

Vorbereitung

**Laser A**  
**Versuch P2-16,17,18**

Iris Conradi und Melanie Hauck  
Gruppe Mo-02

28. April 2011



# Inhaltsverzeichnis

<b>Funktionsweise eines Lasers</b>	<b>3</b>
<b>1 Brewsterwinkel</b>	<b>4</b>
1.1 Brewster-Fenster . . . . .	4
1.2 Brewsterwinkel . . . . .	5
<b>2 Beugung an Spalt, Steg, Kreisöffnung, Kreisblende und Kante</b>	<b>5</b>
2.1 Einfachspalt . . . . .	5
2.2 Babinet-Theorem . . . . .	6
2.3 Kreisöffnung, Kreisscheibe, Kante . . . . .	6
2.4 Durchmesser eines Haares . . . . .	6
<b>3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern</b>	<b>7</b>
3.1 Doppelspalt . . . . .	7
3.2 Verschiedene Spalte . . . . .	7
3.3 Gitterkonstante . . . . .	7
<b>4 Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände</b>	<b>8</b>
<b>5 Holographie</b>	<b>9</b>
<b>Literatur</b>	<b>9</b>

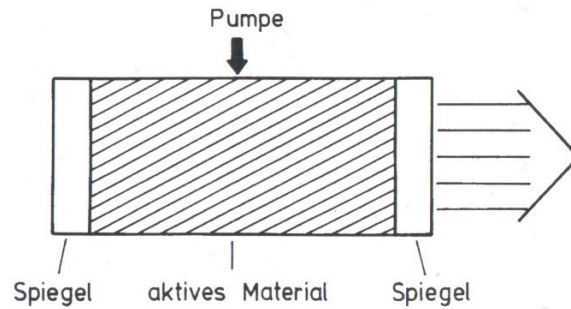
## Funktionsweise eines Lasers

Ein Laser zeichnet sich durch folgende Eigenschaften aus: das Laserlicht ist monochromatisch, d.h. zeitlich sehr kohärent, und räumlich kohärent. Die räumliche Kohärenz wird nur durch Beugungseffekte an der Austrittsöffnung des Lasers eingeschränkt.

In Abbildung 1 ist der schematische Aufbau eines Lasers gezeigt. Durch die Spiegel werden Photonen die sich in axialer Richtung bewegen im aktiven Material gehalten. Nur diese Photonen passieren die Austrittsöffnung. Die anfänglich eingebrachten Photonen werden im aktiven Material verstärkt.

Zur Verstärkung wird der Effekt der stimulierten Emission ausgenutzt. Durch den Pumpvorgang wird eine Besetzungsinversion erzeugt, d.h. es befinden sich mehr Elektronen im angeregten Zustand als im Grundzustand. Dadurch wird die stimulierte Emission gegenüber der spontanen Emission bevorzugt.

Wenn sich ein Elektron im angeregten Zustand befindet, so kehrt es nach einiger Zeit unter spontaner Emission eines entsprechenden Photons in den Grundzustand zurück.



**Abbildung 1:** Schematischer Aufbau eines Lasers (Haken Wolf S.399)

Wenn jedoch ein passendes Photon auf ein angeregtes Atom trifft, so fällt das Elektron in den Grundzustand zurück und es wird ein Photon der selben Frequenz wie das eintreffende emittiert. So werden viele Photonen der gleichen Frequenz erzeugt.

Diese Verstärkung ist das Grundprinzip des Laser, nach welchem er auch benannt ist: *light amplification by stimulated emission of radiation*.

## 1 Brewsterwinkel

Wenn Licht auf eine Grenzschicht trifft, so gibt es für den p-polarisierten<sup>1</sup> Anteil einen Einfallswinkel für den keine Reflexion auftritt. Diesen Winkel nennt man Brewsterwinkel  $\Theta_B$ . Es gilt

$$\Theta_B = \arctan \frac{n_t}{n_i} \quad (1)$$

wobei  $n_i, n_t$  die Brechungsindizes der Materialien bezeichnen, die vor und nach der Grenzschicht liegen.

