

Auswertung: Laser A

Christine Dörflinger und Frederik Mayer, Gruppe Do-9

31. Mai 2012

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----|---|----|
| 1 | Brewsterwinkel | 3 |
| 1.1 | Brewsterfenster | 3 |
| 1.2 | Brechungsindex eines Glases aus Brewsterwinkel | 3 |
| 2 | Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante | 4 |
| 2.1 | Bestimmung der Breite eines Spalts aus der Lage der Intensitätsmaxima | 4 |
| 2.2 | Vergleich des Beugungsbilds eines Stegs mit dem des Spalts | 6 |
| 2.3 | Beugungsbilder einer Kreisöffnung, einer Kreisscheibe und einer Kante | 6 |
| 2.4 | Durchmesser eines Haares | 7 |
| 3 | Beugung an Mehrfachspalten und Gittern | 8 |
| 3.1 | Spaltbreite und Spaltabstand eines Doppelspalts | 8 |
| 3.2 | Zweiter Doppelspalt, Dreifachspalt | 10 |
| 3.3 | Strichgitter | 10 |
| 4 | Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände | 11 |
| 5 | Holographie | 12 |
| 6 | Quellen | 13 |

1 Brewsterwinkel

1.1 Brewsterfenster

In diesem Versuchsteil wurde ein drehbares Glasplättchen zwischen Entladungsrohr und Resonatorspiegel angebracht. Es konnte dabei beobachtet werden, dass die Intensität des Lasers von der Neigung des Plättchens abhängt. Somit sind Brewsterfenster notwendig um die Intensität eines Lasers zu maximieren.

Nach Augenmaß ergab sich:

$$\boxed{\Theta_{B_{1,1}} = 58^\circ} \quad (1)$$

1.2 Brechungsindex eines Glases aus Brewsterwinkel

Im Vergleich zu Teilaufgabe 1.1 wurde in diesem Teilversuch das drehbare Glasplättchen außerhalb des 'Lasers' angebracht. Zunächst wurde der Winkel, an dem die Intensität minimal wird mit bloßem Auge bestimmt:

$$\Theta_{B_{1,2\text{Min}}} = 58,5^\circ \quad (2)$$

Unter Verwendung eines Si-Fotoelements ergab sich aus einer Maximumsmessung (Anmerkung: Die Werte haben geschwankt, auch wenn nicht am Glasplättchen gedreht wurde, daher evtl. ungenau) :

$$\Theta_{B_{1,2\text{Max}}} = 58^\circ \quad (3)$$

Daraus ergibt sich gemittelt über alle 3 Werte von Θ_B :

$$\boxed{\bar{\Theta}_B = 58,17^\circ} \quad (4)$$

Aus der Vorbereitung mit $n_{\text{Luft}} \approx 1$:

$$\tan(\Theta_B) = \frac{n_{\text{Glas}}}{n_{\text{Luft}}} \implies n_{\text{Glas}} \approx \tan(\Theta_B) \quad (5)$$

Aus der Messung ergibt sich:

$$\boxed{n_{\text{Glas}} \approx \tan(\bar{\Theta}_B) = 1,61} \quad (6)$$

Somit stimmt unser gemessener Wert relativ gut mit dem theoretischen Wert von $n_{\text{th,Glas}} \approx 1,5$ überein.

Da die Werte $\Theta_{B_{1,2\text{Max}}}$ und $\Theta_{B_{1,2\text{Min}}}$ sehr ähnlich sind, können wir experimentell nicht bestätigen, dass die Minimumbestimmung genauer ist.

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

Anmerkung: Im Folgenden wird als Ordnung der Minima die Zahl k angegeben. Dabei ist mit $k = 0$ kein mittleres Minimum, sondern das mittlere Maximum gemeint, an dem sich die Position der Minima orientiert (wird auf 0 korrigiert). Außerdem ist die Unterteilung in positive und negative k da, um die Richtung anzugeben: Für negative k lagen die Minima unterhalb des mittleren Maximums für positive k darüber (Die Interferenzmuster wurden vertikal projiziert).

