

Vorbereitung

Laser A

Stefan Schierle Carsten Röttele

Eigentliches Versuchsdatum: 03. 07. 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Brewsterwinkel	2
1.1 Brewster-Fenster	3
1.2 Brechungsindex aus Brewsterwinkel	3
2 Beugung am Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante	3
2.1 Beugung am Spalt	3
2.2 Beugung am Steg	4
2.3 Kreisöffnung, Kreisscheibe, Kante	4
2.4 Haardurchmesser	4
3 Beugung an Mehrfachspalt und Gittern	4
3.1 Doppelspalt	5
3.2 Beugung an Doppel und Dreifachspalt	5
3.3 Gitterkonstante	5
3.4 Kreuz- und Wabengitter	5
4 Abbildung nicht selbst leuchtender Gegenstände	6
5 Holographie	6

LASER

(Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)

In diesem Versuch wird ein He-Ne-Laser verwendet, deshalb sollte vorab dessen Funktion bekannt sein.

Beim He-Ne-Laser werden die Heliumatome durch emittierte Elektronen einer Glühkathode auf zwei mögliche Zustände angeregt. Diese angeregten Heliumatome können nun durch Stoßprozesse ihre Energie auf die Neonatome übertragen und regen diese somit an. Somit sind mehr Neonatome in einem angeregten Zustand als im Grundzustand (Besetzungsinversion). Springt ein angeregtes Ne-Atom wieder in seinen Grundzustand zurück, so emittiert es spontan ein Photon.

Der Spiegelresonator, in dem dieser Prozess stattfindet, sorgt dafür, dass die so emittierten Photonen wieder auf ein angeregtes Ne-Atom treffen können. Geschieht dies, so werden durch diese so genannte stimulierte Emission am Ne-Atom aus einem auftreffenden Photon, das absorbiert wird, zwei kohärente Photonen mit gleicher Wellenlänge (durch den Rücksprung und durch die überschüssige Energie beim Stoßprozess).

Das so erzeugte kohärente Licht des Lasers kann nun durch einen teils durchlässigen Resonatorspiegel den Resonator verlassen und somit als Laserlicht verwendet werden.

1 Brewsterwinkel

Der Brewsterwinkel ist der Winkel, unter dem für einfallendes p-polarisiertes Licht keine Reflektion auftritt. Dieser Winkel (θ_B) ist nur abhängig von den Brechungsindizes der beiden am Reflektionvorgang beteiligten Materialien n_1 und n_2 . Zur Berechnung des Brewsterwinkels lässt sich aus dem Snellischen Brechungsgesetz herleiten:

$$\begin{aligned} \frac{n_2}{n_1} &= \frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} & \theta_i + \theta_t &= \frac{\pi}{2} \Rightarrow \theta_t = \frac{\pi}{2} - \theta_i \\ \frac{n_2}{n_1} &= \frac{\sin \theta_i}{\sin(\frac{\pi}{2} - \theta_i)} & \sin(\frac{\pi}{2} - \theta_i) &= \cos \theta_i \\ \Rightarrow \frac{n_2}{n_1} &= \tan \theta_i & \theta_i &= \theta_B \\ \theta_B &= \arctan \frac{n_2}{n_1} \end{aligned}$$

Dies kann man sich beim Resonator zu Nutze machen, indem man nur das p-polarisierte Licht durch den Resonatorspiegel transmittieren lässt und das s-polarisierte Licht im Resonator verbleibt. Man erhält linear polarisiertes Licht.

Dieser Versuch wird von allen Gruppen gemeinsam bearbeitet, da hier nur ein Versuchsaufbau vorhanden ist.

1.1 Brewster-Fenster

In der Regel wird bei einem Gaslaser das Lasermedium von Brewster-Fenstern abgeschirmt, da so nur s-polarisiertes Licht mit geringen Verlusten in der Laserkammer bleibt, und das p-polarisierte vollkommen durch das Brewster-Fenster transmittiert wird.

Dieses Verhalten soll durch ausprobieren und minimales Verstellen des Versuchsaufbaus untersucht werden.

1.2 Brechungsindex aus Brewsterwinkel

Nun soll mit Hilfe des Brewsterwinkels der Brechungsindex von Glas bestimmt werden. Dabei stellen wir einen Spiegel vor dem Laser auf, wodurch die Brechzahl die der Umgebungsluft $n_1 \approx 1$ ist. Somit kann man bei bekanntem Einfallswinkel (θ_i) mit obiger Formel den Brechungsindex von Glas bestimmen.

Bei dieser Bestimmung können wir entweder das Minimum beobachten, oder unter Zuhilfenahme eines Si-Photoelementes das Maximum. Das Minimum sollte sich jedoch genauer beobachten lassen, da beim Maximum die hohen Intensitäten des Lasers auftreten, bei denen kleine Änderungen schwer zu erkennen sind, im Gegensatz zu einem Minimum.

