

Physikalisches Anfängerpraktikum (P2)

P2-16,17,18: Laser A

Matthias Faulhaber, Matthias Ernst (Gruppe 19)

Karlsruhe, 18.11.2009

1 Auswertung

1.1 Brewsterwinkel

1.1.1 Demonstration: Glasscheibe im Resonator

Eine planparallele und mehrfach frisch geputzte Glasscheibe wurde in den Resonator zwischen Entladungsrohr und Austrittsspiegel montiert. Nachdem der LASER mit einiger Feinarbeit so eingestellt war, dass er zündete und die Ausgangsintensität maximal war, die Platte also im Brewsterwinkel eingestellt war, wurde sie leicht dejustiert. Dabei konnten zunächst, bei äußerst geringer Abweichung, zwei, drei oder vier statt des ursprünglichen einen Punktes beobachtet werden, es handelte sich um verschiedene LASERmoden. Bei weiterer Dejustierung verlosch der LASER vollständig. Der Winkel maximaler Intensität (Brewsterwinkel) betrug 56° bzw. 236° .

1.1.2 Messung des Brewsterwinkels

Die Glasplatte wurde nun außerhalb des Resonators angebracht und der Strahl an der Decke gesucht. Da er dort schlecht zu erkennen war, wurde ein Blatt Papier ca. einen halben Meter über den Spiegel gehalten, woraufhin das Signal deutlicher zu erkennen war. Der Punkt minimaler Intensität wurde bei 57° gemessen. Die Messung der Transmission mit der Diode hingegen lieferte in einem mehrere Grad breiten Bereich um diesen Winkel das Maximum, die Diode ist also nicht sensibel genug oder befindet sich in einer Sättigung.

Die Berechnung des Brechungsindex der Glasplatte aus dem Brewsterwinkel erfolgt nach der Formel $n_{\text{Glas}} = \tan \theta_B$. Damit erhält man für den Brechungsindex $n_{\text{Glas}} \approx 1.48$. Ein solcher Wert ist für Glas nicht ungewöhnlich.

1.2 Beugungsexperimente an einzelnen Objekten

Für die folgenden Messungen betrug der Abstand vom beugenden Objekt zum Schirm ($d = 235,4 \pm 1$)cm.

1.2.1 Berechnung der Spaltbreite des Einzelspalts aus der Lage der Beugungsminima

Mit dem LASER wurde auf einen Einzelspalt mit $s \approx 0,2\text{mm}$ eingestrahlt. Dabei wurde ein dem in der Vorbereitung dargestellten Intensitätsverlauf entsprechendes Beugungsbild beobachtet. In Schaubild 1 ist die Auftragung der Abstände des jeweils k -ten Minimums vom Hauptmaximum über k dargestellt.

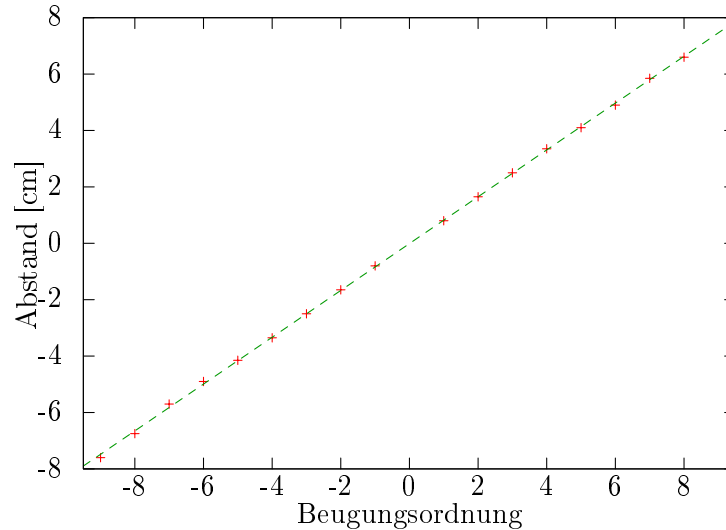


Abbildung 1: Auftragung des Abstands des k -ten Minimums vom Hauptmaximum über k

Wie in der Vorbereitung beschrieben, erfolgt die Berechnung der Spaltbreite mit dem Abstand a des k -ten Minimums vom Hauptmaximum bei der Wellenlänge $\lambda = 632,8\text{nm}$ nach der Formel

$$s = \frac{1}{\sin(\arctan \frac{a}{d})} k\lambda \approx \frac{d}{a} k\lambda. \quad (1)$$

Für jeden Abstand wurde eine Breite des Spaltes erhalten, im Mittel ergibt sich $s=0,180\text{mm}$. Der Fehler betreffs des angegebenen Wertes von $s=0,2\text{mm}$ beträgt also exakt 10%. Dasselbe Experiment wurde für den Spalt mit $s \approx 0,3\text{mm}$ durchgeführt, auch dabei ergab sich ein linearer Verlauf der gemessenen Abstände und der Mittelwert für die Spaltbreite beträgt $s=0,270\text{mm}$. Auch hier beträgt der Fehler in Bezug auf den angegebenen Wert exakt 10%.