2.1 Bestimmung der Breite eines Spalts aus der Lage der Intensitätsmaxima

In diesem Versuch sollte die Spaltbreite eines Spalts bestimmt werden. Dazu markierten wir die Intensitätsminima auf einem Millimeterpapier. Da im Versuch nicht exakt eine Achse markiert wurde, sondern die Mitte um 0,1 mm nach unten verschoben ist wurden die Werte folgendermaßen korrigiert:

Für den Abstand zwischen Spalt und Schirm maßen wir:

$$l = 165.2 \text{ cm} \quad (7)$$

Die Lage der Minima ist gegeben durch folgenden Zusammenhang:
(a : Lage Minima; $\lambda = 632,8 \text{ nm}$: Wellenlänge Laser; d : Spaltbreite)

$$d = k \cdot \lambda \frac{l}{a} \longrightarrow a = k \cdot \lambda \frac{l}{d} \quad (8)$$

$a = k \cdot \lambda \frac{l}{d}$ lässt sich als Geradengleichung auffassen.

Mit Matlab ergab sich für die Steigung:

$$m = 0,3095 \text{ cm} \quad (9)$$

Aus der Steigung $m = \frac{\lambda l}{d}$ lässt sich die Spaltbreite bestimmen.

$$d = \frac{\lambda l}{m} = 0,2045 \text{ mm} \quad (10)$$

Da wir leider nicht die tatsächliche Spaltbreite notiert haben, können wir an dieser Stelle nur vermuten, dass der Spalt mit $d \approx 0,2 \text{ mm}$ verwendet wurde.

Tabelle 1: Messdaten 2.1 mit korrigierten Werten für a

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| O. k | -18 | -17 | -16 | -15 | -14 | -13 | -12 | -11 | -10 | -9 | -8 | -7 | -6 | -5 |
| a_{korr} [cm] | -5,60 | -5,25 | -4,95 | -4,70 | -4,40 | -4,10 | -3,70 | -3,40 | -3,10 | -2,75 | -2,45 | -2,20 | -1,90 | -1,60 |
| O. k | -4 | -3 | -2 | -1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| a_{korr} [cm] | -1,25 | -0,90 | -0,60 | -0,30 | 0,30 | 0,60 | 0,90 | 1,20 | 1,55 | 1,85 | 2,15 | 2,45 | 2,80 | 3,05 |
| O. k | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| a_{korr} [cm] | 3,40 | 3,70 | 4,00 | 4,30 | 4,60 | 4,90 | 5,20 | 5,50 | 5,80 | 6,20 | 6,50 | 6,80 | 7,15 | 7,45 |
| O. k | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | | | |
| a_{korr} [cm] | 7,75 | 8,00 | 8,30 | 8,70 | 9,00 | 9,35 | 9,65 | 10,00 | 10,15 | 10,50 | 10,85 | | | |

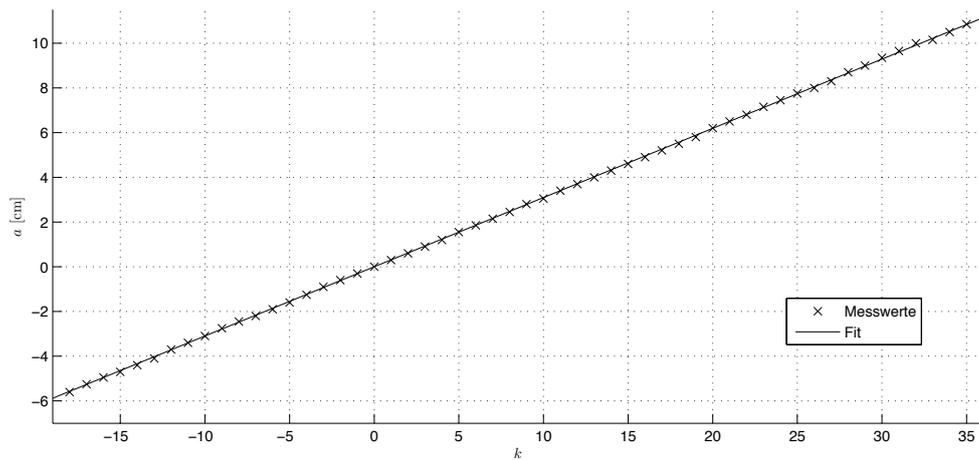


Abbildung 1: Darstellung der Messergebnisse aus 2.1; an der Stelle $k = 0$ ist kein Minimum, wurde nur zur Achsenverschiebung verwendet!

