

Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler

Blockpraktikum Wintersemester 2022/23

IF-Interferenz am Gitter, Beugung am Spalt

Betreuerin: Esther Haas

Protokollanten:



Gruppe 3

Versuchsdatum: 24.02.2023

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung und Zielstellung.....	3
2.	Versuchsaufbau.....	3
3.	Auswertung.....	4
4.	Fazit.....	9
5.	Anhang.....	10

1. Einführung und Zielstellung:

Die Beugung von Licht wird sich allgegenwärtig in verschiedenen technischen Geräten der Optik zu nutzen gemacht. Im folgenden Versuch werden verschiedene Beugungen und Interferenzen von Lichtstrahlen untersucht. Das Phänomen der Interferenz beobachten wir dabei im ersten Versuchsteil an einem Gitter, womit wir dann im Anschluss die Wellenlänge des Lichtes ermitteln wollen. Anschließend befassen wir uns im zweiten Versuchsteil mit der Breite eines Einzelspaltes.

Es sollen Zusammenhänge zwischen Maxima / Minima und dessen Parametern gefunden werden.

2. Versuchsaufbau:

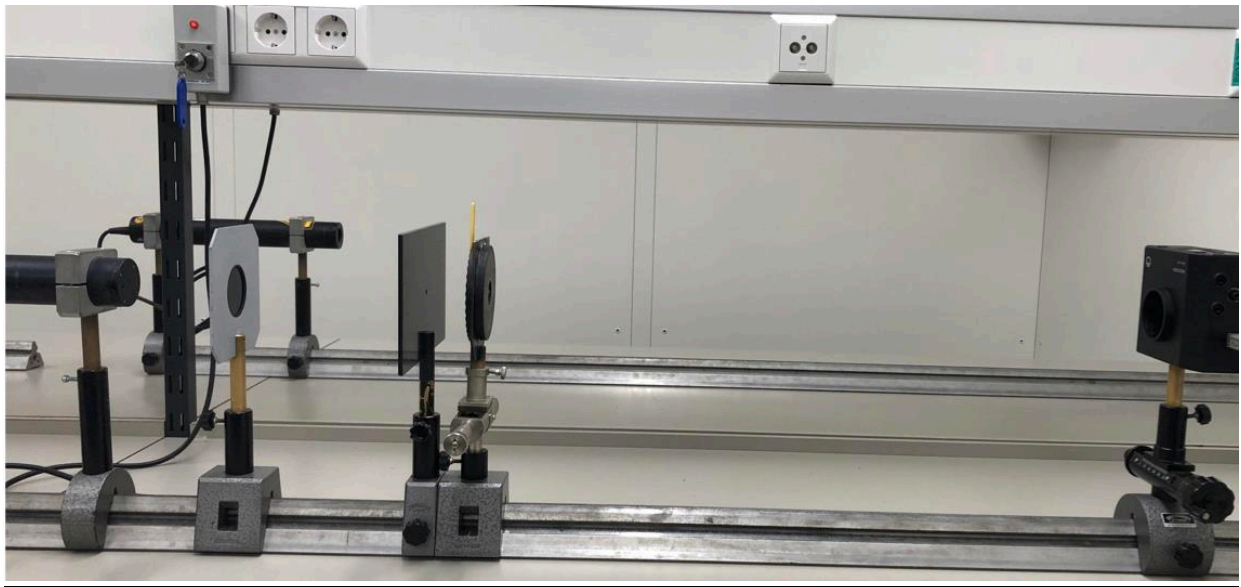


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Beugung am Einzelspalt (entnommen aus IF, Seite 11)

Zunächst wurde ganz links ein Laser montiert, der die Strahlen aussendet. Der Laser ist dabei auf ein „Gitter“ gerichtet, wodurch ein Beugungsbild entsteht. Dieses Beugungsbild wurde an der Wand auf das Versuchsblatt übertragen.

Im zweiten Versuchsteil befestigten wir folgende Apparaturen von links nach rechts: ein Laser, ein Graufilter (der die Intensität des Lichtes abschwächen soll), ein Einzelspalt, eine Sammellinse sowie ganz rechts eine CCD-Kamera die mit dem Laptop verbunden ist (siehe Abb.1).