### 1.1 Brewster-Fenster

Das aktive Material des Gas-Lasers wird üblicherweise mit Brewster-Fenstern abgeschlossen.

Wenn man die Glasscheibe im Brewsterwinkel anbringt, so wird der p-polarisierte Anteil vollständig transmittiert. So treten nur Verluste im s-polarisierten Anteil auf. Man erhält also p-polarisiertes Licht mit maximal möglicher Intensität.

---

<sup>1</sup>Bei p-Polarisation liegt der elektrische Feldvektor in der Einfallsebene des Lichts. Diese wird durch die Wellenvektoren des einfallenden und des reflektierten Strahles aufgespannt.

In diesem Versuch soll demonstriert werden, dass man mit der Glasscheibe im Brewsterwinkel ein Maximum an Intensität erreicht.

## 1.2 Brewsterwinkel

In diesem Versuch soll der Brewsterwinkel durch drehen einer Glasscheibe gemessen werden. Dazu kann man das Minimum der Reflexion oder das Maximum der Transmission suchen.

Vermutlich ist das Erkennen des Minimus leichter, da man geringe Helligkeitsunterschiede gut erkennen kann. Das Maximum der Transmission wird in einem breiteren Bereich vorliegen. Denn man kann die geringen Veränderungen der schon hohen Grundhelligkeit kaum erkennen, sodass es nicht möglich sein wird den exakten Winkel zu bestimmen.

Unter der Annahme, dass der Brechungsindex von Luft 1 ist, kann man mit Gleichung (1) den Brechungsindex der Glasscheibe bestimmen.

## 2 Beugung an Spalt, Steg, Kreisöffnung, Kreisblende und Kante

### 2.1 Einfachspalt

Mit Hilfe der Fraunhoferbeugung kann man die Intensitätsverteilung bestimmen. Es handelt sich um eine quadratische Sinc-Funktion. Mit der Einführung des Beugungswinkels  $\alpha$  erhält man eine Gleichung für die Minima:

$$b \cdot \sin \alpha_l = l \cdot \lambda \quad (2)$$

Dabei bezeichnet  $b$  die Spaltbreite und  $l$  die Beugungsordnung.

Für jede zu erkennende Beugungsordnung bestimmen wir den zugehörigen Beugungswinkel und können so mit Gleichung (2) durch lineare Regression die Spaltbreite bestimmen. Der Beugungswinkel ergibt sich auch dem Abstand  $d$  zwischen Schirm und Spalt und der Entfernung des Minimums zur Mitte des nullten Beugungsmaximums  $a$  folgendermaßen:

$$\tan \alpha_l = \frac{a}{d} \quad (3)$$

Das Ausmessen der Maxima höherer Ordnung zur Bestimmung der Spaltbreite empfiehlt sich nicht, da bei der Sinc-Funktion die Maxima nicht genau in der Mitte zwischen den

Minima liegen und somit die Gleichung

$$b \cdot \sin \alpha_l \approx \left( l + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda \quad (4)$$

nur ungefähr gilt.

## 2.2 Babinet-Theorem

Aus dem Babinet-Theorem ergibt sich unter anderem eine Aussage über zueinander komplementäre Beugungsflächen. Beugungsflächen werden als komplementär bezeichnet, wenn die Fläche genau das alles bedeckt, was von der anderen frei gelassen wird. Für solche Flächen ergeben sich nach dem Babinet-Theorem die gleichen Intensitätsverteilungen.

In unserem Fall ergibt sich also das Beugungsbild eines Einfachspaltes mit entsprechender Breite.

## 2.3 Kreisöffnung, Kreisscheibe, Kante

Die Beugungsbilder von Kreisscheibe und Kreisöffnung müssten sich sehr ähneln, da die Beugungsflächen zueinander komplementär sind (gleicher Radius).