2.2 Vergleich des Beugungsbilds eines Stegs mit dem des Spalts

Wie in der Vorbereitung erläutert, erwarteten wir hier, dass das Beugungsbild eines Spalts und eines Stegs mit gleicher Breite identisch sind.

Unsere Erwartungen konnten experimentell bestätigt werden.

Anmerkung: Bei den Bildern stimmt die Skalierung nicht, es wurde allerdings auf dem Millimeterpapier überprüft, ob die Minima gleich weit auseinander liegen.

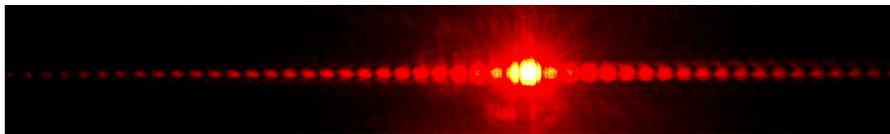


Abbildung 2: Beugungsbild Steg ($d = 0,3 \text{ mm}$)

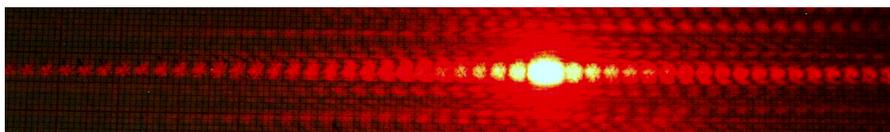


Abbildung 3: Beugungsbild Doppelspalt ($d = 0,3 \text{ mm}$)

2.3 Beugungsbilder einer Kreisöffnung, einer Kreisscheibe und einer Kante

Analog zu 2.1 sollte hier gezeigt werden, dass das Beugungsbild einer Kreisöffnung und einer Kreisscheibe identisch sind. Als Bild erwarteten wir leuchtende Ringe mit einem

hellen Fleck in der Mitte. Dieser sogenannte Poissonsche Fleck entsteht, weil alle von der Kante der Kreisscheibe, bzw. -öffnung ausgehenden Elementarwellen keinen oder nur einen geringen Gangunterschied aufweisen.

Bei der Kreisscheibe war das Beugungsbild teilweise verwaschen, aber Ringe und Poissonscher Fleck waren wie bei der Kreisöffnung vorhanden. Daher wird hier allerdings auf ein Bild des Beugungsmusters der Kreisscheibe verzichtet.

Außerdem sollte das Beugungsbild einer Kante dargestellt werden. Leider haben sich unsere Erwartungen (Streifen) nicht bestätigen lassen. Unser Bild ähnelt eher Halbkreisen.

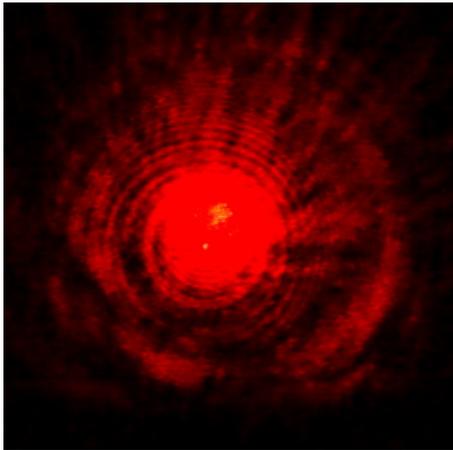


Abbildung 4: Kreisöffnung

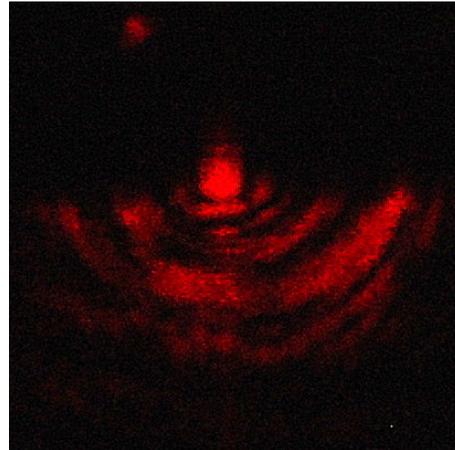


Abbildung 5: Kante

2.4 Durchmesser eines Haares

Die Berechnung der Haardicke erfolgt analog zu 2.1, da das Haar als Steg aufgefasst werden kann und somit das gleiche Beugungsbild wie ein Doppelspalt aufweist (experimentell bestätigt).