3. Auswertung:

3.1 Beugung am Gitter

Aufgabe1:

a) Zunächst sollte der Beugungswinkel Θ_n berechnet werden. Dies geschieht mit der Formel IF.7:

$$\Theta = \frac{x}{L} = \tan^{-1} \frac{x}{L}$$

Beispielrechnung:

$$\Theta = \frac{0,02\text{m}}{1,04\text{m}} = 0,019228399$$

L bezeichnet hierbei den Abstand vom Gitter zur Projektionsfläche des Beugungsbildes, also zu der Wand, an der das Bild entstand.

Unser L betrug 104cm = 1,04m.

n Maximum	Abstand zum Maximum 0.ter Ordnung [m]	Beugungswinkel Θ_n [rad]	$\sin \Theta_n$
1	0,02	0,019228399	0,019227214
2	0,0375	0,036042078	0,036034275
3	0,0575	0,055232229	0,055204152
4	0,075	0,071990758	0,07192859
5	0,095	0,091093351	0,090967421
6	0,115	0,110129517	0,109907034

Tabelle 1: Übersicht der Maxima, des Abstandes und des Beugungswinkels Θ_n

b) Im nächsten Diagramm soll n in Abhängigkeit von $\sin \Theta_n$ dargestellt werden.

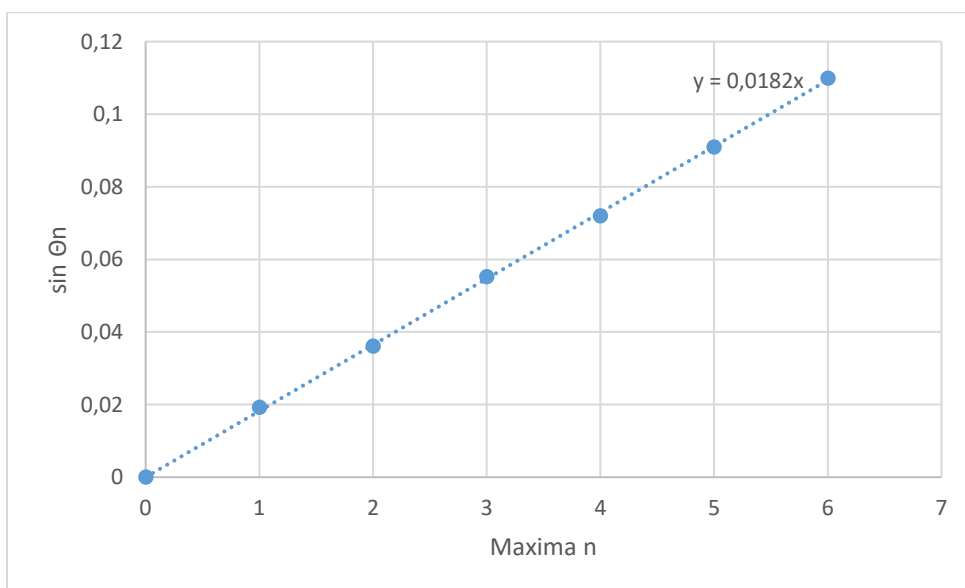


Abb. 1: Proportionale Abhängigkeit der Maxima n und $\sin \Theta_n$.

Mithilfe der Excel „RGP-Funktion“ kann man die Steigung der Gerade berechnen.

Sie lautet: $m = 0,01823$.

Da ein proportionaler Zusammenhang zwischen den Messgrößen besteht und die Trendlinie recht gut auf unseren Messwerten aufliegt, können wir von davon ausgehen, dass unsere Messungen (soweit es geht) stimmen.

c) In dieser Aufgabe sollten wir den Zusammenhang zwischen der Steigung m (der Ausgleichsgerade), der Wellenlänge λ und der Gitterkonstante g angeben. Außerdem soll die Wellenlänge λ berechnet werden.

Der Zusammenhang zwischen den Größen ergibt sich, wenn man die Formel IF.5 betrachtet und dort den Term „ $\frac{\sin \Theta n}{n}$ “ durch das in b) berechnete m der Gerade ersetzt.

