Auswertung
mit ausführlicher Fehlerrechnung

Laser A
Versuch P2 16,17,18

Iris Conradi, Melanie Hauck
Gruppe Mo-02

3. Mai 2011

Inhaltsverzeichnis

1 Brewsterwinkel

1.1 Brewsterfenster

Dieser Versuch konnte nicht erfolgreich durchgeführt werden, da das Brewsterfenster in allen drei Dimensionen verstellt werden konnte. Der Effekt wäre nur bei korrekter Ausrichtung in allen Richtungen aufgetreten.

Das Gasentladungsrohr ist schon mit Brewsterfenstern abgeschlossen, es tritt p-polarisiertes Licht aus. Wäre das Fenster im Brewsterwinkel ausgerichtet gewesen, so wäre das gesamte Licht transmittiert worden, d.h. es wäre ein roter Punkt an der Wand sichtbar gewesen.

1.2 Brewsterwinkel

Zuerst haben wir den Brewsterwinkel durch Beobachten des Minimums der Reflexion gemessen. Bei einem Winkel von etwa 57° war keine Reflexion mehr zu erkennen. Dies ist der Brewsterwinkel.

Nun haben wir das Maximum der Transmission mit Hilfe eines Si-Photoelements bestimmt. Die abgelesenen Werte für die Photospannung sind im Messprotokoll zu finden. Es ist kein scharfes Maximum zu erkennen. Jedoch befindet sich das Maximum etwa im Bereich von $54 - 56°$.

Die Messung des Maximum war erwartungsgemäß ungenauer. Die Ergebnisse der beiden Messung passen aber zusammen.

Da die Messung des Minimus genauer war, werden wir $\Theta_B = 57°$ verwenden, um den Brechungsindex der Glasscheibe zu bestimmen.
Mit Gleichung (1) aus der Vorbereitung und der Annahme, dass der Brechungsindex von Luft 1 ist, findet man: $n_{Glas} \approx 1,54$. Dieser Wert entspricht den Erwartungen, da für Glas üblicherweise $n = 1,5$ angenommen wird.

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

2.1 Einfachspalt

Alle folgenden Versuche wurden mit dem Abstand $d = 2.139\,\mathrm{m}$ durchgeführt. Für diese Strecke nehmen wir einen systematischen Fehler von $\Delta d = \pm 3\,\mathrm{mm}$ an. Man konnte auf der Zeissschiene zwar feiner abmessen, jedoch war die Position des Spaltes in der Halterung ungenau.
Im Laufe der verschiedenen Messungen war der Abstand a auf dem Schirm immer kleiner als 15 cm. Für diesen Maximalwert haben wir die Kleinwinkelnäherung $\tan\alpha_l \approx \sin\alpha_l$ überprüft:

$$\tan\alpha_l \approx 1,2240 \cdot 10^{-3} \qquad \sin\alpha_l \approx 1,2239 \cdot 10^{-3} \tag{1}$$

Daher werden wir im Folgenden die Gleichung

$$a = \underbrace{\frac{d \cdot \lambda}{b}}_{m} \cdot l \tag{2}$$

verwenden, die aus Gleichung (2) und Gleichung (3) aus der Vorbereitung hervorgeht.

Für die Strecke a auf dem Schirm nehmen wir an, dass durch die Dicke der Bleistiftmine und dadurch, dass es schwierig war im Dunkeln den Bleistift richtig anzusetzten, ein statistischer Fehler von $\sigma_a = \pm 1\,\text{mm}$ entstanden ist. Für einige Werte höherer Ordnung haben wir einen Fehler von $\sigma_a = \pm 2\,\text{mm}$ verwendet, da diese schwieriger zu erkennen waren.
Außerdem nehmen wir an, dass der Wert für die Wellenlänge des Lasers gerundet ist und wir somit einen systematischen Fehler $\Delta\lambda = \pm 0.05\,\text{nm}$ haben.
Diese Werte für die Fehler werden auch bei den folgenden Versuchen verwendet.