Zunächst maßen wir die Haardicke mit einer Mikrometerschraube und erhielten:

$$d_{\text{Haar},1} = 0,065 \text{ mm} \quad (11)$$

Berechnung mit Beugungsmuster:

Für die Steigung erhielten wir:

$$m = 1,771 \text{ cm} \quad (12)$$

Daraus folgt mit $l = 134,6 \text{ cm}$:

$$d_{\text{Haar},2} = \frac{\lambda l}{m} = 0,048 \text{ mm} \quad (13)$$

Die Ergebnisse der beiden Messungen weichen um 26,2% ab. Möglicherweise wurde die Mikrometerschraube nicht ganz zuge dreht. Jedoch sind beide Werte in einer sinnvollen Größenordnung, da Haare zwischen 0,02 und 0,07 mm breit sind.

Tabelle 2: Messdaten 2.4 mit korrigierten Werten für a

| Ordnung k | -3 | -2 | -1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|------------------------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| a_{korr} [cm] | -5,05 | -3,50 | -2,65 | 1,75 | 3,55 | 5,15 | 7,05 | 8,80 | 10,55 |

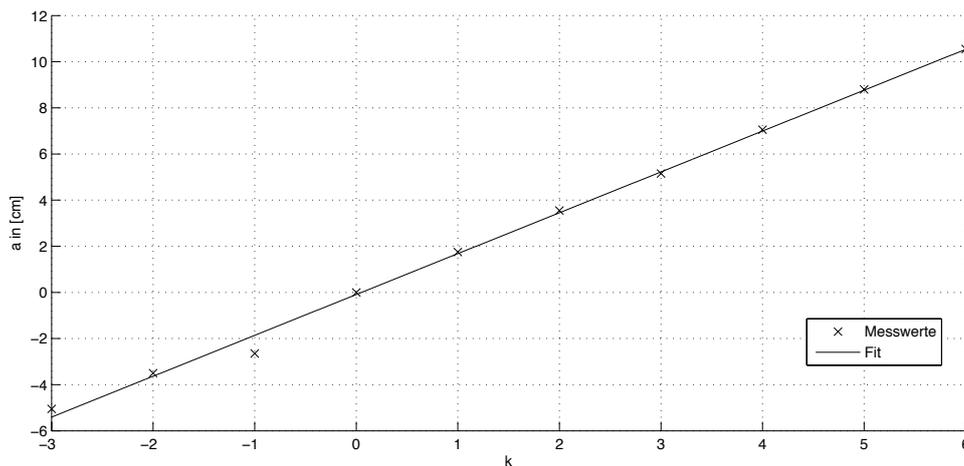


Abbildung 6: Darstellung der Messergebnisse aus 2.4 (wie bei 2.1 an Stelle $k = 0$ kein Minimum!)

3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Spaltbreite und Spaltabstand eines Doppelspalts

In diesem Teilversuch wurde ein ein Doppelspalt verwendet mit $b = 0,25$ mm und $g = 0,5$ mm im Abstand $l = 189,6$ cm vom Schirm. Wir betrachteten allerdings nur die Minima von einem Spalt (der andere wurde abgedeckt). Somit entspricht die Rechnung der aus Aufgabe 2.1.

Die Breite der Spalte b lässt sich berechnen mit:

$$b = \frac{\lambda l}{m} = 0,212 \text{ mm} \quad (14)$$

Als Steigung m erhielten wir zunächst $m_1 = 0,5672$ cm, was uns auf eine Breite b_1 führt:

$$b_1 = 0,212 \text{ mm} \quad (15)$$

Auffällig dabei ist allerdings, dass es um den Nullpunkt herum einen ‚Knick‘ gibt (Knick: Steigung vom unteren Teil weicht vom oberen ab). Möglicherweise war die untere Hälfte des Blattes abgeknickt, da wir vertikal projizierten. Aus einem Fit durch die oberen Messwerte ergibt sich:

$$m_2 = 0,534 \text{ cm} \longrightarrow b_2 = 0,225 \text{ mm} \quad (16)$$

Somit liegt der Wert b_2 näher am theoretischen Wert als b_1 . Die Abweichungen können daher rühren, dass es sehr schwierig war das Interferenzmuster zu ‚fokussieren‘ und somit die Minima deutlich zu markieren.

