



# Beugung

---

## 1 Lernziele

---

Kohärenz, Interferenz und Beugung, Beugungsbild eines realen Gitters, Bestimmung der Laserwellenlänge aus Beugungsbild, Überlagerung verschiedener Beugungsstrukturen, Umgang mit LASER

---

## 2 Vorausgesetzte Kenntnisse

---

1. Huygens'sches Prinzip; Eigenschaften und Unterschiede der Beugung an Spalt, Doppelspalt und Gitter; Beugungsbild einer Lochblende; Kohärenz
2. Laser: spontane und induzierte Emission, Laser-Prinzip, optischer Resonator, **Laserschutz**

---

## 3 Literatur

---

- Gerthsen: *Gerthsen Physik*
- Alonso, Finn: *Physik*
- Bergmann, Schaefer: *Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. 3: Optik*
- Hering, Martin, Stohrer: *Physik für Ingenieure*
- Hecht: *Optik*
- Feynman: *The Feynman lectures on physics Bd. I: Mainly mechanics, radiation, and heat*
- Westphal: *Physik*
- Literaturmappe

Beachten Sie das Merkblatt zum Laserschutz!

---

## 4 Grundlagen

---

Unter *Beugung* versteht man die Änderung der Ausbreitungsrichtung einer Lichtwelle beim Passieren eines Hindernisses. Dieses Phänomen ist mit Hilfe des *Huygens'schen Prinzips* zu erklären. Als neue Wellenfronten in Frage kommen alle Einhüllenden der Elementarwellenfronten mit einem festen Gangunterschied von  $n \cdot \lambda$ , gleichbedeutend mit festen Phasenunterschieden von  $n \cdot 2\pi$  bzw. ganzen Vielfachen der Schwingungsperiode. Das heißt, nicht nur in Vorwärtsrichtung ergeben sich solche Einhüllende, sondern in bestimmten Winkeln  $\alpha_n$  entstehen auch „neue“ Wellenfronten. Je nach Abstand zwischen der Ebene, in der die Beugung stattfindet, und der Ebene, in der das Beugungsbild detektiert wird, unterscheidet man die drei Fälle

- *Nahfeld* oder *geometrische Optik*,
- *Fresnel-Beugung*,
- *Fraunhofer-Beugung* oder *Fernfeld*.

Von Fraunhofer'scher Beugung spricht man, wenn sich in der Beugungsanordnung einerseits die Lichtquelle und andererseits der Beobachtungsschirm im „Unendlichen“ befinden. In der Praxis erreicht man dies einerseits durch Verwendung paralleler Lichtbündel zur Beleuchtung des Hindernisses. Auf der anderen Seite stellt man den Schirm entweder möglichst weit entfernt auf (wie im vorliegenden Versuch), oder man bringt ihn in die Brennebene einer auf unendlich eingestellten Abbildungsoptik. Oft wird als Lichtquelle ein *Laser* verwendet, der kollimiertes und *kohärentes* Licht aussendet. *Kohärent* sind Wellen, die die gleiche Wellenlänge und eine feste Phasenbeziehung besitzen. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die *Interferenzerscheinungen*. Die *Sichtbarkeit* der Interferenzstreifen, der *Kontrast*, ist dabei ein Maß für den Grad der Kohärenz.

Bei der **Beugung am Gitter** treten Beugungsmaxima auf bei den Winkeln  $\alpha_n$ , für die konstruktive Interferenz eintritt. Das ist der Fall, wenn der Gangunterschied  $\Delta$  benachbarter Strahlen die Bedingung erfüllt

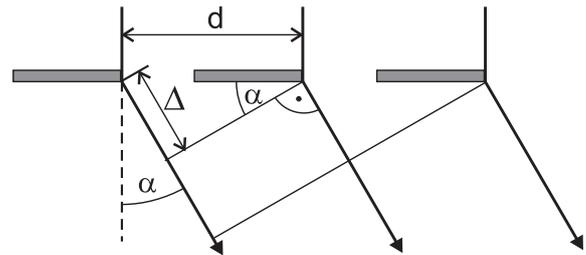
$$\Delta = n \cdot \lambda \quad (1)$$

Aus Abbildung 1 ist ersichtlich:

$$\Delta = d \cdot \sin \alpha \quad (2)$$

Für den Winkel des Beugungsmaximums  $n$ -ter Ordnung muss deshalb gelten:

$$\sin \alpha_n = n \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (3)$$



**Abbildung 1: Beugung am Gitter**

Dabei ist  $d$  die Gitterkonstante,  $\lambda$  die Wellenlänge des verwendeten Lichtes,  $n$  die Nummer der Beugungsordnung. Weiterhin werden die sichtbaren Maxima umso schärfer, je mehr Spalte beleuchtet werden.

