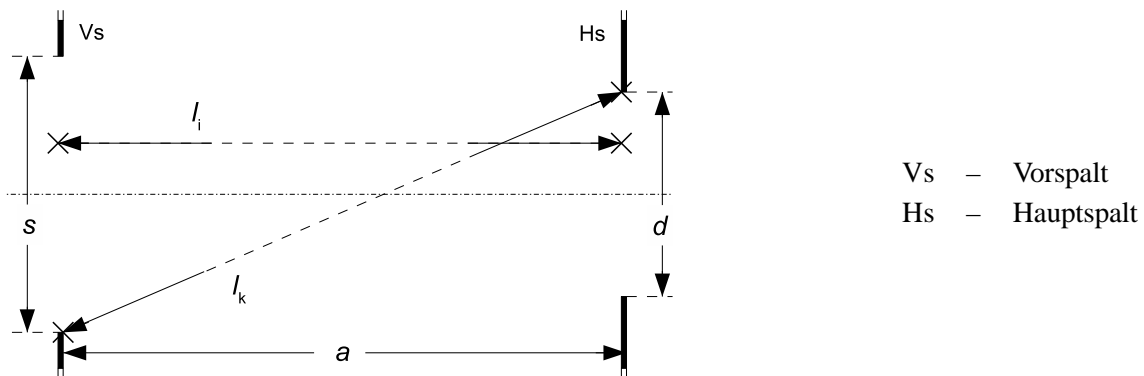


Abbildung 2: Verdeutlichung der Kohärenzbedingung

beliebiger Punktpaare  $(i, k)$  in beiden Spalten klein gegenüber der Wellenlänge ist (Abb. 2):

$$|l_i - l_k| \ll \lambda \quad (7)$$

### Aufbau und Justierung:

- Bauen Sie die Lichtquelle bestehend aus Lampe, Filter, Linse und Vorspalt auf. Sammeln Sie hierbei mit der Linse soviel Licht wie möglich auf dem Vorspalt. Stellen Sie den Hauptspalt ca. 50cm hinter dem Vorspalt (Kohärenz) und das Okular nochmals ca. 70cm hinter dem Hauptspalt auf.
- Öffnen Sie zur Justierung des Okulars die Spalte auf ca. 1 mm und verschieben Sie das Okular mit der Mikrometerschraube solange bis rotes Licht zu sehen ist.
- Verringern Sie nun die Breite des Hauptspaltes, bis die Beugungserscheinung zu erkennen ist. Stellen Sie ihn so ein, dass für die Intensitätsminima dritter Ordnungen der Okularfahrweg möglichst aufgenutzt wird. Verringern Sie die Breite des Vorspaltes, so dass das Beugungsbild minimale Intensität hat.

**Aufgaben:**

1. Bestimmen Sie die Abstände  $2 \cdot x$  von linkem und rechtem Minima der ersten drei Beugungsordnungen. Wegen des toten Gangs der Spindel des Okulartriebes ist sie nur in eine Richtung zu drehen. Fahren Sie das Okular also zunächst über eine der dritten Beugungsordnungen hinaus und messen Sie dann die Positionen  $x$  in einem Zug aus.
2. Messen Sie die Längen  $a$  und  $b$  ihres Aufbaus. Bedenken Sie, dass die Bildebene, in der die Beugungsfigur betrachtet wird, irgendwo zwischen den beiden Linsen des Okulars liegt.
3. Die Spaltbreiten  $s$  und  $d$  sind folgendermaßen zu messen. Nehmen Sie zur Bestimmung der Spaltbreite  $s$  des Vorspaltes das Okular und den Hauptspalt von der optischen Bank und bilden Sie ihn mit einer Linse scharf auf den Schirm vor dem Fenster ab. Messen Sie Bildweite  $c$ , Gegenstandsweite  $g$  und Bildhöhe  $B$  (Breite des Bildes des Spaltes) aus und bestimmen Sie  $s$  (Gegenstandshöhe  $G$ ) aus der einfachen Linsenformel

$$\frac{B}{c} = \frac{G}{g}.$$

Ersetzen Sie den Vor- durch den Hauptspalt und bestimmen Sie analog Hauptspaltebreite  $d$ .

4. Berechnen Sie die Filterwellenlänge  $\lambda$  gemäß Gleichung (3). Hierbei ergibt sich  $\sin \alpha$  aus den geometrischen Abmessungen nach

$$\sin \alpha = \frac{x}{\sqrt{x^2 + b^2}} \approx \frac{x}{b}. \quad (8)$$

Berücksichtigen Sie für den Fehler die Unsicherheiten in allen gemessenen Strecken.

5. Verifizieren Sie mit den gewonnenen Größen die Kohärenzbedingung (7). Leiten Sie dazu zunächst anhand von Abbildung 2 mit Hilfe einer Taylorentwicklung 1. Ordnung folgende Beziehung her:

$$|l_i - l_k| \approx \frac{1}{2l_i} \cdot \left(\frac{d+s}{2}\right)^2. \quad (9)$$

**2.2 Beugung am Einzel- und Doppelspalt mit Laserlicht**

In diesem Teil des Versuches sollen die Beugungsbilder eines Einzel- und eines Doppelspaltes mit Hilfe einer Photodiode aufgenommen werden. Hierzu wird ein Laser verwendet. Sein Licht ist bereits hochgradig kohärent und besitzt über den Strahlquerschnitt ebene Wellenfronten. Die Wellenlänge ist sehr scharf definiert und liegt bei

$$\lambda = 632,8 \text{ nm}.$$

Lässt man Laserlicht direkt auf die beugende Öffnung fallen, so kann man auf einem Schirm klar die entsprechende Beugungsfigur erkennen.

**Schauen Sie nie direkt in den Laserstrahl!  
Erblindungsgefahr!**

Die vom Laser emittierte Energiedichte reicht aus, die Netzhaut in dem Punkt in dem das Licht auftrifft irreversibel zu schädigen.

**Aufgaben:**

1. In der oberen Hälfte des Objektträgers befinden sich jeweils zwei Einzel- und zwei Doppelspalte. Nehmen Sie mit einer Photodiode die Beugungsfiguren des Einzelspaltes mit 0,1 mm Spaltbreite und die des Doppelspaltes mit 0,1 mm Spaltbreite und 0,3 mm Spaltabstand bei einem Abstand von Spalt zu Photodiode von 827 mm auf. Messen Sie hierbei jeweils die Intensitäten  $I$  und Orte  $x$  der Maxima und Minima und von jeweils mindestens zwei Orten zwischen benachbarten Extrema. Tabellieren Sie ihre Werte sowie die auf die Intensität der nullten Ordnung normierten Intensitäten  $\bar{I}$ . Die Beugungsbilder sind hierbei, da sie um die nullte Ordnung symmetrisch sind, nur in eine Richtung auszumessen.
2. Tragen Sie die normierten Intensitäten  $\bar{I}$  in die Ihnen ausgehändigten Diagramme ein, in denen bereits die nach den Gleichungen (1) und (4) berechneten theoretischen Kurven dargestellt sind und vergleichen Sie sie miteinander.

**Literatur:**

Bergmann-Schaefer, Band III Optik, §§ 3.8 und 3.10 (8. Aufl.)