Tabelle 3: Messwerte 3.1

| | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ordnung k | -10 | -9 | -8 | -7 | -6 | -5 | -4 | -3 | -2 | -1 |
| a_{korr} [cm] | -5,45 | -5,05 | -4,45 | -4,00 | -3,30 | -2,70 | -2,10 | -1,55 | -0,90 | -0,30 |
| Ordnung k | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| a_{korr} [cm] | 0,25 | 0,85 | 1,50 | 2,05 | 2,65 | 3,20 | 3,80 | 4,40 | 5,05 | 5,65 |
| Ordnung k | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| a_{korr} [cm] | 6,20 | 6,75 | 7,40 | 7,95 | 8,60 | 9,10 | 9,75 | 10,40 | 10,95 | 11,55 |

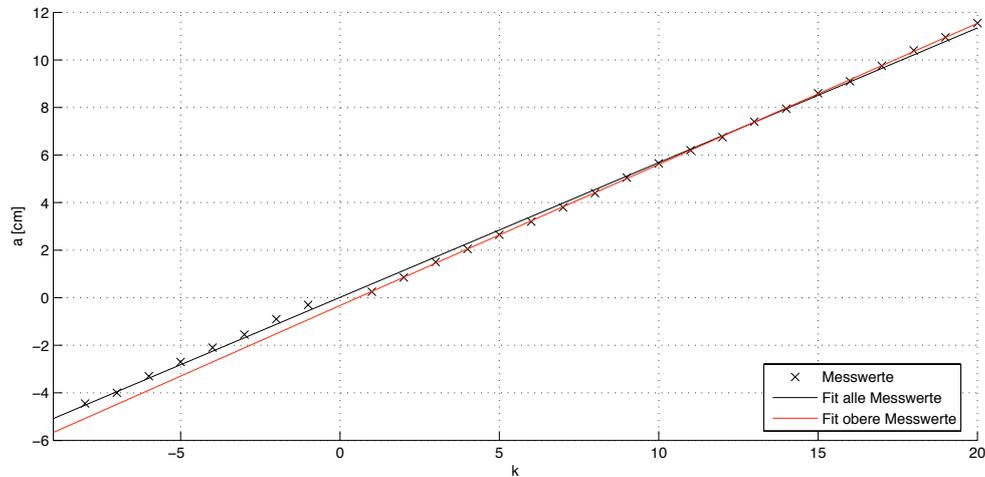


Abbildung 7: Darstellung der Messergebnisse aus 3.1

3.2 Zweiter Doppelspalt, Dreifachspalt

- (a) In diesem Versuch wurden die Interferenzmuster von zwei Doppelspalten mit unterschiedlichem Spaltabstand betrachtet: Beim einen Doppelspalt betrug der Spaltabstand $g = 0,25 \text{ mm}$, beim Anderen $g = 0,75 \text{ mm}$. Bei beiden Spalten betrug die Spaltbreite $0,2 \text{ mm}$.

Beim Vergleich der beiden Interferenzmuster war erwartungsgemäß zu beobachten, dass der Abstand der Hauptmaxima beim ersten Doppelspalt ($g = 0,25 \text{ mm}$) drei mal so groß war wie beim zweiten Doppelspalt ($g = 0,75 \text{ mm}$).

- (b) Anschließend wurden die Interferenzmuster eines Gitters und eines Dreifachspaltes verglichen (Spaltabstand und Spaltbreite bei beiden gleich: $g = 0,25 \text{ mm}$; $d = 0,5 \text{ mm}$).

Im Vergleich waren die Hauptmaxima beim Gitter viel schmaler und damit ‚schräfer‘ als beim Dreifachspalt. Zwischen den Hauptmaxima waren keine Nebenmaxima zu sehen. Beim Gitter hingegen war zwischen den hellen Hauptmaxima jeweils ein dunkleres Nebenmaximum zu erkennen. Die Lage der Hauptmaxima war bei beiden Interferenzmustern jedoch identisch.