1.2.2 Vergleich der Beugungsfigur des Einzelspalts mit der eines gleich breiten Stegs

Das Beugungsbild eines $0,3\text{mm}$ dicken Stegs sowie des Einzelspalts mit $s \approx 0,3\text{mm}$ wurden aufgenommen und verglichen. Diese sind in der Tat nahezu identisch, wie es nach dem in der Vorbereitung diskutierten Babinet'schen Theorem zu erwarten ist, mit Ausnahme des zentralen Maximums. Da hier beim Steg der „geometrische Schatten“ ist, ist nur der Poissonsche Fleck in der Mitte zu sehen. Außerdem sind direkt daneben das Maximum -1. und 1. Ordnung, die mit dem Poissonschen Fleck beim Spalt das breite Maximum 0. Ordnung bilden.

1.2.3 Vergleich des Beugungsbilds von Kreisscheibe und -öffnung; Beugungsbild einer Kante

Auch hier wurden der Erwartung entsprechend für eine Kreisscheibe und eine Kreisöffnung mit je 1mm Durchmesser nahezu identische Beugungsbilder beobachtet. Diese hatten die Form konzentrischer Kreise. Der Mittelpunkt der Kreise war in beiden Fällen erleuchtet, im Fall der Kreisöffnung aufgrund der geometrischen Propagation des Lichts nicht verwunderlich und sehr intensiv, im Fall der Kreisscheibe doch eher verwunderlich der Poissonsche Fleck mit geringerer Intensität. Dieser ist zu sehen, weil er von jedem Punkt auf der Scheibe gleich weit weg ist und somit alle an der runden Kante gebeugten Wellen konstruktiv interferieren.

Die Kante kann als „unendlich breiter Spalt“ aufgefasst werden. Damit kann es jedoch nicht mehr im Rahmen der Fraunhofer-Näherung (also $\frac{d}{a} \gg 1$) betrachtet werden, vielmehr müsste die Fresnel-Näherung Anwendung finden. Das Beugungsbild der Kante bestand aus einem hellen LASERpunkt in der Mitte an der Stelle direkter geometrischer Propagation des Strahls und eines in beiden Richtungen orthogonal zur Kante verlaufenden Bereichs abnehmender Intensität. Auf der der Kante gegenüberliegenden Seite war zudem ein halbkreisförmiges Beugungsmuster um den zentralen Punkt sowie ein Beugungsmuster ähnlich wie oben halbseitig vom zentralen Punkt weg zu beobachten.

1.2.4 Berechnung des Durchmesser einer Haares

Das Haar kann als Steg betrachtet werden und somit unter Anwendung des Babinetschen Theorems analog zu oben dessen Dicke berechnet werden. Allerdings ist das Haar deutlich dünner als die Spalte, weshalb die Maxima und Minima erheblich breiter und die Abstände sehr viel größer sind als vorher. Die gemittelte Dicke aus den vier erkennbaren Minima sowie nach Gl. (3) der Vorbereitung auch der Maxima beträgt $43,6\mu\text{m}$. Die mit der Mikrometerschraube gemessene Dicke des Haares betrug $4\mu\text{m}$. Dies sind knapp 10% des über die Beugung bestimmten Werts, ein Fehler, der kaum zu erklären ist, selbst wenn der Durchmesser des Haares nicht konstant ist. Möglicherweise lag ein Ablesefehler bei der Bedienung der Mikrometerschraube vor und der angezeigte Wert betrug $40\mu\text{m}$. Dies würde eine Abweichung von 8,3% bedeuten, was durchaus auf Messung an einer unterschiedlichen Stelle des Haares zurückzuführen sein kann.

