Versuche P2-16,17,18

Laser A
Versuchsvorbereitung

Thomas Keck und Marco A. Harrendorf, Gruppe: Mo-3
Karlsruhe Institut für Technologie, Bachelor Physik

Versuchstag: 18.04.2011

1 Aufgabe 1: Brewsterwinkel

1.1 Brewsterwinkel

Fällt ein Lichtstrahl auf eine Grenzfläche zwischen 2 Medien (von dem Medium mit Brechungsindex n_1 kommend, in das Medium mit n_2), so ist der Brewsterwinkel $\Theta_{Brewster}$ der Winkel, für den der reflektierte Strahl vollständig linear polarisiert ist. Der gebrochene und reflektierte Strahl stehen hierbei senkrecht aufeinander.
Es gilt:

$$\tan\left(\Theta_{Brewster}\right) = \frac{n_2}{n_1} \tag{1}$$

Das Entladungsrohr eines Lasers kann, wenn die Spiegeln extern angebracht sind, mit sogenannten Brewsterfenstern abgeschlossen werden. Der Kristall wird hierzu einfach nur entsprechend geschliffen.
Das Laserlicht wird hierdurch polarisiert, da an den beiden Fenstern jeweils eine Polarisationsrichtung aus dem Kristall herausreflektiert wird. Die Intensität des Lasers wird jedoch nicht beeinträchtigt werden, da die gesamte Entladung sich einfach auf die ungestörte Polarisationsrichtung festlegen wird.

1.2 Aufgabe 1.1

Im ersten Versuch wird nun die Abhängigkeit der Strahlintensität von der Ausrichtung einer drehbaren Glasplatte zwischen Entladungsrohr und Resonatorspiegel beobachtet.
Aufgrund der durch die Glasplatte variablen optischen Länge zwischen den beiden Resonatorspiegeln, muss eventuell geringfügig nachjustiert werden. Die Spiegel sind also leicht aufeinander zu oder voneinander weg zu bewegen.

1.3 Aufgabe 1.2

Der Plattenhalter für die Glasplatte wird außerhalb des Lasers montiert und das Minimum der Reflexion an der Zimmerdecke beobachtet.
Bildet die Glasplatte den Brewsterwinkel mit dem Laserstrahl (und ist diese wie das Brewsterfenster des Entladungsrohrs ausgerichtet), so wird ein Minimum der Reflexion beobachtet werden, da der Laserstrahl polarisiert ist. Das Minimum ist im Idealfall eine verschwindend geringe Reflexion und kann daher besser beobachtet werden als die veränderliche transmitierte Strahlintensität, da nur sehr wenig Licht überhaupt reflektiert werden wird. Bei gemessenem Brewsterwinkel $\Theta_{Brewster}$ und $n_{Luft} \approx 1$ ergibt sich:

$$n_{Glasplatte} = \tan\left(\Theta_{Brewster}\right) \tag{2}$$

[Literatur zu den Versuchen]

2 Aufgabe 2: Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Babinet Theorem

Das Babinet Theorem besagt, dass die Beugungsmuster für 2 komplementäre Blenden (etwa Spalt und Steg oder Kreisloch und Kreisblende) identisch sind. Der Bereich der Abbildung, der durch die geometrische Optik beschrieben wird, wird dabei nicht beachtet.
Das Babinet Theorem gilt sowohl in der Fraunhofernäherung als auch für Fresnelbeugung.

2.2 Aufgabe 2.1

Über die Beugungsmaxima oder -minima wird die Breite b des Spaltes bestimmt. Die Wellenlänge des Lasers ist gegeben durch λ. Es gilt:

$$I(\Theta) \sim \left(\frac{\sin\left(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\Theta)\right)}{\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\Theta)} \right)^2 \tag{3}$$