Es ergibt sich:

$$\begin{aligned} g * \sin \Theta n &= n * \lambda \\ \rightarrow g * \frac{\sin \Theta n}{n} &= \lambda \\ \rightarrow g * m &= \lambda \end{aligned}$$

Die Wellenlänge des Lasers, mit $g = 35 \mu\text{m}$ (siehe Versuchsblatt) und $m = 0,01823$, lautet:

$$\lambda = 35 \mu\text{m} * 0,01823 = 0,63805 \mu\text{m} = 638,05 \text{ nm}$$

Nun geht es um die Unsicherheit der Steigung m der Ausgleichsgerade Δu_m und der Gitterkonstante Δu_g . Die Gitterkonstante soll dabei auf 1% genau sein.

$$\begin{aligned} \Delta u_m &= \pm 0,000078 \\ \Delta u_g &= \frac{1}{100} * 35 \mu\text{m} = 0,35 \mu\text{m} \end{aligned}$$

Diese wurde mithilfe der RGP-Excel Funktion berechnet. Es ergibt sich eine Unsicherheit von:

$$m = (0,01823 \pm 0,000078)$$

Mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung und der zuvor berechneten Unsicherheit für die Steigung Δu_m und Gitterkonstante Δu_g , wird im Folgenden die Messunsicherheit Δu_λ des Lasers berechnet.

$$\rightarrow \text{Gauß'sche Fehlerfortpflanzung : } \Delta u_\lambda(m, g) = \sqrt{\left(\frac{\delta \lambda}{\delta g} * \Delta u_g\right)^2 + \left(\frac{\delta \lambda}{\delta m} * \Delta u_m\right)^2}$$

Man leitet hierbei nach g ab: $\frac{\delta \lambda}{\delta g} = m$

und

Nach m: $\frac{\delta\lambda}{\delta m} = g$

Daraus erhält man:

$$\Delta u_\lambda(m, g) = \sqrt{(m * \Delta u_g)^2 + (g * \Delta u_m)^2}$$

$$\Delta u_\lambda(m, g) = \sqrt{(0,01823 * 0,35\mu\text{m})^2 + (35\mu\text{m} * 0,000078)^2}$$

$$\Delta u_\lambda(m, g) = 7 \text{ nm}$$

Das Ergebnis für die Wellenlänge λ lautet also:

$$\lambda = (638 \pm 7) \text{ nm}$$

$$\lambda = 638 (1 \pm 1,1\%) \text{ nm}$$

d) Die Herstellerlänge des Lasers beträgt $\lambda = 632,8\text{nm}$. Man soll nun die errechnete Wellenlänge unseres Experimentes vergleichen.

Unser Wert passt, wenn man den Rahmen der Messunsicherheit mitbetrachtet, gut zu den Angaben des Herstellers. Es kommt zu kleinen Abweichungen die durch generelle Messfehler zu erklären sind.

e) Es soll nun um die Frage gehen ob die Gitterkonstante vom Hersteller, mit unseren rechnerisch bestimmten Gitterkonstante verträglich ist.

Wir bestimmen nochmals den Winkel θ , jedoch für das Erste Minima.

Unser Abstand von Minimum zum 0.ten Maximum beträgt $11,5\text{cm} = 0,115\text{m}$.

$$\theta = \frac{x}{L} = \tan^{-1} \frac{x}{L} = \frac{0,115\text{m}}{1,04\text{m}} = 0,11013 \quad (\text{IF. 7})$$

Jetzt berechnen wir durch die (zuvor umgestellte) Formel IF.1 d:

$$d = \frac{n * \lambda}{\sin \theta} = \frac{638,05 \text{ nm} * 1}{0,11013} = 5,79361 \mu\text{m}$$

Es gilt die allgemeine Voraussetzung der Verträglichkeit, diese lautet: g soll größer als d sein ($g > d$).

Man kann also zusammenfassen, dass unsere berechnete Spaltbreite mit der Gitterkonstante g verträglich ist.

f) In der Aufgabe soll man berechnen wie viele Spalte unser Beugungsgitter hatte.

Anzahl Nebenmaxima: 5

Der Bereich der von uns angeschaut wurde, hatte zwischen zwei Hauptmaxima, insgesamt fünf Nebenmaxima. Es gilt: $5+2=7$, wir hatten also sieben Spalte in unserem Beugungsgitter.

