

AUSWERTUNG: LASER A

FREYA GNAM, TOBIAS FREY

1. BREWSTERWINKEL UND BRECHUNGSINDEX

Da ein Laser linear polarisiertes Licht erzeugt, lässt sich der Brewsterwinkel bestimmen, indem man den Winkel sucht, bei dem der reflektierte Strahl verschwindet. Dazu haben wir eine Glasplatte außerhalb des Resonators in den Strahlengang eingebracht. Man konnte nun den reflektierten Strahl an der Zimmerdecke beobachten. Wir haben dann den Winkel β an der Glasplatte so eingestellt, dass der reflektierte Laserstrahl nicht mehr zu sehen war. Wir messen $\beta = 301^\circ$. Damit beträgt der Brewsterwinkel $\alpha = 360^\circ - 301^\circ = 59^\circ$.

Mit dem Brewsterwinkel kann man die Brechzahl des verwendeten Glases bestimmen:

$$n_{Glas} = n_{Luft} \cdot \tan \alpha$$

Daraus ergibt sich mit $n_{Luft} = 1,000292 \approx 1$:

$$n_{Glas} = \tan(59^\circ) \approx 1,66$$

2. BEUGUNG AN SPALT, STEG, KREISÖFFNUNG, KREISBLENDE UND KANTE

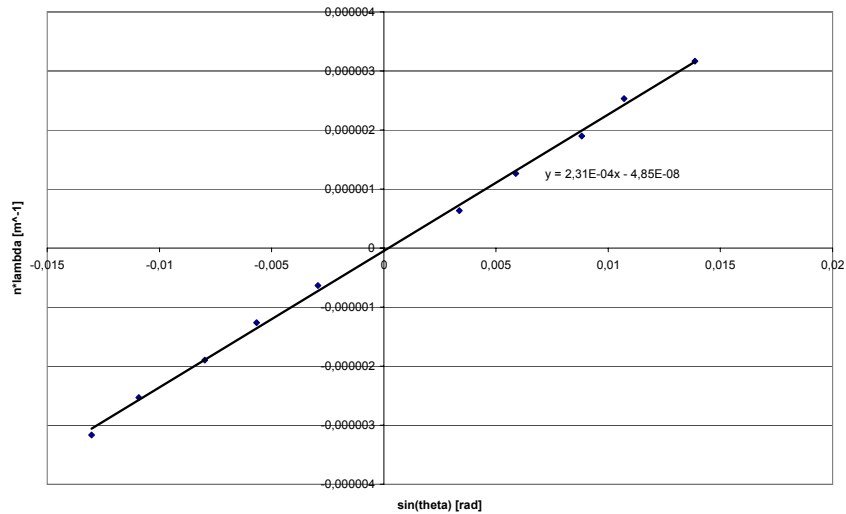
Spalt, Steg, Kreisöffnung, Kreisblende und Kante haben wir jeweils in einem Abstand von $y = 238 \text{ cm} \pm 1,0 \text{ cm}$ vom Schirm angebracht.

2.1. Bestimmung der Spaltbreite aus dem Beugungsbild. Wir bestimmen die Spaltbreite d des $0,2 \text{ mm}$ -Spaltes. Für den Winkel θ_n zum Maximum n -ter Ordnung gilt beim Einfachspalt:

$$\sin(\theta_n) = \frac{n \cdot \lambda}{d} \approx \frac{x_n}{y}$$

x_n wird durch Messung des Abstandes zwischen dem n -ten Minimum und der Mitte des Beugungsmuster bestimmt.

ABBILDUNG 1. Lineare Regression



Damit ergibt sich für die Spaltbreite d :

$$d = \frac{\lambda(n)}{\sin\left(\arctan\left(\frac{x_n}{y}\right)\right)}$$

Mit $F(x_n) = \frac{\sin\left(\arctan\left(\frac{x_n}{y}\right)\right)}{\lambda}$ ergibt sich die Gerade:

$$d \cdot F(x_n) = n$$

Wir haben n über $F(x_n)$ aufgetragen und eine lineare Regression durchgeführt. Die Steigung der resultierenden Gerade entspricht der Spaltbreite d .

Wir erhalten die Spaltbreite $\bar{d} = 231 \mu\text{m}$

Mit der Standardabweichung $\sigma_{\bar{d}} = 0,96 \mu\text{m}$

Systematische Fehlerquellen. Wir betrachten nun den systematischen Fehler bei der Messung. Die im Folgenden aufgeführten Fehlerquellen sind auch für die weiteren Teilversuche relevant.