[Literatur zu den Versuchen]
Für kleine Θ ist

$$\frac{x}{L} = \tan(\Theta) \approx \Theta = \sin(\Theta) \tag{4}$$

Dabei ist x der Abstand auf dem Schirm und L der Abstand zum Schirm.
Bei der Beugung am Einzelspalt ist es leichter, die Minima zu erkennen, diese sind gerade gegeben durch:

$$\sin\left(\pi \frac{b}{\lambda} \sin(\Theta)\right) = 0 \tag{5}$$

$$\frac{b}{\lambda} \sin(\Theta) = 1 \tag{6}$$

$$\frac{x}{L} = \frac{\lambda}{b} \tag{7}$$

$$b = \frac{\lambda \cdot L}{x} \tag{8}$$

2.3 Aufgabe 2.2

Das Beugungsbild des Steges wird mit dem des Spaltes verglichen.
Es wird erwartet, dass die beiden Beugungsfiguren im wesentlichen gleich aussehen. Lediglich in der Mitte des Beugungsbilder wird es Abweichungen geben, da beim Steg die Abbildung nach der geometrischen Optik ein halbierter Kreis und beim Spalt ein Strich (der beim halbierten Kreis fehlt) ist.

2.4 Aufgabe 2.3

Das Beugungsbild der Kreisöffnung wird mit dem der Kreisblende verglichen.
Wiederum wird aufgrund des Babinetschen Theorems eine Ähnlichkeit der Beugungsbilder erwartet. Die Intensität des Beugungsbildes der Kreisöffnung ist ein ringförmiges Inteferenzmuster:

$$I(\Theta) \sim \left(\frac{2 \cdot J_1(x)}{x}\right)^2 \tag{9}$$

$$x = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \sin(\Theta) \tag{10}$$

[Literatur zu den Versuchen]
Man könnte aus den Minima der rinförmigen Interferenzstreifen wiederum den Radius der Kreisscheibe berechnen. Hierzu benötigt man lediglich die erste Nullstelle der BesselfunktionJ_1:

$$J_1(x) = 0 \tag{11}$$

$$x = 3.83 \tag{12}$$

$$\frac{2 \cdot \pi \cdot R}{\lambda} \sin(\Theta) = 3.83 \tag{13}$$

$$\sin(\Theta) \approx \frac{x}{L} \tag{14}$$

$$R = \frac{3.83 \cdot \lambda \cdot L}{2 \cdot \pi \cdot x} \tag{15}$$

x und L sind dabei analog zur Beugung am Spalt definiert.
Die Kreisscheibe verhält sich ähnlich wie der Spalt. Auffallend wird hier allerdings der helle Lichtfleck in der Mitte der Abbildung sein. Da alle vom Rand der Kreisscheibe ausgehenden Elementarwellen den gleichen Abstand zur Mitte besitzen, interferieren diese alle konstruktiv. Der helle Fleck wird auch als Poisson-Fleck bezeichnet.

Bei der Beugung an der Kante sind komplizierte Berechnungen erforderlich, nach [Literatur zu den Versuchen] ist ein Beugungsbild wie folgt zu erwarten:

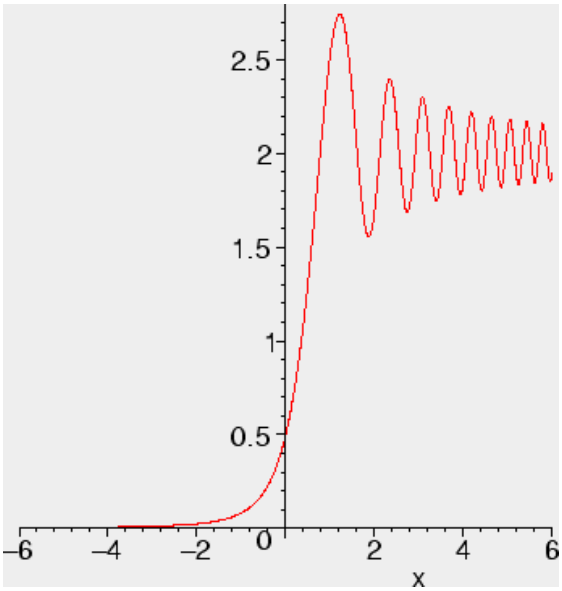

Abbildung 1: Beugungsbild an einer Kante

2.4.1 Aufgabe 2.4

Aus dem Beugungsbild eines Haares soll dessen Durchmesser bestimmt werden. Die benötigten Formeln wurden bereits für die Beugung am Spalt bzw. am Steg hergeleitet:

$$b = \frac{\lambda \cdot L}{x} \tag{16}$$

Das Ergebnis wird mit einer Messung, bei der eine Mikrometerschraube verwendet wird, verglichen werden. Nach [Wikipedia - Kopfhaar] ist das normale menschliche Kopfhaar etwa 0.05 bis 0.07 Milimeter dick.

