

# Versuchsauswertung P2-16: Laser und Wellenoptik A

Kathrin Ender, Michael Walz  
Gruppe 10

13. Juni 2008

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Brewsterwinkel</b>	<b>2</b>
<b>2 Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante</b>	<b>2</b>
2.1 Spaltbreitenbestimmung . . . . .	2
2.2 Beugungsbild eines Steges . . . . .	3
2.3 Kreisöffnung, Kreisblende und Kante . . . . .	3
2.4 Dicke eines Haares . . . . .	3
<b>3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern</b>	<b>4</b>
3.1 Bestimmung der Spaltbreite und des Spaltabstand eines Doppelspaltes . . . . .	4
3.2 Dreifachspalt und Doppelspalt . . . . .	5
3.3 Bestimmung der Gitterkonstante eines Strichgitters . . . . .	5
<b>4 Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände</b>	<b>6</b>
4.1 Image Enhancement . . . . .	6
<b>5 Hologramm</b>	<b>6</b>

## 1 Brewsterwinkel

Wie in der Vorbereitung beschrieben, sollte zunächst beim Laser mit externen Resonatorspiegeln ein Brewsterfenster (also eine Glasplatte, die in einem drehbaren Plattenhalter eingespannt ist) zwischen Entladungsrohr und Resonatorspiegel gebracht werden. Es war jedoch nicht möglich die erwarteten Intensitätsänderungen je nach Drehwinkel zu beobachten. Da vermutlich die Glasscheibe nicht sauber genug war. Da auch Putzversuche nichts halfen, übersprangen wir diesen Versuchsteil.

Um den Brewsterwinkel zu bestimmen, stellten wir den Plattenhalter außerhalb der Resonatorspiegel in den Strahlengang. Wir beobachteten das Minimum der Reflexion, das an der Decke zu erkennen war<sup>1</sup>. Insgesamt stellten wir die Winkelstellung für das Minimum insgesamt fünfmal ein, wobei wir jedes Mal auch den Nullwinkel ablasen. Mittelt man über diese Messwerte so erhält man einen Brewsterwinkel von:

$$\alpha_B = 56,3^\circ$$

Aus dem Brewsterwinkel kann wie in der Vorbereitung erläutert der Brechungsindex des Glases bestimmt werden. Geht man von einem Brechungsindex von  $n_1 = 1$  für Luft aus, so erhält man:

$$n_2 = \tan \alpha_B = 1,499$$

Dieser Brechungsindex liegt in der typischen Größenordnung für Glas.

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

### 2.1 Spaltbreitenbestimmung

Die Spaltbreite  $d$  soll aus dem Beugungsbild bestimmt werden. Das Beugungsbild haben wir vom Schirm abgezeichnet. Da das Hauptmaximum sehr breit ist, haben wir nicht den Abstand vom Hauptmaximum zu den Maxima  $n$ -ter Ordnung gemessen, sondern stattdessen den Abstand zwischen den Maxima auf der rechten und linken Seite. Der Schirm stand 2m vom Spalt entfernt, so dass die Kleinwinkelnäherung verwendet werden kann. Es gilt also:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \frac{x}{l}$$

Dabei ist  $d$  die Spaltbreite,  $x$  der Abstand des  $n$ -ten Maximum zum nullten Maximum,  $l$  der Abstand zwischen Schirm und Spalt und  $\lambda = 632,8\text{nm}$ . Trägt man also  $n\lambda$  über  $x/l$  auf so erhält man aus der Steigung der linearen Regression die Spaltbreite  $d$ . Die Messdaten wurden an die Funktion  $f(x) = a + b \cdot x$  angepasst. Es ergab sich:

$$a = -8,98969 \cdot 10^{-9} \pm 2,04 \cdot 10^{-8} \quad b = 0,000286761 \pm 1,254 \cdot 10^{-6}$$

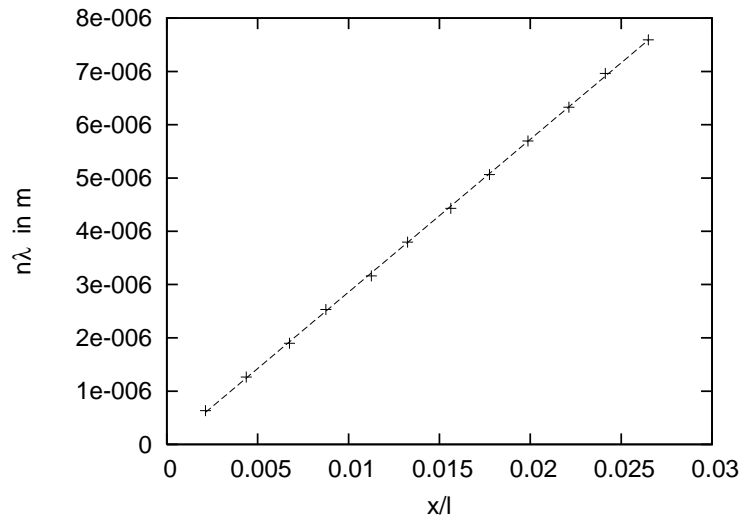
$$\Rightarrow d = 0,2868\text{mm}$$

Dies liegt nahe am Wert von 0,3mm der als ungefähre Spaltbreite angegeben war. Der statistische Fehler bei der Bestimmung ist mit unter 0,5% sehr klein.