- Die Maxima waren nicht immer gut auszumachen. Dieser Fehler schätzen wir ab mit $\Delta x_n = \pm 1,0 \text{ mm}$.
- Der Laser hat eine Wellenlänge von $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ mit $\Delta\lambda = 0,1 \text{ nm}$
- Die Abstandsbestimmung Schirm-Spalt ($y = 238,0 \text{ cm}$) erfolgte mit einer Genauigkeit von $\Delta y = \pm 1,0 \text{ cm}$.

Wir führen nun eine arithmetische Fehlerfortpflanzung zur Größtfehlerabschätzung durch:

$$\Delta d = \sum_{i=1}^N \left| \frac{\partial d(q_i)}{\partial q_i} \right| \Delta q_i$$

Um die Ableitung von $\frac{1}{\sin(\arctan(\frac{x_n}{y}))}$ zu umgehen, nähern wir $\sin(\arctan(\frac{x_n}{y})) \approx \frac{x_n}{y}$. Diese Näherung ist berechtigt, da gilt: $\frac{x_n}{y} < 1$ und $\sin(\arctan(\alpha)) \approx \alpha$ für $\alpha < 1$.

Damit gilt:

$$d = \frac{n \cdot y \cdot \lambda}{x_n}$$

Wir berechnen für jedes n den systematischen Fehler der Messung:

$$\begin{aligned} \Delta d_n &= \left| \frac{\partial}{\partial x_n} \frac{n \cdot y \cdot \lambda}{x_n} \right| \Delta x_n + \left| \frac{\partial}{\partial \lambda} \frac{n \cdot y \cdot \lambda}{x_n} \right| \Delta \lambda + \left| \frac{\partial}{\partial y} \frac{n \cdot y \cdot \lambda}{x_n} \right| \Delta y \\ &= \left| -\frac{n \cdot y \cdot \lambda}{x_n^2} \right| \Delta x_n + \left| \frac{y \cdot n}{x_n} \right| \Delta \lambda + \left| \frac{n \cdot \lambda}{x_n} \right| \Delta y \end{aligned}$$

Der Mittelwert beträgt:

$$\Delta \bar{d} = \frac{\sum_{n=1}^N \Delta d_n}{N}$$

Damit ergibt sich schließlich für die Spaltbreite d :

$$\begin{aligned} d &= 231 \pm 1 \pm 15 \mu\text{m} \\ &= 231 \mu\text{m} \pm 6,9\% \end{aligned}$$

Die angegebene Spaltbreite von 0,2 mm liegt nicht innerhalb unseres Konfidenzintervalles. Möglicherweise ist die Angabe auf dem Spalt ungenau.

2.2. Überprüfung des Babinetschen Theorems. Das Babinet-Theorem besagt, dass komplementäre Beugungsflächen gleiche Beugungsmuster ergeben. Uns standen ein Einfachspalt und ein Steg von je ca. 0,3 mm Breite zur Verfügung. Vergleicht man die in Aufgabe 2.1 aufgezeichneten Beugungsbilder, so sieht man, dass die Maxima sich decken. Die Beugungsmuster sind nahezu identisch, wenn man davon absieht, dass im Hauptmaximum der geometrische Schatten des Steges sichtbar ist.

2.3. Das Beugungsbild einer Kreisöffnung, einer gleichgroßen Kreisscheibe sowie einer Kante. Nach dem Babinet-Theorem haben die Kreisöffnung und die Kreisscheibe die gleichen Beugungsbilder. Bei beiden sind Intensitätsmaxima und Intensitätsminima in Form von konzentrischen Kreisen angeordnet. Bei beiden Bildern ist im Zentrum ein ausgeprägtes Maximum zu beobachten. Bei der Kreisöffnung ist dies das transmittierte Licht, während der helle Fleck bei der Kreisblende der Poissonsche Fleck ist.

Das Beugungsbild der Kante war sehr klein und unscharf. Wir erwarteten, sahen wir ein von Interferenzstreifen durchzogenes Bild.