2 Beugung am Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Beugung am Spalt

Hier soll die Breite eines nicht bekannten Spaltes durch die Interferenzminima bestimmt werden. Dafür muss jedoch das Verhalten der Intensität bei Beugung am Spalt bekannt sein:

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \sin \theta\right)^2}$$

Wird der Sinus Null, so liegt ein Minimum vor, wird er eins, so betrachten wir ein Maximum. Durch umformen der Gleichung und unter Beachtung der Minima oder Maxima gilt nun:

- Minimum (für $m \neq 0$):

$$b \cdot \sin \theta = m \cdot \lambda$$

- Maximum:

$$b \cdot \sin \theta = \left(m + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

Unter Verwendung der Kleinwinkelnäherung und der Betrachtung des Abstandes eines Schirms vom Spalt (l) und dem Abstand des Extremums von dessen niedrigster Ordnung (y) kann man die beiden bereits errechneten Formeln auflösen.

$$\begin{aligned}\Rightarrow \sin \theta_{\text{klein}} &\approx \tan \theta_{\text{klein}} = \frac{y}{l} \\ \Rightarrow b &= \frac{m \cdot \lambda \cdot l}{y}\end{aligned}$$

2.2 Beugung am Steg

Hier soll das Babinet-Theorem nachgewiesen werden, welches besagt, dass das Beugungsbild zweier komplementärer Geometrien (hier eben Spalt und Steg) identisch ist.

Dies sollen wir mit einem Steg mit den gleichen Maßen des Spaltes überprüfen. Bei beiden Interferenzbildern sollte die Intensitätsverteilung also gleich sein.

2.3 Kreisöffnung, Kreisscheibe, Kante

Die zu untersuchenden Beugungsbilder der Kreisöffnung und der gleichgroßen Kreisscheibe sollten aufgrund des in Aufgabe 2.3 erwähnten Babinet-Theorem identisch sein. Minimale Unterschiede der Interferenzmuster sind jedoch aufgrund der geometrischen Schatten der Figuren zu erwarten. Beide Geometrien sollen ein Interferenzmuster mit konzentrischen Kreisen um ein Mittelpunktmaximum bilden. Dies rührt daher, dass die Wellen an der Kreiskante immer den gleichen Abstand zur Mittellachse besitzen und somit konstruktive Interferenz vorliegt. Dieses Phänomen wird auch als Poissonscher Fleck bezeichnet.

Die Beugung an einer Kante soll ebenfalls untersucht werden. Dabei muss beachtet werden, dass hier keine Fraunhoferbeugung vorliegt, da die Spaltbreite im Verhältnis zum Abstand nicht mehr verschwindend gering ist. Darum handelt es sich bei diesem Interferenzmuster um Fresnel-Beugung. Hierbei wird von Kugelwellen und nicht mehr von ebenen Wellen ausgegangen, weshalb das erhaltene Muster viele beieinander liegende und verschwimmende Interferenzminima und -maxima zu sehen sein müssten.

2.4 Haardurchmesser

Wieder wegen des Babinet-Theorems können wir annehmen, dass ein Haar das gleiche Interferenzmuster erzeugt, wie ein Einfachspalt gleicher Breite.

Hier soll nun durch das Interferenzmuster eines Haares dessen Dicke bestimmt und anschließend mit dem Messergebnis einer Mikrometerschraube verglichen werden.

3 Beugung an Mehrfachspalt und Gittern

Bei Mehrfachspalt und Gittern ist das Interferenzmuster eine Kombination der Intensitätsverteilung des Einzelspaltes und der durch den Abstand der Spalte erzeugten

Interferenz. Mit der Spaltbreite b , dem Spaltabstand (d) und der Anzahl der Spalte N gilt folgende Intensitätsverteilung.

$$\frac{I}{I_0} = \frac{\sin^2\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi \cdot b}{\lambda} \sin \theta\right)^2} \cdot \frac{\sin^2\left(N \cdot \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot \sin \theta\right)}{\left(\frac{\pi \cdot d}{\lambda} \sin \theta\right)^2}$$

3.1 Doppelspalt

Beim Doppelspalt sollen wir nun aus einem Interferenzbild die Breite (b) der beiden Spalte und deren Abstand ermitteln.

Nun kann man die obige Formel verwenden, um die Minima und Maxima des Interferenzbildes zu betrachten und somit den Spaltabstand d zu bestimmen. Bedingung ist hierbei, dass das Intensitätsverhältnis maximal oder minimal wird.

- Für ein Maximum gilt:

$$d \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda$$

- Für ein Minimum gilt:

$$d \cdot \sin \theta = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda$$

Hier kann man ebenfalls wieder die Kleinwinkelnäherung anwenden: $\sin \theta \approx \tan \theta = \frac{y}{l}$ Für die Ermittlung der Spaltbreite kann analog zu Aufgabe 2.1 verfahren werden.