3.2 Beugung am Spalt

Aufgabe 2

a) In dem zweiten Versuchsteil wurde mit einer CCD-Kamera gearbeitet, die aus 2048 Pixeln besteht und eine Breite von 2,8cm hat. In der folgenden Tabelle werden Winkel Θ unter denen die Maxima und Minima auftreten veranschaulicht.

Die Lage des Hauptmaxima befand sich bei Pixel 1536 (laut Aufgabenstellung), der Abstand L von Spalt und Linse ist 77cm = 0,77m.

n Minimum	Lage Minimum /Pixel	Betrag Abstand Minimum zu Hauptmaximum /Pixel	Betrag Abstand x_n Minimum zu Hauptmaximum/m	Beugungswinkel Θ_n des Minimums /rad	Winkel $\sin \Theta$
1	1523	13	0,000177734	0,000252105	0,00025211
2	1479	57	0,000779297	0,001105385	0,00110538
3	1437	99	0,001353516	0,001919878	0,00191988
4	1390	146	0,001996094	0,002831331	0,00283133
5	1346	190	0,002597656	0,003684602	0,00368459
6	1300	236	0,003226563	0,004576652	0,00457664
7	1255	281	0,003841797	0,005449303	0,00544928
8	1208	328	0,004484375	0,00636073	0,00636069
9	1165	371	0,005072266	0,007194579	0,00719452
10	1121	415	0,005673828	0,008047809	0,00804772

Tabelle 2: Übersicht von Minima, Lage Minima, Abstand Minima Maxima (in Pixel und m), Winkel Θ

b) In dieser Teilaufgabe sollen wir ein Diagramm darstellen, welches die Abhängigkeit von $\sin \Theta$ und Minima n aufzeigt.

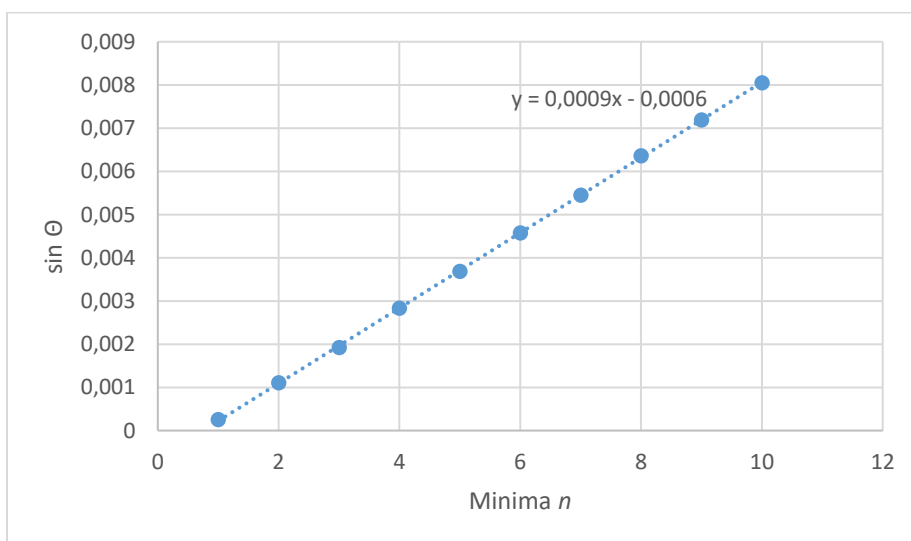


Abb. 2: Proportionaler Zusammenhang von $\sin \Theta$ und Minima n .

Die Steigung beträgt hierbei $m = 0,000871$. Dieser Wert wurde mit der RGP-Funktion von Excel ermittelt.

c) In dieser Aufgabe sollten wir den Zusammenhang zwischen der Steigung m (der Ausgleichsgerade) und der Spaltbreite d angeben. Außerdem soll das Ergebnis mit zugehöriger Messunsicherheit angegeben werden.

Für die Wellenlänge λ nehmen wir den Wert 632,8nm. Die Spaltbreite kann auf 3% genau bestimmt werden.

