

Interferenz am Gitter, Beugung am Spalt - IF

Gruppe:	4
Betreuer:	Felix Glang
Verfasser:	Adrian Eisenhardt Nils von Schaper
Versuchsdatum:	05.03.2021
Abgabedatum:	08.03.2021
Abgabe:	Nr. 2

Inhaltsverzeichnis

1. ZIELSTELLUNG	3
2. VERSUCHSAUFBAU	3
3.1 BEUGUNG AM GITTER.....	4
3.1.1 <i>Aufbau</i>	4
3.1.2 <i>Beobachtung</i>	4
3.1.3 <i>Auswertung</i>	4
3.2 BEUGUNG AM EINZELSPALT	6
3.2.1 <i>Aufbau</i>	6
3.2.2 <i>Beobachtung</i>	6
3.2.3 <i>Auswertung</i>	6
4. FAZIT.....	8
5. ANHANG	9

1. Zielstellung

Ziel ist es die Wellenlänge λ eines zur Verfügung gestellten Lasers zu bestimmen und damit die Angabe des Herstellers zu verifizieren oder zu falsifizieren. Dafür werden zwei verschiedene Verfahren mit unterschiedlichen optischen Geräten verwendet – ein Gitter und ein Einzelspalt. Es soll des Weiteren die Spaltbreite d des Gitters beziehungsweise des Einzelspalts berechnet werden.

2. Versuchsaufbau

Ein roter Laser ist auf einer optischen Bank montiert. In den Lichtstrahl werden verschiedene Spalte (Gitter, Einzelspalt) gestellt. Je nach Versuchsteil werden weitere Geräte auf der optischen Bank montiert. Der Raum wird für die Versuchsdurchführung abgedunkelt.

3. Versuchsdurchführung

3.1 Beugung am Gitter

3.1.1 Aufbau

Es wird der Versuchsaufbau aus 2. übernommen. Es wird ein Gitter mit Gitterkonstante $g = 30\mu\text{m}$ auf der optischen Bank in den Laserstrahl gestellt. Das Gitter steht in einem Abstand von $L = 0,83\text{m}$ vor einer weißen Wand, auf welche das Interferenzmuster fällt. An der Wand wird eine Vorlage angebracht, auf der das Interferenzmuster händisch festgehalten wird.

3.1.2 Beobachtung

Es wird das Interferenzmuster aufgenommen und der zu den Maxima zugehörige Beugungswinkel Θ_n/rad ebenso wie der entsprechende $\sin(\Theta_n)$ bestimmt. Zusätzlich wurden die Minima der Einhüllenden aufgenommen, für $n = 1$ mit $x = 0,104\text{..m}$

Tabelle 1: Messwerte für Abstände der Maxima und errechnete Beugungswinkel

n Maximum	Abstand zum Maximum 0.-ter Ordnung /m	Beugungswinkel Θ_n/rad	$\sin(\Theta_n)$
1	0,018058..	0,021753195..	0,02175148..
2	0,035168..	0,042345755..	0,0423331..
3	0,052278..	0,062902448..	0,06286098..
4	0,069848..	0,083956399..	0,0838578..
5	0,088488..	0,106210859..	0,10601128..
6	0,104258..	0,124957581..	0,12463265..

3.1.3 Auswertung

a)

Es wurden die Beugungswinkel Θ_n zu den jeweiligen Maxima mit Hilfe der Formel IF.7 ausgerechnet. Zusätzlich wurde der $\sin(\Theta_n)$ berechnet (s. Tabelle 1).

b)

Es wurden die $\sin(\Theta_n)$ und die n Maxima aufgetragen in folgendem Diagramm