3.2 Beugung an Doppel und Dreifachspalt

Betrachtet man die in Aufgabe 3.1 verwendete Formel, so ist aus dieser ersichtlich, dass für einen größeren Spaltabstand mehr Maxima zu sehen sein werden, diese also enger beieinander liegen.

Der Dreifachspalt wird Nebenmaxima mit kleinerer Intensität als die Hauptmaxima erzeugen.

3.3 Gitterkonstante

Die Gitterkonstante g ist nichts anderes, als der Spaltenabstand der einzelnen Spalte zueinander. Somit lässt sich die Gitterkonstante wie der Spaltabstand d in Aufgabe 3.1 bestimmen.

$$\Rightarrow \frac{1}{g} = \frac{n \cdot \lambda \cdot l}{y}$$

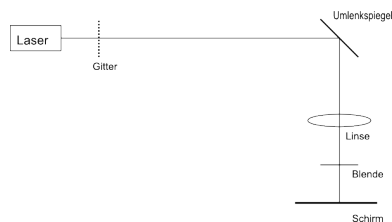
Für optimale Interferenzbedingungen ist es wichtig, dass möglichst viele Spalte ausgeleuchtet werden, also möglichst das ganze Gitter.

3.4 Kreuz- und Wabengitter

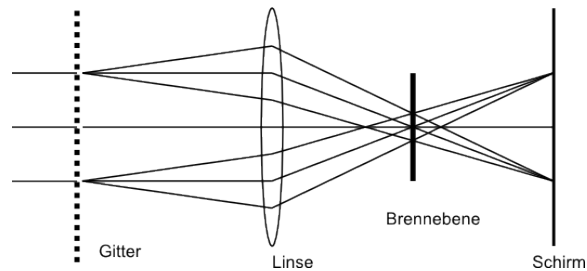
Kreuz- und Wabengitter sind keine eindimensionalen Gitter mehr, sondern zweidimensional. Daher erwarten wir auch ein zweidimensionales Interferenzmuster, was bedeutet, dass Maxima auch nach oben und unten erzeugt werden.

4 Abbildung nicht selbst leuchtender Gegenstände

Bei diesem Versuch soll gezeigt werden, welche Auswirkungen das Ausblenden von höheren Ordnungen eines Interferenzmusters hat. Dazu sollen wir ein Gitter mit planparallelem Licht beleuchten. Das so erzeugte Interferenzmuster wird durch eine Linse mit anschließender Blende in der Brennebene auf die nullte oder bei anderer Blende auf die nullte und erste Ordnung reduziert. Bei Betrachtung der nullten Ordnung kann man keine Rückschlüsse auf das Gitter ziehen, da hier (nur ein Punkt) keinerlei Informationen mehr im Beugungsmuster enthalten sind. Bei höheren Beugungsordnungen kann wieder z.B. analog zu Aufgabe 3.3 die Gitterkonstante bestimmt werden, da nun mehr Informationen im Interferenzmuster enthalten sind.



Versuchsaufbauszeichnung mit Strahlengang



Schematischer Strahlenverlauf

Mit dieser Methodik kann man also die in einem Bild enthaltenen Informationen gezielt reduzieren. In der Praxis findet dies Anwendung um bei digitalen Bildern mit störenden Rastern die Informationen der höheren Beugungsordnungen über die scharfen störenden Rasterkanten zu reduzieren.

5 Holographie

Holographie bietet die Möglichkeit einen dreidimensionalen Körper auf einem Film abzubilden, ohne, dass die Informationen der dritten Dimension verloren gehen. Dies wird mit Hilfe eines Referenzstrahles und kohärentem Licht erzeugt. Der Referenzstrahl trifft auf den Film, ohne am Abzubildenden Körper reflektiert zu werden. Durch einen Strahlteiler wird ein Teil des Referenzstrahls abgespalten und trifft auf den Gegenstand, wo dieser Teilstrahl reflektiert wird und dann den Film trifft. Durch den daraus resultierenden Gangunterschied zwischen Referenz- und Objektstrahl entstehen Interferenzen, durch die auf dem Film an allen Stellen Informationen über den dreidimensionalen Gegenstand gespeichert werden.

Will man das Bild jedoch betrachten, so benötigt man wieder kohärentes Licht, der selben Wellenlänge wie es bei der Herstellung des Hologramms verwendet wurde, um den Film zu bestrahlen. Dadurch wird erst wieder der abgebildete Gegenstand sichtbar. Aus verschiedenen Blickwinkeln lassen sich so die unterschiedlichen gespeicherten Informationen des Gegenstandes abrufen und sehen.