In Abbildung 1 sieht man das Ergebnis der linearen Regression, die wir mit gnuplot mit der Gleichung $a(l) = m \cdot l + c$ durchgeführt haben. Für die Parameter wurden folgende Werte ausgegeben:

- $m = (0.00482966 \pm 0.00005348)\text{m}$
- $c = (-0.000459572 \pm 0.0003977)\text{m}$

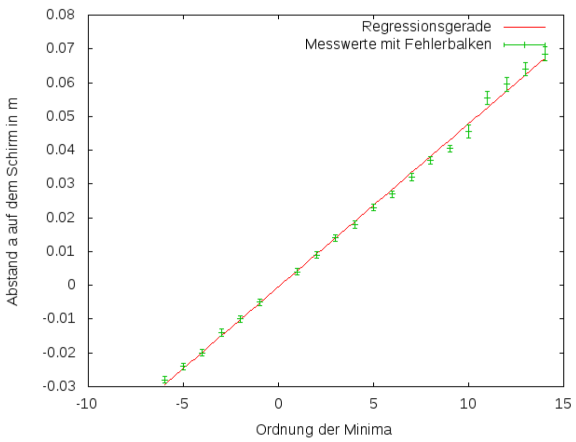


Abbildung 1: Lineare Regression

Eigentlich erwartet man (vgl. Gleichung (2)) eine Ursprungsgerade. Der Wert für c ist jedoch sehr klein und $c = 0\,\text{m}$ liegt fast im Fehlerbereich. Üblicherweise äußert sich in einem unerwarteten y-Achsenabschnitt ein systematischer Fehler. Dieser ist hier jedoch sehr klein.

Nun berechnen wir die Spaltbreite b mit Hilfe der Definition in Gleichung (2).

$$b = \frac{d \cdot \lambda}{m} = 0.280\,26\,\mathrm{mm} \tag{3}$$

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{-d \cdot \lambda}{m^2}\right)^2 \cdot \sigma_m^2} = 3.10 \cdot 10^{-3}\mathrm{mm} \tag{4}$$

$$\Delta b = \frac{\lambda}{m} \cdot \Delta d + \frac{d}{m} \cdot \Delta\lambda = 4.2 \cdot 10^{-4}\mathrm{mm} \tag{5}$$

$$\Rightarrow b = (0.28026 \pm 0.00310 \pm 0.00042)\mathrm{mm} \tag{6}$$

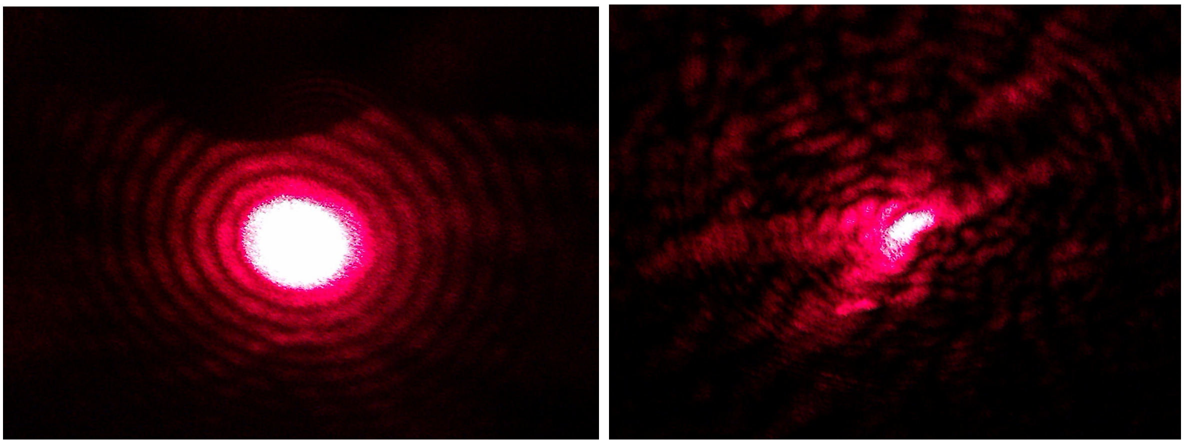
Der verwendete Spalt war mit einer ungefähren Spaltbreite von $b \approx 0.3\,\mathrm{mm}$ angegeben. Somit passt unser Ergebnis dazu. Der Spalt ist tatsächlich also etwas schmaler.