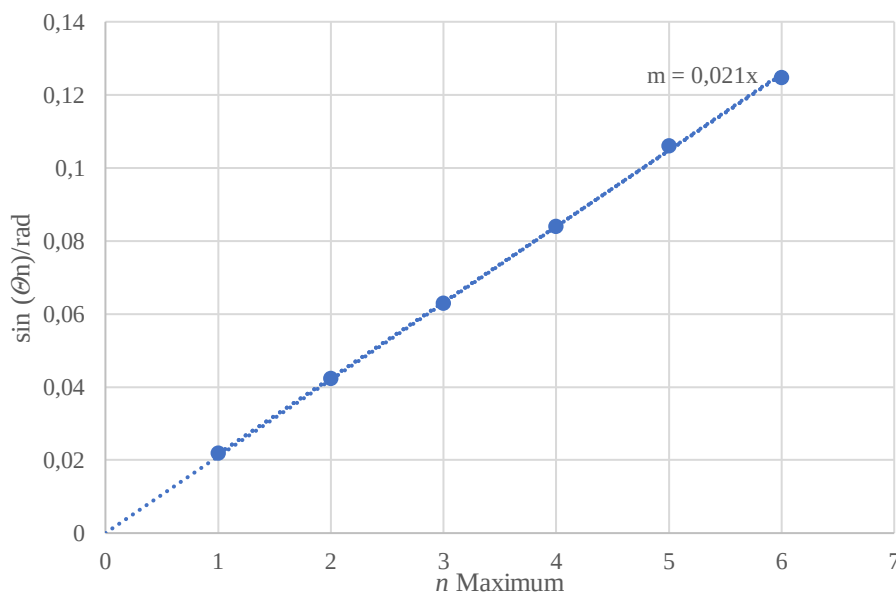


Abbildung 1: Ausgleichsgerade zur Darstellung der Steigung m

Die Steigung wurde mit dem RGP-Tool aus Microsoft Excel zu $m = 0,021$ ermittelt.

c)

Es wird die Wellenlänge λ sowie deren Fehler mit Hilfe der Gaußschen Fehlerfortpflanzung berechnet ausgehend von der zuvor ermittelten Steigung m und der gegebenen Gitterkonstanten g . Nach Umstellen der Formel IF.5 nach λ ergibt sich:

$$g \cdot \sin(\theta_n) = n \cdot \lambda \rightarrow \lambda(m, g) = g \cdot m$$

Durch Einsetzen der Zahlenwerte liefert die Formel $\lambda = 629,10 \text{ nm}$

Hierbei wurden die Unsicherheiten noch nicht berücksichtigt. Das soll im Folgenden geschehen:

$$\Delta u_\lambda(m, g) = \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda(m, g)}{\partial m} \cdot \Delta u_m\right)^2 + \left(\frac{\partial \lambda(m, g)}{\partial g} \cdot \Delta u_g\right)^2} = \sqrt{(g \cdot \Delta u_m)^2 + (m \cdot \Delta u_g)^2}$$

Hierbei ist Δu_g mit einem Prozent angegeben was einem $\Delta u_g = g \cdot 0,01 = 0,3 \mu\text{m}$ entspricht. Δu_m wird mittels des RGP-Tools aus Microsoft Excel berechnet und ergibt sich zu $\Delta u_m 176 \cdot \mu\text{m}$. Damit lässt sich Δu_λ berechnen als $\Delta u_\lambda = 9 \text{ nm}$. Die Wellenlänge λ ist somit korrekt dargestellt als

$$\lambda = (629 \pm 8) \text{ nm} \text{ bzw. } \lambda = 629(1 \pm 1\%) \text{ nm}$$

d)

Das Messergebnis für die Wellenlänge λ des roten Lasers $\lambda = (629 \pm 8) \text{ nm}$ bestätigt die durch den Hersteller mit $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ angegebene Wellenlänge, da die angegebene Wellenlänge im Unsicherheitsbereich der Messung liegt. Fehlerquellen bei der Messung ungenaues ablesen und ein unsauberes Gitter beziehungsweise ungerade Kanten des Gitters sein.

e)

Es soll die Spaltbreite der einzelnen Spalte des Gitters bestimmt werden, mit Hilfe der Minima der Einhüllenden unter Verwendung der Formel IF.1

$$d \cdot \sin(\theta_{\min}) = n \cdot \lambda \leftrightarrow d = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\theta_{\min})}$$

Durch Einsetzen der zuvor ermittelten Werte folgt eine Spaltbreite $d \approx 5 \mu\text{m}$. Dieses Ergebnis ist mit der Angabe der Gitterkonstante $g = 30 \mu\text{m}$ vereinbar.

f)

Es soll die Anzahl der ausgeleuchteten Spalte bestimmt werden. Da auf dem Schirm 2 Hauptmaxima und 6 Nebenmaxima zu sehen waren, kann die Anzahl der beleuchteten Spalte mit $2 + 6 = 8$ angegeben werden.