1.3 Beugungsexperimente an mehrfachen Objekten

1.3.1 Berechnung der Spaltbreite und des Spaltabstands eines Doppelspaltes

Die Breite der Spalte wurde wie oben durch die Minima zwischen den Hauptmaxima berechnet, da die beobachteten Minima im Wesentlichen die Minima der Einhüllenden waren. Dies ergibt im Mittel für jedes beobachtete Minimum eine Spaltbreite von $0,237\text{mm}$, was 5,2% Abweichung vom angegebenen Wert bedeutet. Die Berechnung des Spaltabstands jedoch gestaltete sich schwieriger, da die Nebenminima und -maxima selten gut zu erkennen waren, mit Ausnahme des zentralen Maximums, das in das Haupt- und die beiden Nebenmaxima zerfiel. Der Spaltabstand wurde nach Vorbereitung, Gl. (6) mithilfe des Abstands der Nebenminima direkt neben Hauptmaximum davon berechnet. Dabei ergab sich als Spaltabstand $0,50\text{mm}$, exakt der angegebene Wert.

1.3.2 Vergleich der Beugungsbilder verschiedener Doppelspalte

Zum Vergleich wurden die Beugungsbilder des oben verwendete $0,25\text{mm}/0,5\text{mm}$ -Doppelspalts (Spaltbreite/Spaltabstand) und eines $0,25\text{mm}/0,75\text{mm}$ -Doppelspalts aufgenommen. Diese haben

also dieselbe Spaltbreite, war wie erwartet der Abstand zwischen den Hauptmaxima bei kleinerem Spaltabstand größer.

Weiterhin wurde das Beugungsbild eines 0,25/0,5-Dreifachspalts aufgenommen und mit dem des 0,25/0,75-Doppelspalts verglichen. Diese waren sich recht ähnlich, die Hauptmaxima und die Minima der Einhüllenden waren an denselben Orten zu finden, jedoch wies der Dreifachspalt erwartungsgemäß jeweils ein Nebenmaximum mehr auf als der Doppelspalt.

1.3.3 Berechnung der Gitterkonstante eines Strichgitters

Das Beugungsbild des verwendeten Strichgitters mit 100 Strichen pro cm waren viele recht scharfe Punkte in konstantem Abstand. Aus diesem Abstand wurde gemäß Formel (7) der Vorbereitung die Gitterkonstante für jeden Punkt berechnet, der Mittelwert beträgt 0,1256mm. Im Vergleich zum berechneten Wert von 0,1mm stellt dies einen relativen Fehler von 25,6% dar. Dieser ist recht groß und kann durch Messungenauigkeiten eigentlich nicht erklärt werden.

1.3.4 Beugungsbilder von Kreuz- und Wabengitter

In beiden Fällen war die Symmetrie des abgebildeten Gitters im Beugungsbild zu erkennen. Jedoch waren im Fall des Kreuzgitters zwei Streifen mit Beugungsreflexen zu sehen, also quasi die orthogonale Überlagerung zweier Strichgitter. Beim Wabengitter waren es drei solcher Streifen, die sternförmig angeordnet zueinander einen Winkel von je 60° einschlossen.

1.4 Abbildung beleuchteter Gegenstände

Ein Gitter mit 100 Strichen pro cm wurde mithilfe einer 150mm-Linse auf den Schirm abgebildet. Dann wurden mit einer Beugungsordnungsblende vor der Linse selektiv einzelne Ordnungen der Beugung durchgelassen. Bei Betrachtung vor der Beugungsordnungsblende war wieder ein zu oben ähnliches Interferenzmuster zu erkennen. Bei Lichtstrahlen mit Beugung 1. Ordnung wurde das Gitter (vergrößert, da der Schirm einige Meter entfernt stand) abgebildet. Bei Lichtstrahlen 2. Ordnung war es auch zu sehen, jedoch war die Anzahl der Striche verdoppelt, bei 3. Ordnung vervierfacht. Dies kann dadurch erklärt werden, dass die Beugung wie eine Fouriertransformation des abzubildenden Objekts wirkt und die Projektion durch die Linse wie die Rücktransformation. Wenn die höheren Ordnungen selektiv betrachtet werden, entspricht das höheren Termen der Fourierentwicklung, also sinusförmigen Funktionen mit entsprechend doppelter oder vierfacher Frequenz, daher die erhöhte Anzahl an Strichen.

1.5 Holographie

Es wurden zwei Hologramme betrachtet. Das erste zeigte den Schriftzug „laser focus“ und die Figur eines „Springers“ aus einem Schachspiel. Das zweite stellte ein Modell eines betagten Automobils dar. In beiden Fällen waren echte dreidimensionale Bilder zu sehen, wobei je nach Perspektive beispielsweise die Schachfigur beim Lesen der Schrift „im Weg“ war. Beim Ändern der Perspektive konnte diese besser gelesen werden. Auch wenn ein Teil des Hologramms verdeckt wurde, konnte noch das gesamte Objekt betrachtet werden.