2.2 Babinet-Theorem

Die Anordnung des Versuches, insbesondere der Abstand Schirm-Beugungsfläche, wurde beibehalten. Anstelle des 0.3 mm-Spaltes verwendeten wir einen entsprechend breiten Steg.
Die oberen beiden Beugungsbilder im Messprotokoll zeigen die Bilder des Spaltes und des Steges. Man kann gut erkennen, dass die Beugungsbilder gleich sind. Insbesondere im inneren Bereich der Beugungsbilder waren die Maxima gut zu erkennen. In diesem Bereich entsprechen sich die Beugungsbilder besonders gut.
Somit konnten wir die Aussage des Babinet-Theorems bestätigen.

2.3 Kreisöffnung, Kreisscheibe, Kante

Abbildung 2 zeigt die Beugungsbilder von Kreisöffnung und Kreisscheibe. Man sieht, dass beide Beugungsbilder aus konzentischen Kreisen bestehen, die um einen hellen Fleck angeordnet sind. Es ist jedoch nur ein qualitativer Vergleich möglich, da die Bilder aus unterschiedlicher Entfernung aufgenommen wurden.
Auch dieser Vergleich bestätigt das Babinet-Theorem.



(a) Kreisöffnung (b) Kreisscheibe

Abbildung 2: Beugungsbilder

Der Glasträger der Kreisscheibe war nicht sauber, daher ist das Beugungsbild der Kreisscheibe so ungenau. Wir habne versucht den Glasträger zu reinigen, jedoch war es nicht möglich die Verschmutzung zu entfernen.

Das Beugungsbild der Kante war ein Leuchtstreifen mit hellem Zentrum, der senkrecht zur Kante in beide Richtungen ausgebreitet war. Dies entspricht nicht den Erwartungen. Es sollte sich auf der nicht abgedeckten Seite ein streifiges Muster ergeben. Auf der abgedeckten Seite sollte kaum Licht zu sehen sein.
Wir vermuten, dass die Kante nicht scharf genug war, und sich so mehrere Beugungsbilder überlagert haben.

2.4 Durchmesser eines Haares

Zur Bestimmung des Durchmessers des Haares b gehen wir analog zu Aufgabe 2.1 vor. Die lineare Regression ist in Abbildung 3 zu sehen. Es ergaben sich:

- $m = (0.0167829 \pm 0.00004244)\mathrm{m}$
- $c = (0.00105385 \pm 0.0001304)\mathrm{m}$

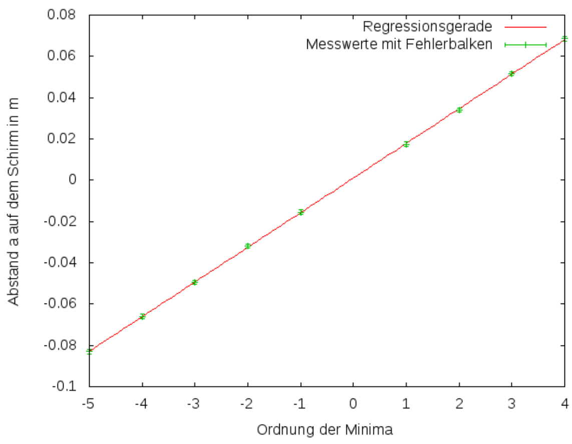


Abbildung 3: Lineare Regression

$$b = \frac{d \cdot \lambda}{m} = 0.080\,651\,1\,\text{mm} \tag{7}$$

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{-d \cdot \lambda}{m^2}\right)^2 \cdot \sigma_m^2} = 2.0395 \cdot 10^{-4}\text{mm} \tag{8}$$