---

<sup>1</sup>Die Messmethode mit dem Si-Photoelement konnten wir nicht durchführen, da dieses nicht vorhanden war.

n	x in cm
1	0,425
2	0,875
3	1,35
4	1,75
5	2,25
6	2,65
7	3,125
8	3,55
9	3,975
10	4,425
11	4,825
12	5,3



## 2.2 Beugungsbild eines Steges

Nun betrachten wir das Beugungsbild eines Steges. Aufgrund des Babinettheorems erwarten wir abgesehen vom Kernschatten, dass das Bild identisch zum Beugungsbild des Einfachspaltes derselben Breite ist. Qualitativ ist das Beugungsbild das eines Einfachspaltes. Die Maxima scheinen jedoch in etwas anderen Abständen zu liegen.

n	x in cm
1	0,375
2	0,825
3	1,225
4	1,6
5	2,025
6	2,5
7	2,925
8	3,3
9	3,725

Die Maxima haben also im Mittel einen Abstand von 0,407cm. Der Steg hätte damit eine Breite von 0,311cm. Steg und Spalt scheinen also nicht genau gleich breit zu sein. Der Steg ist breiter als der angegebene Grobwert und der Spalt ist schmaler. Dies erklärt die Unterschiede in den Beugungsbildern.

## 2.3 Kreisöffnung, Kreisblende und Kante

Wir betrachten nun die Beugungsbilder von Kreisöffnung, Kreisblende und Kante. Wie erwartet waren bei der Kreisöffnung konzentrisch angeordnete Maxima zu erkennen. Bei der Kreisblende erwarteten wir nun ein identisches Beugungsbild. Das Beugungsbild wurde jedoch durch starke Reflexe, die am Glas, das die Kreisblende umgab entstanden, gestört. Um diese Reflexe zu unterdrücken versuchten wir den Laserstrahl mit Hilfe einer Lochblende zu beschränken. Die erwarteten Kreise waren jedoch immer noch nur zu erahnen. Außerdem könnte es sich auch um das Beugungsbild gehandelt haben, das durch Beugung an der Lochblende entsteht.

Die Beugung an der Kante konnte beobachtet werden. Die Kante war vertikal angebracht, so dass man eine horizontale aus sehr dichten Interferenzstreifen bestehende Linie sah, die in den eigentlichen Schattenbereich hineinreichte.

## 2.4 Dicke eines Haares

Aus dem Beugungsbild eines Haares soll dessen Dicke bestimmt werden. Das Haar kann als Steg betrachtet werden. Aus den Abständen der Minima, die bei kleinen Winkeln äquidistant

sind, kann die Dicke des Haares bestimmt werden. Im Beugungsbild waren vier Minima zu erkennen. Der mittlere Abstand zwischen zwei Minima beträgt  $x = 1,77\text{cm}$ . Es gilt:

$$d = \frac{\lambda \cdot l}{x} = 71,5\mu\text{m}$$

Aus dem Beugungsbild erhalten wir also, dass das Haar  $71,5\mu\text{m}$  dick ist.

Wir maßen die Dicke auch mit einer Mikrometerschraube und erhielten  $d = 45\mu\text{m}$ . Für diese große Differenz zwischen den beiden Werten gibt es mehrere mögliche Ursachen. Zum einen kann es sein, dass das Haar zu elastisch war, so dass sein Widerstand nicht groß genug war und das Haar zusammengedrückt wurde bei der Messung mit der Mikrometerschraube. Außerdem können wir nicht sicher sagen, ob wir das Haar an derselben Stelle gemessen haben. Es ist davon auszugehen, dass das Haar nach außen immer dünner wird.