2.4. Bestimmung des Haardurchmessers anhand des Beugungsbildes. Hier haben wir die Dicke d eines Haares anhand seines Beugungsbildes bestimmt. Wir erhalten:

$$\begin{aligned} d &= 69,8 \pm 0,91 \pm 1,84 \mu\text{m} \\ &= 69,8 \mu\text{m} \pm 3,9\% \end{aligned}$$

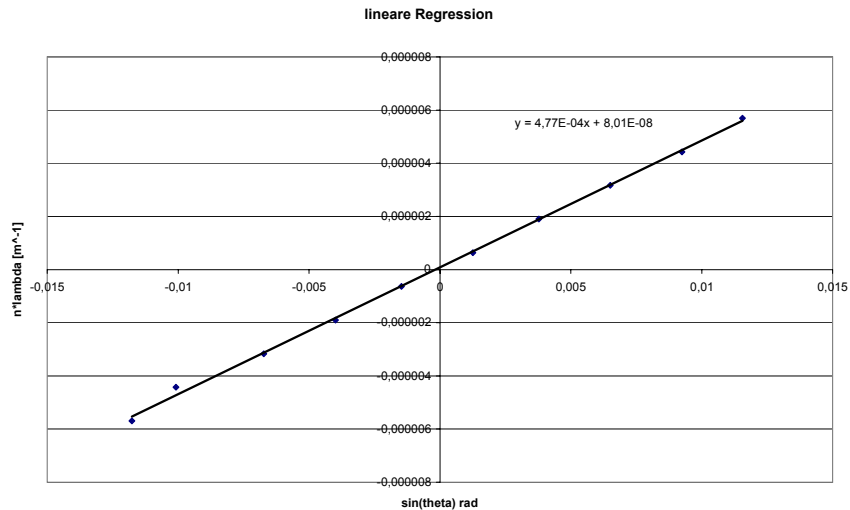
Mit einer Mikrometerschraube haben wir die Dicke zu $60 \mu\text{m}$ festgestellt. Die Bestimmung der Haardicke mit der Mikrometerschraube ist i.A. schwierig. Es ist möglich, dass das Haar durch die Mikrometerschraube zerdrückt wurde.

3. BEUGUNG AN MEHRFACHSPALTEN UND GITTERN

Doppelspalte, Dreifachspalt und Gitter haben wir jeweils in einem Abstand von $y = 238 \text{ cm} \pm 1,0 \text{ cm}$ vom Schirm angebracht.

3.1. Bestimmung von Spaltbreite und -abstand eines Doppelspalts. Wir untersuchen den 0,25/0,5 Doppelspalt.

ABBILDUNG 2. Lineare Regression



Spaltabstand. Für die Intensitätsminima mit Abstand x_n vom Maximum 0. Ordnung gilt:

$$\sin(\alpha) = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{d} \approx \frac{x_n}{y}$$

Aus der Messung der Abstände x_n der Minima auf dem Schirm lässt sich damit auf den Abstand d der Spalte schließen.

Mittels linearer Regression haben wir den Spaltabstand ermittelt: $\bar{d} = 477 \mu\text{m}$ mit der Standardabweichung $\sigma_{\bar{d}} = 4,3 \mu\text{m}$.

Eine weitere Fehlerbetrachtung erfolgt erneut über eine Größtfehlerabschätzung. Dabei sind wir analog zu Aufgabe 2.1 vorgegangen. Die systematischen Fehlerquellen sind identisch. Der systematische Fehler beträgt $\Delta d = 55 \mu\text{m}$. Damit ergibt sich insgesamt für den Spaltabstand d :

$$d = 477 \pm 4,3 \pm 55 \mu\text{m}$$

$$d = 477 \mu\text{m} \pm 12,3\%$$

Der angegebene Referenzwert von $0,5\text{ mm}$ befindet sich innerhalb unseres Konfidenzintervalles.

Spaltbreite. Um die Breite eines der beiden Spalte bestimmen zu können, haben wir die Minima der Einhüllenden gemessen. Diese sind durch die Beugungsfunktion der Einzelspalte gegeben. Da die Minima nur schwer zu erkennen waren, ist unsere Messung mit einem großen Ablesefehler behaftet. Deshalb haben wir eine genauere Messung mit einem Einzelspalt durchgeführt, indem wir einen der beiden Spalte abgedeckt haben.

Mittels linearer Regression haben wir die Spaltbreite ermittelt: $\bar{a} = 267\text{ }\mu\text{m}$ mit der Standardabweichung $\sigma_{\bar{a}} = 2,5\text{ }\mu\text{m}$.