$$\Delta b = \frac{\lambda}{m} \cdot \Delta d + \frac{d}{m} \cdot \Delta\lambda = 1.1949 \cdot 10^{-4}\text{mm} \tag{9}$$

$$\Rightarrow b = (80.6511 \pm 0.2040 \pm 0.1195)\mu\text{m} \tag{10}$$

Der Wert hat nur einen geringen Fehler, dies haben wir auch erwartet, da die Lage der Minima sehr gut zu erkennen war.
Die Messung mit der Mikrometerschraube ergab einen Durchmesser von 60 μm. Es ist sehr gut möglich, dass dieser Wert niedriger liegt, als der wahre Durchmesser des Haares, da wir das Haar sehr fest eingespannt haben und es so vermutlich zusammengedrückt wurde.

3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Doppelspalt

Zur Bestimmung des Spaltabstandes x haben wir die Lage der Maxima bestimmt und wie in 2.1 aufgetragen. Die lineare Regression ist in Abbildung 4 zu sehen. An Gleichung (5)

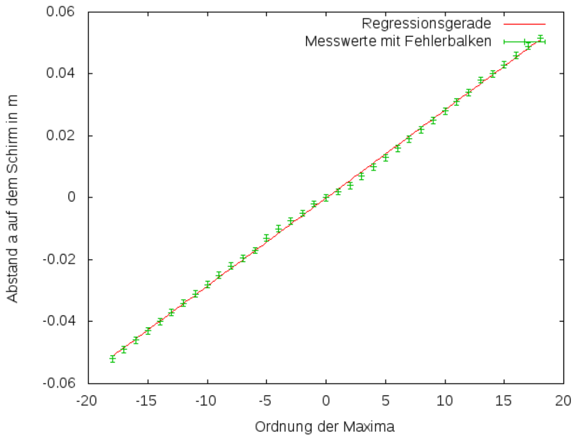


Abbildung 4: Lineare Regression zur Bestimmung des Spaltabstandes

in der Vorbereitung kann man erkennen, dass auch die Bestimmung des Spaltabstandes analog zu 2.1 durchgeführt werden kann.

Für die Parameter ergibt sich:

- $m = (0.00284234 \pm 0.00001241)\text{m}$
- $c = (-0.0000675677 \pm 0.0001325)\text{m}$

Hier liegt der Wert $c = 0$ im Fehlerbereich, sodass sich kein systematischer Fehler bemerkbar macht.

$$x = \frac{d \cdot \lambda}{m} = 0.476\,212\,979\,4\,\text{mm} \tag{11}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\left(\frac{-d \cdot \lambda}{m^2}\right)^2 \cdot \sigma_m^2} = 2.079203429 \cdot 10^{-3}\text{mm} \tag{12}$$

$$\Delta x = \frac{\lambda}{m} \cdot \Delta d + \frac{d}{m} \cdot \Delta\lambda = 2.055278397 \cdot 10^{-4}\text{mm} \tag{13}$$

$$\Rightarrow x = (0.47621 \pm 0.00208 \pm 0.00021)\text{mm} \tag{14}$$

Das Ergebnis irritiert uns, da wir einen Doppelspalt mit Spaltabstand 0.75 mm verwendet haben. Es könnte sein, dass die Halterung leicht schief stand, sodass die Spaltbreite und der Spaltabstand effektiv geringer waren. Der im nachfolgenden Versuch verwendete Spalt wurde genauso in die Halterung eingebracht, sodass er dann ebenfalls schmaler wirkte.

Wir sind davon ausgegangen, dass man anhand der Intensitätsverteilung die Einhüllende hätte erkennen können. Dies war allerdings nicht der Fall. So können wir nicht die entsprechenden Minima auswählen um die Spaltbreite zu bestimmen. Wenn man Werte für die Lage der Minima der Einhüllenden hätte, müsste man analog zu 2.1 vorgehen.