3.3 Strichgitter

Nun wurde Interferenz an einem Gitter (100 Spalte pro cm) beobachtet, das eine Entfernung von $d = 189,4 \text{ cm}$ zum Schirm hatte. Bei Gittern sind die Intensitätsmaxima schärfer und schmaler und die Intensitätsminima sehr breit, sodass es keinen Sinn hatte, Intensitätsminima aufzuzeichnen. Stattdessen markierten wir die Intensitätsmaxima auf dem Millimeterpapier. Nebenmaxima waren nicht zu erkennen.



Abbildung 8: Beugungsbild Strichgitter ($d = 0,01 \text{ cm}$)

Wir nahmen folgende Messwerte auf:

Tabelle 4: Aufgenommene Messwerte

| | | | | | | | |
|------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|
| Ordnung k | -4 | -3 | -2 | -1 | 0 | 1 | 2 |
| Abstand a [cm] | -5,45 | -4,10 | -2,70 | -1,40 | 0,00 | 1,40 | 2,90 |
| Ordnung k | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | |
| Abstand a [cm] | 4,15 | 5,60 | 7,00 | 8,40 | 9,75 | 11,15 | |

Dann wurde a über k aufgetragen und ein linearer Fit durchgeführt, um die Steigung zu bestimmen:

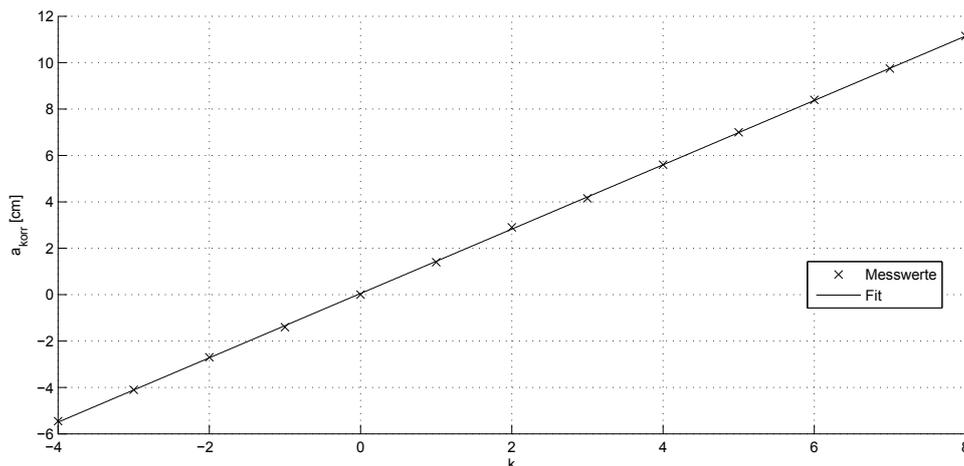


Abbildung 9: Auftragung von a über k , Steigung aus linearem Fit: $m = 1,387 \text{ cm}$

Formt man die Formel für Intensitätshauptmaxima beim Doppelspalt $a = k \cdot \lambda \frac{l}{d}$ um, wobei k die Ordnung der Hauptmaxima, d die Spaltbreite, a die Lage der Maxima und λ die Wellenlänge des Lasers von $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ bezeichnet, erhält man:

$$d = \frac{\lambda l}{m} = \frac{632,8 \text{ nm} \cdot 1,894 \text{ m}}{1,387 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 0,0086 \text{ cm}. \quad (17)$$

Dieser Wert weicht vom theoretisch für die Spaltbreite erwarteten Wert von $0,01 \text{ cm}$ um ungefähr -14% ab.

4 Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände

In diesem Versuch wurde ein Wabengitter wie in der Vorbereitung beschrieben mit einem Laser beleuchtet. Hinter dem Gitter wurde in den Strahlengang eine Linse und ein Spiegel so eingebaut, dass der Schatten des Gitters möglichst scharf auf eine Wand projiziert wurde (Die Linse macht die Fouriertransformation des Gitters rückgängig). Im Brennpunkt der Linse (auf der anderen Seite als das Gitter) wurde außerdem eine sogenannte Beugungsordnungsblende eingebaut, sodass eingestellt werden konnte, welche Beugungsordnungen des Gitters zur Bildentstehung auf der Wand beitragen können.

Zunächst stellten wir die Beugungsordnungsblende so ein, dass nur das 0. Maximum des Gitters durchgelassen wurde. In diesem Fall sahen wir kein Abbild des Gitters auf der Wand, sondern lediglich einen unscharfen roten Punkt.