Wir führen wieder eine Größtfehlerabschätzung analog zu Aufgabe 2.1 durch. Der systematische Fehler beträgt $\Delta d = 24,4\text{ }\mu\text{m}$. Damit ergibt sich insgesamt für die Spaltbreite a :

$$\begin{aligned}d &= 267 \pm 2,5 \pm 24,2\text{ }\mu\text{m} \\d &= 267\text{ }\mu\text{m} \pm 10,0\%\end{aligned}$$

Die Spaltbreite konnte mit einer Genauigkeit von 10% bestimmt werden und stimmt innerhalb dieses Bereichs mit dem angegebenen Wert von $250\text{ }\mu\text{m}$ überein.

3.2. Vergleich von Doppelspalt und Dreifachspalt. Wir vergleichen das Beugungsbild eines $0,25/0,5\text{ mm}$ Dreifachspaltes mit dem im vorigen Teilversuch aufgenommenen Bild des $0,25/0,5\text{ mm}$ Doppelspaltes: Die Hauptmaxima wurden im Bild des Dreifachspaltes etwas schärfer abgebildet. Die Nebenmaxima waren nur noch schwach zu sehen.

Vergleich der beiden Doppelspalte: Beim zweiten Doppelspalt beobachteten wir, dass die Maxima 2. Ordnung näher beieinander liegen. Dies deckt sich auch mit dem theoretisch erwarteten Ergebnis, da dessen Spaltabstand mit $0,75\text{ mm}$ größer ist als bei der in Aufgabe 3.1 untersuchte.

3.3. Bestimmung der Gitterkonstante eines Strichgitters. Hier soll die Gitterkonstante d eines Gitters festgestellt werden. Wir haben ein Gitter mit 100 Strichen pro cm verwendet.

Für die Gitterkonstante gilt:

$$d = y \cdot \frac{n \cdot \lambda}{x_n}$$

Hier kann man wieder eine zu Aufgabe 2.1 analoge Regression durchführen um die Gitterkonstante zu bestimmen. Mittels linearer Regression haben wir die Gitterkonstante ermittelt: $\bar{g} = 129 \mu\text{m}$ mit der Standardabweichung $\sigma_{\bar{g}} = 0,48 \mu\text{m}$.

Wir führen wieder eine Größtfehlerabschätzung durch. Damit ergibt sich für die Gitterkonstante d :

$$\begin{aligned} d &= 129 \pm 0,48 \pm 4,8 \mu\text{m} \\ &= 129 \mu\text{m} \pm 4\% \end{aligned}$$

Der ermittelte Wert weicht vom angegebenen Wert um 29% ab. Das mag entweder daher rühren, dass das Gitter nicht genau die angegebene Anzahl von Strichen pro Zentimeter hat oder wir haben eine wichtige Fehlerquelle außer Acht gelassen.

3.4. Kreuz- und Wabengitter. In diesem Versuchsteil sollte man die Beugungsbilder von Kreuz- und Wabengittern beobachten. Es handelte sich um einen Demonstrationsversuch, der nicht ausgewertet werden braucht. Das Beugungsbild befindet sich im Messprotokoll.

4. ABBILDUNG NICHTSELBSTLEUCHTENDER GEGENSTÄNDE

In diesem Versuch ging es um die Abbildung nicht selbstleuchtender Gegenstände auf einen Schirm. Wir beleuchteten ein Gitter (100 Striche/ cm) mit parallelem Licht und bildeten es mithilfe einer 150 mm Linse auf den Schirm ab. Indem wir in die Brennebene eine Beugungsordnungsblende einbrachten, konnten wir höhere Ordnungen des Interferenzmusters ausblenden.

5. HOLOGRAPHIE

Wir haben nun zwei Hologramme betrachtet.

Das erste Hologramm, ist mit weißem Licht erstellt worden. Wenn man es aus verschiedenen Blickwinkeln betrachtet, ändert es nicht nur seine Perspektive, sondern auch seine Farbe.

Wenn man das zweite Hologramm mit weißem Licht betrachtet, so kann man nur ein Muster aus verschiedenen Grautönen erkennen. Wir haben das Hologramm mit einem He-Ne Laser beleuchtet und konnten dann erkennen, dass es eine Schachfigur und zwei Reihen mit Buchstaben darstellt. Die Information für das gesamte Bild ist in jedem Punkt des Hologramms gespeichert. Auch wenn der Laser nur einen Teil des Hologramms beleuchtete, konnten wir das gesamte Bild erkennen.