3.2 Verschiedene Spalte

Das Beugungsbild des 0,25/0,5 Doppelspaltes wollten wir zum Vergleich direkt unter das Beugungsbild des anderen Spaltes zeichnen. Jedoch waren manche Maxima schlecht zu erkennen. Es entstand auch der Eindruck von Nebenmaxima, dies ist jedoch auf die Lage der Einhüllenden im Verhältnis zu den Maxima der Funktion, die von dem Spaltabstand abhängt, zurückzuführen. Daher haben wir fast keine Maxima aufgezeichnet.
Im Vergleich der beiden Beugungsbilder war jedoch deutlich zu erkennen, dass die Maxima weiter voneinander entfernt waren, wenn der Spaltabstand kleiner war. Dieser Effekt ist an der Zeichnung im Messprotokoll tendenziell zu erkennen.

In Abbildung 5 ist das Beugungsbild des Dreifachspalts abgebildet. Man erkennt, dass sich zwischen zwei Hauptmaxima jeweils ein Nebenmaximum befindet.

Abbildung 5: Beugungsbild des Dreifachspalts

3.3 Gitterkonstante

Nun bestimmen wir die Gitterkonstante. Der Kontrast im Beugungsbild war sehr deutlich. Es waren nur Hauptmaxima zu erkennen. Die Lage der Hauptmaxima haben wir gegen ihre Ordnung aufgetragen. So können wir analog zu 3.1 den Abstand zwischen den Spaltmitten und damit die Gitterkonstante bestimmen. Die lineare Regression ist in Abbildung 6 zu sehen. Die Parameter ergaben sich zu:

- $m = (0.012991 \pm 0.000007238)$m

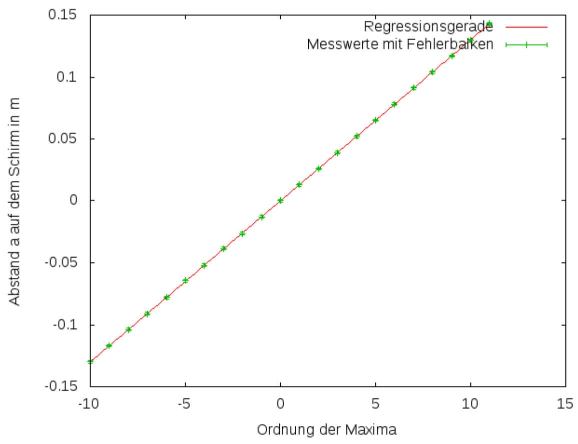


Abbildung 6: Lineare Regression

- $c = (0.00000451725 \pm 0.00004606)$m

Damit ergibt sich für die Gitterkonstante:

$$g = \frac{d \cdot \lambda}{m} = 0.104\,192\,071\,4\,\text{mm} \tag{15}$$

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{-d \cdot \lambda}{m^2}\right)^2 \cdot \sigma_m^2} = 5.805112871 \cdot 10^{-5}\text{mm} \tag{16}$$

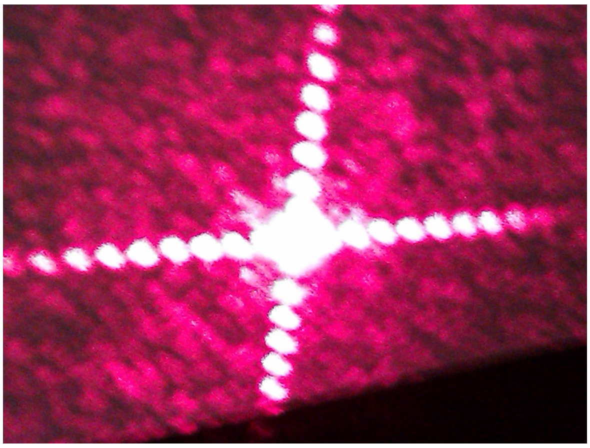
$$\Delta g = \frac{\lambda}{m} \cdot \Delta d + \frac{d}{m} \cdot \Delta\lambda = 1.543645601 \cdot 10^{-4}\text{mm} \tag{17}$$