3 Aufgabe 3: Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Aufgabe 3.1

Die Spaltbreite und der Spaltabstand eines Doppelspaltes soll aus dem Beugungsbild bestimmt werden. Die Beugungsmaxima des Doppelspaltes befinden sich im Abstand x von der Mitte des Beugungsbildes auf dem Schirm (in Fraunhofernäherung).

$$g = \frac{\lambda \cdot L}{x_m} \tag{17}$$

[Literatur zu den Versuchen] Dabei ist g die Gitterkonstante, hier also der Abstand der beiden Spalten. x_m ist der Abstand zum m-ten Maximum und L der Abstand des Spaltes zum Schirm.

Die Breite b der Spalten erhält man aus dem m-ten Minima des Beugungsmusters der Einzelspalte im Abstand y_m zur Mitte des Beugungsmusters, welches das Interferenzmuster des Doppelspaltes überlagert.

$$b = \frac{\lambda \cdot L}{y_m} \tag{18}$$

Nur bei einem ganzzahligen Verhältnis von g zu b, wird ein Maximum des Doppelspaltes gerade von einem Minimum der Einzelspalte ausgelöscht und die Messung kann präzise ausgeführt werden. Ansonsten müssten die Intensitätsverhältnisse gemessen werden und die in [Literatur zu den Versuchen] angegebenen Formeln zu Rate gezogen werden.

3.2 Aufgabe 3.2

Das Beugungsbild zwei verschiedener Doppelspalte und eines Dreifachspaltes soll qualitativ beobachtet werden. Bei den gegebenen Doppelspalten wird für den ersten Doppelspalt ($0.25\mathrm{mm}$/ $0.5\mathrm{mm}$) jedes 2. Maximum verdeckt, für den zweiten ($0.25\mathrm{mm}$/ $0.75\mathrm{mm}$) jedes Dritte. Aufgrund der geringeren Gitterkonstante wird das Beugungsbild des 2. Doppelspaltes außerdem horizontal gestaucht sein, die Maxima liegen also näher beieinander.

Der Dreifachspalt besitzt höhere Maxima und kleine lokale Nebenmaxima bei den Minima des Doppelspaltes. Sodass insgesamt das gleiche Beugungsbild wie beim Doppelspalt beobachtet werden kann, lediglich durch Nebenmaxima ergänzt. Die Minimas verschieben sich entsprechend zwischen die Haupt und Nebenmaxima.

3.3 Aufgabe 3.3

Die Gitterkonstante eines Strichgitters soll bestimmt werden, hierzu wird der Abstand x_m des m-ten Maximums von der Mitte des Beugungsbildes gemessen werden.
Die Gitterkonstante des Strichgitters wird, wie weiter oben bereits beschrieben, gegeben sein durch:

$$g = \frac{\lambda \cdot L}{x_m} \tag{19}$$

Die Ausleuchtung spielt für das Beugungsmuster keine Rolle, lediglich die sichtbaren Maxima werden bei besserer Ausleuchtung intensiver, da mehr Licht am Gitter gebeugt wird. Auch werden die Nebenmaxima kleiner je mehr Spalte am Beugungsprozess beteiligt sind.

3.4 Aufgabe 3.4

Das Beugungsbild eines Kreuz- und eines Wabengitters soll beobachtet werden.
Zu erwarten ist, dass das Beugungsbild eines Kreuzgitters der Superposition von zwei senkrecht aufeinander stehenden Liniengitter entspricht. Das Wabengitter wird dann ein vom Kreuzgitter abgewandeltes Beugungsbild besitzen.

4 Aufgabe 4: Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände

In diesem Demonstrationsversuch soll gezeigt werden, dass das gebeugte Licht für durchstrahlte Objekte bei der Abbildung eine wesentliche Rolle spielt. Der Versuch wird entsprechend der Aufgabenstellung aufgebaut, der Strahlengang ist in Abbildung 2 eingezeichnet.