### 3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

#### 3.1 Bestimmung der Spaltbreite und des Spaltabstand eines Doppelpaltes

Aus dem Beugungsbild eines Doppelpaltes soll die Spaltbreite  $d$  und der Abstand zwischen den beiden Spalten  $g$  bestimmt werden. Der Schirm befand sich auf der Zeißschiene bei  $2,90\text{m}$  während der Doppelspalt bei  $90\text{cm}$  eingespannt wurde, womit der Abstand zum Schirm  $s = 2,00\text{m}$  beträgt. Diese Abstände wurden die gesamte Aufgabe durch eingehalten. Die Maxima sollten<sup>2</sup> äquidistant auf dem Schirm sein, da für die Maxima  $n$ . Ordnung gilt:

$$n\lambda = g \cdot \sin \alpha \quad \tan \alpha = \frac{a}{s} \quad a: \text{Abstand auf dem Schirm}$$

$$\Rightarrow g = \frac{s \cdot n \cdot \lambda}{a} \quad \text{mit } \sin \alpha \approx \tan \alpha$$

Es war immer sehr deutlich, wenn ein Maxima auf dem Schirm fehlte, sodass die Ordnung trotzdem abgezählt werden konnten. Für den Abstand zwischen den beiden Maxima 30. Ordnung erhielten wir einen Abstand von  $2a = 9,95\text{cm}$  auf dem Schirm, womit sich ein Wert für den Spaltabstand  $g$  ergibt:

$$g = \frac{s \cdot n \cdot \lambda}{a} = \frac{2\text{m} \cdot 30 \cdot 632,8\text{nm}}{\frac{9,95}{2}\text{cm}} = 0,763\text{mm}$$

Dieser Wert deckt sich sehr gut mit dem auf dem Spalt angegebenen Wert von  $0,75\text{mm}$ . Die Messung der Minima der Einhüllenden gestaltete sich als schwierig, da oftmals raten (oder wissen) notwendig gewesen wäre, um die Position eines Minimums festzustellen. Deshalb stellten wir eine Lochblende in den Strahlengang und beleuchteten damit nur einen der beiden Spalte. Für die Minima in  $n$ . Ordnung kann (ebenfalls in Kleinwinkelnäherung) folgende Formel angegeben werden:

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

$$\Rightarrow d = \frac{s \cdot n \cdot \lambda}{a} \quad \text{mit } \sin \alpha \approx \tan \alpha$$

Zwischen den beiden Minima 25. Ordnung ergab sich ein Abstand  $2a = 22,4\text{cm}$ , womit sich die Spaltbreite  $d$  berechnen lässt:

<sup>2</sup>in Kleinwinkelnäherung, die bei uns garantiert gegeben war!

$$d = \frac{s \cdot n \cdot \lambda}{a} = \frac{2 \text{ m} \cdot 25 \cdot 632,8 \text{ nm}}{\frac{22,4}{2} \text{ cm}} = 0,283 \text{ mm}$$

Dieser Wert weicht um 13,2% vom Wert 0,25 mm ab, welcher auf der Fassung notiert war. Unser Wert liegt allerdings weiterhin in der richtigen Größenordnung.

### 3.2 Dreifachspalt und Doppelspalt

Beim Doppelspalt ( $d = 0,25 \text{ mm} / g = 0,50 \text{ mm}$ ) sollten im Vergleich zum oben untersuchten Doppelspalt ( $d = 0,25 \text{ mm} / g = 0,75 \text{ mm}$ ) die Abstände zwischen den Maxima<sup>3</sup> größer sein. Für die Stellen, an denen Minima auftreten sollten sich nicht ändern; allerdings sollte allgemein mehr Maxima unterdrückt werden, da diese ja weiter auseinander liegen. Der experimentelle Vergleich bestätigte genau diese Thesen.

Vergleicht man den Dreifachspalt ( $d = 0,25 \text{ mm} / g = 0,50 \text{ mm}$ ) mit dem Doppelspalt ( $d = 0,25 \text{ mm} / g = 0,50 \text{ mm}$ ) so sollte das Beugungsbild (bis auf Nebenmaxima<sup>4</sup>) das gleiche sein, da die charakteristischen Größen  $d$  und  $g$  die gleiche sind. Lediglich die Maxima beim Dreifachspalt sollten schärfer sein. Der experimentelle Vergleich bestätigte dieses Verhalten zwar bei den tieferen Ordnungen; allerdings liefen beim Dreifachspalt die äußeren Maxima in die Höhe<sup>5</sup> zerfließen. Dadurch ließen sich beim Dreifachspalt zum einen weniger Ordnungen beobachten und zum anderen die Schärfe der Maxima nicht beurteilen.