$$\Rightarrow g = (0.10419 \pm 0.00006 \pm 0.00015)\text{mm} \tag{18}$$

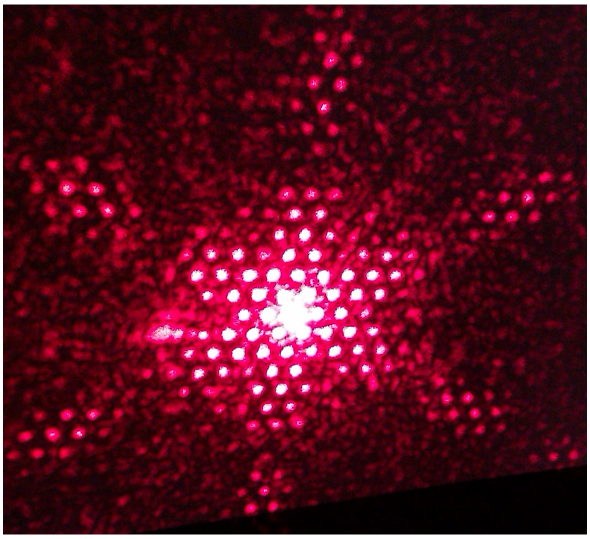
Das Gitter hat laut Beschriftung hundert Striche pro cm. Dies entspricht einer Gitterkonstante von 0.1 mm. Dies passt recht gut mit dem Ergebnis unserer Messung zusammen.

3.4 Kreuz- und Wabengitter

In Abbildung 7 sind die Beugungungsbilder von Kreuz- und Wabengitter zu sehen. Wir haben uns außerdem das Beugungsbild eines weitern Wabengitters angesehen. Im Vergleich der Beugungsbilder der Wabengitter konnte man erkennen, dass das gröbere Wabengitter ein feineres (Maxima enger beieinander) Beugungsbild ergab. Dies entspricht der Beobachtung aus 3.2.



(a) Kreuzgitter



(b) Wabengitter

Abbildung 7: Beugungsbilder

4 Abbildung nicht selbstleutender Gegenstände

Ohne Beugungsordnungsblende war das das Wabengitter deutlich zu erkennen. Wenn man die Irisblende fast vollständig geschlossen war, also nahezu nur die nullte Beugungsordnung auf dem Schirm abgebildet wurde, sah man eine rote Fläche fast ohne Strukturen. Das Wabengitter war kaum noch zu erkennen. Dies entspricht der in der Vorbereitung erläuterten Erwartung.
Anschließend haben wir versucht nur die nullte Ordnung mit einer Kreisscheibe auszublenden. Das Bild auf dem Schirm war ein Negativ zu dem Bild ohne Blende. Die Wabenstruktur war rot, die Flächen dazwischen schwarz.

Diese Versuche machen deutlich, dass die Information über die Struktur der beugenden Fläche nur in dem gebeugten Licht steckt. Die ungebeugte Ordnung enthält keine Information über die Struktur.

Mit einem Kreuzgitter demonstrierten wir ein weiteres Phänomen. Wenn man einen Einfachspalt in den Strahl einbrachte war das Gitter nurnoch eindimensional (Gitterlinien senkrecht zum Spalt waren noch zu erkennen). Das Beugungsbild des Einfachspaltes war dem überlagert.

5 Holographie

Wir konnten mehrere dreidimensionale Bilder betrachten. Dass sie dreidimensional waren, konnte man durch Änderung des Blickwinkels feststellen.
Außerdem haben wir uns ein Weißlichthologramm angesehen. Dieses wird mit weißem Licht sichtbar gemacht. Bei Änderung des Blickwinkels ändert sich auch die Farbe in der das dreidimensionale Objekt zu sehen ist.

Literatur

- Dr. Peter Blüm: Einführung zur Fehlerrechnung im Praktikum; August 2002