Der *LASER* (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, Maiman 1960) ist eine Strahlungsquelle, die monochromatisches und kohärentes Licht mit hoher Intensität und Kollimierung liefert. Die Laser-Anordnung besteht aus zwei sehr genau parallel zueinander justierten Spiegeln (optischer Resonator, Fabry-Pérot), zwischen denen sich das Verstärkermedium befindet. Die Atome bzw. Moleküle des Verstärkermediums werden angeregt durch intensive Bestrahlung (optisches Pumpen) oder durch Anlegen einer Hochspannung (Gasentladung beim Gas-Laser).

Durch eine gezielte Anregung wird das thermische Gleichgewicht (Boltzmann-Verteilung) so weit gestört, dass eine Besetzungsinversion entsteht; d. h. ein höher liegendes Energieniveau ist stärker besetzt als ein tiefer liegendes Niveau. Übergänge zwischen diesen beiden Niveaus erfolgen überwiegend als *induzierte* oder *stimulierte* Emission. Dabei wird der Emissionsakt durch ein ankommendes Photon ausgelöst; die ausgesandte Lichtwelle ist nach Frequenz, Richtung und Polarisation mit der auslösenden Welle identisch und besitzt eine feste Phasenbeziehung zu ihr. Dieser Lichtverstärker erhält durch den optischen Resonator eine Rückkopplung. Der Resonator ist auf bestimmte Weglängen abgestimmt. Durch Vielfachreflexion entsteht ein scharf gebündelter Strahl, der durch den teildurchlässigen Spiegel austritt.

## 5 Hausaufgaben

Vor dem Praktikumstermin zu Hause zu erledigen:

1. Wie lässt sich die Wellenlänge eines Lasers mit einem Strichgitter bei bekannter Gitterkonstante bestimmen? Skizzieren Sie den Versuchsaufbau einschließlich der zu messenden Größen.

- 
2. **Studierende Bau-/Umweltingenieurwesen/Geodäsie/Angew. Geowiss.:** Diskutieren Sie Prinzipien und Anwendungen laserbasierter Verfahren für Bildgebung, Abstands- und Entfernungsmessung, die in Ihrem Fachgebiet von Bedeutung sind! Erste Hinweise für die eigene Recherche können Sie der O5-Literaturmappe entnehmen.

---

## 6 Präsenzaufgaben

---

1. Skizzieren Sie die Beugungsfigur des Strichgitters. Diskutieren Sie die Auffälligkeiten der Figur und deren Ursache. Welchen Einfluss hat die Breite der Gitterspalte auf das Beugungsbild?
2. Bestimmen Sie die Wellenlänge des frequenzverdoppelten Nd:YAG-Lasers unter Verwendung der Kleinwinkelnäherung. Die Gitterkonstante des gegebenen Strichgitters beträgt  $d = 10 \mu\text{m}$ .
3. Bestimmen Sie den Abstand der Rillen eines (transparenten) CD-Rohlings. Hierzu vermesse man die Beugungsfigur des an den Rillen der CD gebeugten Laserstrahls und berechne den Rillenabstand nach Beziehung (3). Achtung: Die Näherung für kleine Winkel ist hier nicht mehr gültig. Diskutieren Sie in wenigen Sätzen die Auffälligkeiten der Beugungsfigur.
4. Skizzieren Sie das Beugungsbild der 4-Loch-Blende und bestimmen Sie den Abstand und den Durchmesser der Löcher aus der Beugungsfigur.

Die Verlässlichkeit aller Messergebnisse soll durch Fehlerabschätzungen überprüft werden.

---

## 7 Versuchsdurchführung

---

- zu 6) Ausgehend von der Beugungsfigur am Einzelspalt führt man bei der Lochblende Korrekturfaktoren ein. Aus den Radien der dunklen Ringe berechne man den Lochdurchmesser  $D$  nach der Gleichung

$$\sin \alpha_z = z \cdot \frac{\lambda}{D}; \quad z = 1.22, 2.23, 3.24. \quad (4)$$

Den Ringen überlagert sich eine Kreuzstruktur, die man als Beugungsfigur zweier gekreuzter Doppelspalte auffassen kann. Daraus bestimme man die Lochabstände entsprechend Gleichung (3).

**Vorsicht!** Nicht direkt in den Laser-Strahl blicken! Keine spiegelnden Gegenstände in den Strahl bringen!