Anschließend stellten wir die Blende so ein, dass Maxima höherer Ordnung durchgelassen werden und damit an der Bildentstehung teilhaben können. In diesen Fällen sah man dann das Abbild des Wabengitters auf der Wand. Dabei war das Wabengitter

umso deutlicher zu erkennen, je mehr Maxima durchgelassen wurden. Bereits ab dem 3. Maximum war jedoch kaum eine Steigerung mehr zu erkennen.

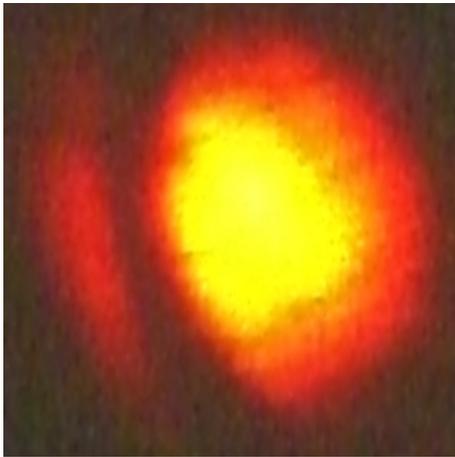


Abbildung 10: Abbild des Wabengitters, wenige Maxima werden durchgelassen. Es ist nur ein unscharfer Punkt zu erkennen

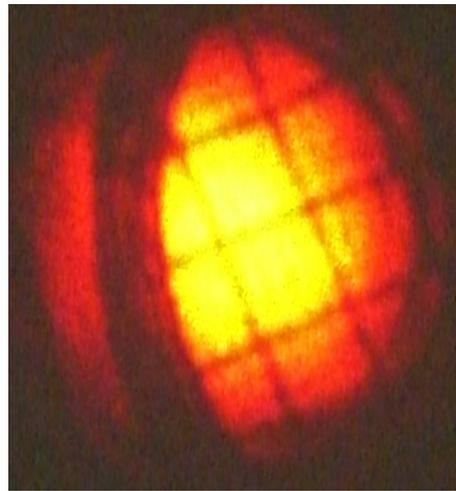


Abbildung 11: Viele Maxima werden durchgelassen: Das Abbild ist deutlicher zu erkennen, es ist mehr Bildinformation vorhanden

Insgesamt konnte jedoch die Abbe'sche Abbildungstheorie bestätigt werden: Zur korrekten Darstellung des Bildes sind alle Beugungsordnungen notwendig.

5 Holographie

In diesem Versuch betrachteten wir unterschiedliche Hologramme.

- (a) Zunächst wurde ein Weißlichthologramm in Tageslicht direkt angeschaut. Es war ein Auto zu erkennen. Bei Neigung des Hologramms änderte sich die Perspektive, das virtuelle Bild des Hologramms war also wirklich dreidimensional. Bei der Betrachtung unter Tageslicht war das Bild jedoch leicht unscharf. Dies konnte dadurch behoben werden, dass das Hologramm in dem Licht betrachtet wurde, in dem es auch aufgenommen wurde.
- (b) Anschließend wurde ein anderes Hologramm betrachtet: Dieses wurde zunächst von einem von einer Linse aufgeweiteten (und damit für die Augen ungefährlichen) Laserstrahl beleuchtet. Wieder war ein dreidimensionales, virtuelles Bild von einem Auto im Hologramm erkennbar.

Um das reelle Bild darzustellen, hielten wir ein weißes Blatt Papier hinter das Hologramm. Nun wurde das Auto auf das Blatt Papier projiziert. Bei Änderung des

Sichtwinkels wurde aber deutlich, dass das reelle Bild des Hologramms nicht dreidimensional war. Außerdem war das reelle Bild leicht unscharf. Als wir jedoch die Linse ausbauten und das Hologramm mit dem Laserstrahl direkt beleuchteten, war das reelle Bild scharf zu erkennen. Daraus lässt sich folgern, dass der Linsenfehler einen viel größeren negativen Einfluss als nur teilweise Ausleuchtung (und damit fehlende Bildinformation) des Hologramms hat.

6 Quellen

- http://de.wikipedia.org/wiki/Glas#Physikalische_Eigenschaften
- <http://de.wikipedia.org/wiki/Kopfhaar#Haardicke>