In der Mitte des Beugungsbildes der Scheibenblende entsteht immer ein heller Fleck, da alle Strahlen die am Rand der Scheibe gebeugt werden zur Mittelachse immer den gleichen Abstand haben, sie interferieren also konstruktiv.

Bei der Beugung an der Kante erwarten wir auch ein Beugungsmuster und keine scharfe hell-dunkel Kante. Die Beugung an der Kante wird nicht durch die Fraunhoferbeugung beschrieben. Es wird wie bei der Kreisscheibe durch Fresnelbeugung beschrieben.

## 2.4 Durchmesser eines Haares

Das Haar ist komplementär zu einem Spalt gleicher Breite. Die Bestimmung des Durchmessers des Haares erfolgt also analog zur Bestimmung der Spaltbreite in 2.1.

---

## 3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

### 3.1 Doppelspalt

Wenn man mit Hilfe der Fraunhoferbeugung die Intensitätsverteilung des Doppelspaltess bestimmt, stellt man fest, dass diese sich aus zwei Funktionen zusammensetzt, die multipliziert werden. Es handelt sich dabei um die Intensitätsverteilung eines Einfachspaltess mit der Spaltbreite der Doppelspalte und eine Funktion abhängig von dem Spaltabstand  $x$ .

Die Minima der Einfachspaltfunktion bleiben somit erhalten. Aus ihnen kann man wie in 2.1 die Spaltbreite bestimmen.

Außerdem erkennt man die Maxima der anderen Funktion. Für diese gilt:

$$x \cdot \sin \alpha_l = l \cdot \lambda \quad (5)$$

Damit kann man durch lineare Regression den Spaltabstand bestimmen.

Jedoch ist darauf zu achten, dass man die Ordnung der Maxima nicht falsch bestimmt, denn es kann der Fall auftreten, dass ein Maximum mit dem Minimum der Einfachspaltfunktion zusammenfällt und somit nicht zu erkennen ist.

### 3.2 Verschiedene Spalte

Vergleicht man die Beugungsbilder zweier Doppelspalte mit gleicher Spaltbreite aber verschiedenem Spaltabstand, so erwarten wir, dass für einen größeren Spaltabstand die Maxima näher zusammenrücken. Dies erkennt man leicht, wenn man Gleichung (5) für kleine Beugungswinkel ( $\sin \alpha \approx \alpha$ ) betrachtet.

Für den Dreifachspalt erwarten wir, dass sich Nebenmaxima bilden. Die Amplitude dieser Maxima ist geringer als die der benachbarten Hauptmaxima.

### 3.3 Gitterkonstante

Die Hauptmaxima werden sehr deutlich zu erkennen sein, die Nebenmaxima dagegen nur sehr schlecht. Dieser Kontrast wird stärker, je mehr Spalte man ausleuchtet.

Mit Hilfe der Hauptmaxima und der Formel (5) kann man den Abstand zwischen den Spaltmitten des Gitters bestimmen. Das Vorgehen ist analog zu 3.1.

Wenn die Stege des Gitters sehr dünn sind im Vergleich zur Spaltbreite, so sind der Abstand zwischen den Spaltmitten und die Spaltbreite etwa gleich. Diese Größe ist dann die Periodenlänge des Gitters und kann als Gitterkonstante aufgefasst werden.