### 3.3 Bestimmung der Gitterkonstante eines Strichgitters

Am Versuchsplatz war nur ein einziges Gitter vorhanden, sodass sich ein Vergleich zwischen zwei Gittern nicht ergab. Beim unserem Gitter (mit ungefähr 100 Strichen pro cm) ergaben sich sehr schön verschiedene Maxima. Das Maxima nullter Ordnung war durch die Intensität nicht mehr eindeutig zu erkennen, sodass man es nur noch aufgrund der geradlinigen Ausbreitung des Lichts entlang des Zeißschiene „erraten“ konnte. Wie bei den oberen Rechnungen gilt auch hier in der Kleinwinkelnäherung:

$$a_n = \frac{s \cdot n \cdot \lambda}{g}$$

Für den Abstand zweier Maxima ergibt sich also:

$$\Delta a = a_{n+1} - a_n = \frac{s \cdot \lambda}{g}$$

Für den Abstand von 28 aufeinanderfolgenden Maxima maßen wir  $28 \cdot \Delta a = 28,1 \text{ cm}$ , womit sich die Gitterkonstante  $g$  ergibt:

$$g = \frac{s \cdot \lambda}{\Delta a} = \frac{2 \text{ m} \cdot 632,8 \text{ nm}}{\frac{28,1 \text{ cm}}{28}} = 0,126 \text{ mm}$$

Dieser Wert liegt in der Größenordnung des Werts, den man aus der ungefähren Anzahl von 100 Spalten pro cm erhält ( $g \approx 0,1 \text{ mm}$ ).

<sup>3</sup> $a \propto \tan \alpha_n \approx \sin \alpha_n = \frac{n \cdot \lambda}{g}$

<sup>4</sup>Die Nebenmaxima wäre vermutlich aufgrund ihrer schwachen Intensität nicht beobachtbar gewesen. (vgl. Vorbereitung)

<sup>5</sup>Mit „in die Höhe“ ist gemeint, dass ihre Ausdehnung senkrecht zur Achse zum 0. Maxima zunahm.

## 4 Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände

Es sollte ein Gitter mit ca. 100 Spalten pro cm mit parallelem Licht beleuchtet werden und mit Hilfe einer 150mm-Linse abgebildet werden. Dazu stellen wir zuerst das Gitter in den Strahlengang und anschließend in einem Abstand  $g$ , der etwas größer als die Brennweite  $f = 15\text{ cm}$  war, die Sammellinse anzubringen. Durch diese Konstruktion sollte die Linse das Bild praktisch im unendlichen scharf abbilden. Unser „Unendlich“ war der 4m entfernte Schirm<sup>6</sup>. 15 cm nach der Linse (also in ihrer Brennebene) justierten wir die Beugungsordnungsblende.

Es soll untersucht werden, wie das Fehlen von bestimmten Beugungsordnungen sich auf das Bild auswirkt. Dazu wurde über die Blende gezielt das Maximum der nullten, ersten oder zweiten Ordnung ausgeblendet.

**nur 0. Maximum:** Es war nur ein Muster zu erkennen, das wir der evtl. schmutzigen Linse oder sonstigen Störungen zuschrieben.

**0. und 1. Maximum:** Das Muster des Gitters war eindeutig zu erkennen. Die Dichte der Spalte war identisch mit dem Bild, das wir erhielten, als wir die Beugungsordnungsblende entfernten.

**nur 1. Maximum:** Wir erhielten ein Gittermuster mit einer doppelt so hohen Dichte (verglichen mit der korrekten Abbildung).

**nur 2. Maximum:** Diesmal ergaben sich viermal so viele Spalte wie im Original.

Dieses Verhalten deckt sich mit der Theorie, die wir in der Vorbereitung diskutierten.

### 4.1 Image Enhancement

Will man aus einem digitalen Zeitungsbild das störende Raster verschwinden lassen, so könnte man versuchen, dieses auf obige Art abzubilden und darauf zu achten, dass die 1. Ordnung (und alle weiteren) des Rastergitters nicht mehr auf die abbildende Linse fällt. Dadurch wäre das Raster nicht mehr als solches zu erkennen, da man den Fall „nur 0. Maximum“ erreicht hätte. Objekte auf der Zeitung, die größer als das Raster sind, sollten trotzdem korrekt abgebildet werden, da ihre 1. Beugungsordnungen bei deutlich kleineren Winkel auftreten.

## 5 Hologramm

Zum Abschluss des Versuches sollte ein Hologramm betrachtet werden. Wie ein Hologramm entsteht bzw. was es ist, wurde bereits in der Vorbereitung erläutert. Um das Hologramm wieder sichtbar zu machen, beleuchteten wir es mit dem durch eine Zerstreuungslinse aufgeweiteten Laserstrahl. Stellte man das Hologramm nun leicht schräg zum Strahlengang, so konnte das dreidimensionale Bild direkt betrachtet werden ohne in den gefährlichen Laserstrahl blicken zu müssen. Das Hologramm zeigte ein Auto. Durch ändern des Blickwinkels konnte man auch die Ansicht des Autos ändern, was die Dreidimensionalität des Hologramms schön verdeutlicht.

---

<sup>6</sup>4m, weil wir zuerst 2m bis zum Ende der Zeischeine strahlten und von dort mit einem Spiegel das Licht zurckwarfen.