Aus der Formel IF.1, sowie dem Zusammenhang der Steigung m und des Winkels $\sin \theta$, ergibt sich:

$$d = \frac{\lambda}{m} = \frac{632,8nm}{0,000871} = 726521nm = 726,521 \mu m$$

Da die Spaltbreite auf 3% genau bestimmt werden kann, rechnen wir:

$$d * \frac{3}{100} = 726,521 \mu m * 0,03 = 21,796 \mu m$$

Somit hat der Spalt rechnerisch bestimmt die Breite von:

$$d = (727 \pm 22) \mu m$$

$$d = 727 (1 \pm 3,03\%) \mu m$$

d) Es soll die Spaltbreite d mithilfe der Daten der Abbildung ermittelt werden. Es gilt dabei: $d = B * \frac{g}{b}$ (entnommen aus der Versuchsanleitung IF Seite 15).

$$B = 1,3cm = 13mm ;$$

$$g = 14cm = 140mm ;$$

$$b = 1,14m = 1140mm$$

$$d = 13mm * \frac{140mm}{1140mm} = 1,5965mm = 1596,5 \mu m$$

Tatsächlich stimmt unser errechnete Wert nicht mit dem „Richtigen“ überein. Er ist ungefähr halb so groß wie erwartet. Der große Messfehler liegt wahrscheinlich an ungenauem ablesen oder Ausmessfehlern bei den einzelnen Abständen. Kleine Fehler summieren sich, sodass unser Wert nicht mehr mit dem Richtwert übereinstimmt.

e) Gibt es eine Obergrenze für die Anzahl an beobachtbaren Minima? Wenn ja, sollen wir in dieser Aufgabe n_{Max} mit der Formel IF. 1 berechnen.

Irgendwann verschwimmen Maxima und Minima ineinander, dies geschieht für sehr hohe n Werte, da Sinus maximal 1 werden kann. Die Formel zeigt, dass d und λ Konstanten sind. Somit ist, wie bereits erwähnt nur der Winkel veränderbar, dieser wird nun maximal, also 1 gesetzt.

$$n = \frac{d \cdot \sin \theta}{\lambda} \quad (IF.1)$$

$$n = \frac{726521nm * 1}{632,8nm} = 1148$$

$$n = 1148 * 2 = 2296$$

Das 2296.te Minima ist also das letzte Minima, dass beobachtet werden kann.

Der Wert scheint jedoch recht hoch.

f) Wie verändert sich das Beugungsbild, wenn man die Spaltbreite vergrößert oder verkleinert?

Eine Vergrößerung der Spaltbreite führt dazu, dass das Beugungsbild „zusammengestaucht“ wird und somit die Maxima enger aneinander liegen. Verkleinert man den Spalt, passiert das Gegenteil, die Maxima rücken weiter auseinander, das Beugungsbild wird „gestreckt“.

4. Fazit:

Allgemein kann man sagen, dass der erste Versuchsteil besser funktioniert hat als der zweite. Zumindest die Ergebnisse bei der Beugung am Gitter sind sehr viel näher am Richtwert dran, als an der Beugung am Einzelspalt. Vor allem die errechnete Spaltbreite d passt nicht zum errechneten Wert.

Dennoch passen die Werte sonst größtenteils überein, die Abweichungen liegen womöglich an mehreren Mess- und Ablesefehlern, die sich „aufsummiert“ haben und damit eine große Abweichung darstellen.

5. Anhang:

Datum Versuchstag: <u>23.02.23</u> , Gruppennummer: <u>3</u> Teilnehmer: [REDACTED]	
Fläche für Markierungen	
Messwerte: Abstand Gitter-Projektionsfläche: <u>104</u> cm Abstand von -1 zu +1 Maximum: <u>4</u> cm Abstand von -2 zu +2 Maximum: <u>9,5</u> cm Abstand von -3 zu +3 Maximum: <u>11,5</u> cm Abstand von -4 zu +4 Maximum: <u>15</u> cm Abstand von -5 zu +5 Maximum: <u>19</u> cm Abstand von -6 zu +6 Maximum: <u>23</u> cm Abstand Minimum zu Minimum: <u>23</u> cm	Daten Gitter: Gitterkonstante: <u>35</u> μm Anzahl Nebenmaxima: <u>5</u> Unterschrift Assistent(in)