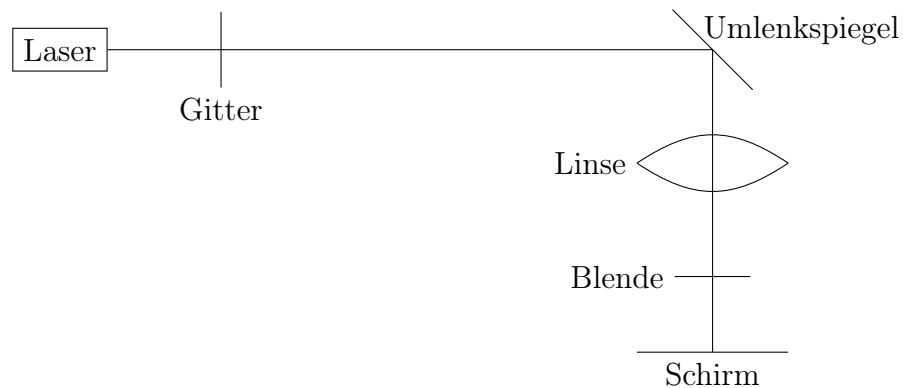


Abbildung 2: Versuchsaufbau

## 4 Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände

In Abbildung 2 ist der prinzipielle Aufbau des Experiments zu sehen. Der zugehörige Strahlengang ist in Abbildung 3 dargestellt.

Mit Hilfe der Blende kann man Beugungsordnungen ausblenden. In Abbildung 3 ist die nullte und die erste Beugungsordnung zu sehen. Es soll untersucht werden, wie sich das Bild auf dem Schirm verändert, wenn Beugungsordnungen ausgeblendet sind.

Wir erwarten, dass wenn nur die nullte Ordnung eingeblendet ist, das Gitter nicht abgebildet wird. Vermutlich ist nur ein heller Fleck zu sehen. Die Vermutung ergibt sich aus der Beobachtung, dass wir in den vorangegangenen Aufgaben die Spaltbreite über den Abstand zwischen den verschiedenen Beugungsordnungen ermittelt haben. Daher vermuten wir, dass die „Information“ über das Gitter erst mit der ersten Beugungsordnung vorhanden ist.

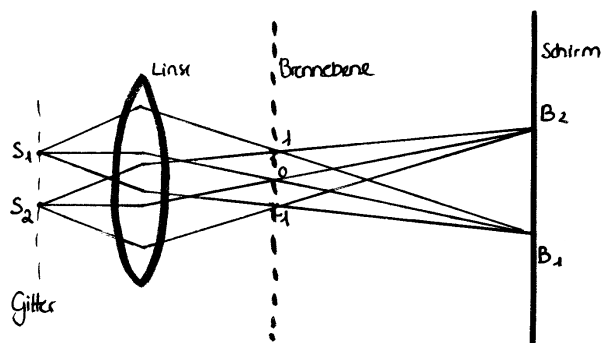


Abbildung 3: Strahlengang



---

## 5 Holographie

Mit der Holographie kann ein Gegenstand so aufgenommen werden, dass die Information über die dreidimensionale Gestalt nicht verloren geht.

Das Objekt wird mit einer Strahlung mit fester Wellenlänge angeleuchtet. Bevor es auf das Objekt trifft, passiert es einen Strahlteiler, wobei ein Teil der Welle (Referenzwelle) direkt auf die Photoplatte trifft. Auf der Fotoplatte wird ein Interferenzbild erzeugt, welches durch die Referenzwelle und das vom Objekt gestreute Licht entsteht. Somit sind die Laufzeitunterschiede des gestreuten Lichtes, die durch die dreidimensionale Struktur entstehen, im Hologramm festgehalten.

Wenn man das Hologramm nun mit Licht der selben Wellenlänge bestrahlt und von der anderen Seite hindurchsieht, so sieht man ein virtuelles, dreidimensionales Bild auf der Seite der einfallenden Rekonstruktionswelle. Auf der Seite des Beobachters entsteht auch ein reelles Bild, welches man im Gegensatz zum virtuellen Bild mit einem Schirm auffangen kann. Auf diesem Schirm ist das Bild aber natürlich zweidimensional.

## Literatur

- Haken Wolf: Atom- und Quantenphysik, 8. Auflage, Springer
- Tipler Mosca: Physik, 6.Auflage, Spektrum
- Literaturmappe