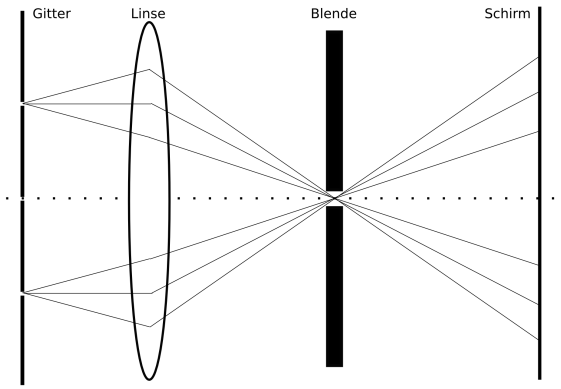

Abbildung 2: Strahlengang des Demonstrationsversuches

Das Verständnis der Bildentstehung gelingt am leichtesten, wenn man beachtet, dass das auf dem Schirm beobachtbare Beugungsmuster gerade der 2-dimensionalen Fouriertransformierten der Spaltfunktion entspricht. Niedrige Ordnungen entsprechen niedrigen Raumfrequenzen, höherere Ordnungen höheren Raumfrequenzen. Wie bei der 1-dimensionalen Fouriertransformation, z.B. eines Rechteckimpulses, sind die hohen Frequenzen für die scharfen Kanten zuständig. Frei nach [Hecht - Optik].

Betrachtet man nur die nullte Beugungsordnung, so erhält man ein Bild ohne Konturen, und somit lediglich einen hellen Fleck, das Bild wird also immer kontrastreicher je mehr Ordnungen hinzukommen. Lässt man die nullte Ordnung heraus, so erkennt man nur noch die Konturen des durchschienenen Objekts, das Bild ist wesentlich dunkler. So können in der Biologie etwa Zellen oder andere durchsichtige Objekte sichtbar gemacht werden, indem die nullte Beugungsordnung etwa mit einer Kreisscheibe ausgeblendet wird.

Ein störendes Raster auf einem Bild kann entfernt werden, indem die entsprechenden Beugungsordnungen entfernt werden. Ein Raster besitzt das gleiche Interferenzmuster wie ein Gitter. Das Beugungsmuster dieser Gitterstruktur (wie wir weiter oben gesehen haben, besteht es aus einzelnen diskreten Punkten) muss durch eine Blende herausgefiltert werden. Geschieht dies mit entsprechender Sorgfalt, so verliert das ursprüngliche Bild kaum an Kontrast und die Bildinformation unter dem störenden Raster wird zum Teil wiederhergestellt – gebildet aus den verbleibenden Fouriergrößen.

5 Aufgabe 5: Holographie

Bei einem Hologramm werden die Phaseninformationen des abgebildeten Objekts ebenfalls gespeichert. Bei der Aufnahme wird das Objekt mit monochromatischem Licht beleuchtet und das Interferenzmuster der Referenzwelle mit der vom Objekt gebeugten Objektwelle aufgezeichnet. Wird das Hologramm wieder mit dieser monochromatischen Referenzwelle bestrahlt (hier erzeugt durch den Laser) entsteht das ursprüngliche Bild mit den entsprechenden Phaseninformationen, sodass das Bild in einem gewissen Bereich räumlich betrachtet werden kann.

Alle vom Hologramm ausgehenden Elementarwellen tragen einen kleinen Teil mit ihrer Amplitude und ihrer Phase zur Entstehung der Abbildung bei. Deshalb können Teile des Hologramms abgedeckt werden ohne das Bild zu zerstören. Lediglich die Detailgenauigkeit und der Kontrast sowie die Bildhelligkeit dürften, je größer der abgeblendete Ausschnitt, immer schlechter werden.

Bei diesem Demonstrationsversuch wird das abgebildete Hologramm, welches ein reales Bild erzeugt mit einer Digitalkamera aufgezeichnet werden.

Literatur

[Aufgabenstellung] Aufgabenstellung zu den Versuchen P2-16,17,18

[Vorbereitungshilfe] Vorbereitungshilfe zu den Versuchen P2-16,17,18 (falls vorhanden)

[Literatur zu den Versuchen] Literatur zu den Versuchen P2-16,17,18 (falls vorhanden)

[Wikipedia - Kopfhaar] `http://de.wikipedia.org/wiki/Kopfhaar`

[Hecht - Optik]