3.2 Beugung am Einzelspalt

3.2.1 Aufbau

Es wird der Aufbau aus 2. übernommen. Zusätzlich wird auf der optischen Bank direkt hinter dem Laser ein Graufilter installiert, um die Lichtintensität zu reduzieren. Es folgt eine Ausweitungsoptik mit nachfolgendem einstellbarem Einzelspalt. Am Ende der optischen Bank im Abstand von 0,623m vom Spalt wird ein CCD-Sensor montiert, auf den das durch den Spalt gestreute Laserlicht fällt. An den CCD-Sensor wird ein Laptop zur Auswertung angeschlossen auf dem ein entsprechendes Programm die Daten des Sensors empfängt und darstellt.

3.2.2 Beobachtung

Das Programm ergab die folgenden Werte, wenn davon ausgegangen wird, dass das Hauptmaximum bei 1536 Pixeln auf dem CCD-Sensor liegt. Der Sensor hat eine breite von 2,8cm was zu einer pixelbreite von 0,013..mm führt. Der Beugungswinkel θ_n wird analog zu 3.1.3 berechnet.

Tabelle 2: Messwerte für Lage und Abstände der Minima vom Hauptmaximum und errechnete Beugungswinkel

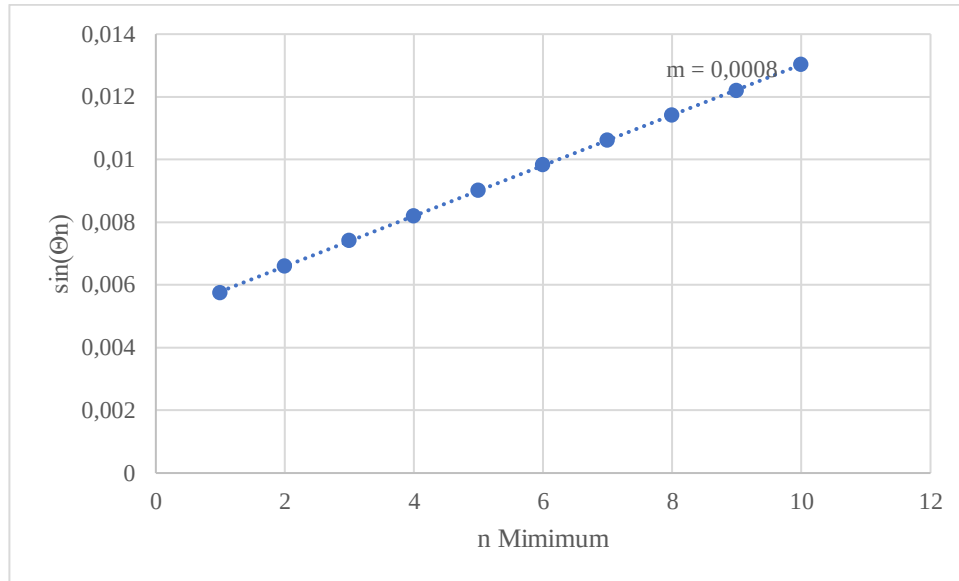
n Mini- mum	Lage Minimum/ Pixel	Betrag Abstand Minimum zu Hauptmaximum/px	Betrag Abstand x_n Minimum zu Hauptmaximum/m	Beugungswinkel θ_n des Minimums/rad	$\sin(\theta_n)$
1	1274	262	0,003582031..	0,005743326..	0,005740169..
2	1235	301	0,004115234..	0,00659593..	0,006591149..
3	1198	338	0,004621094..	0,007403927..	0,007397165..
4	1162	374	0,005113281..	0,008189159..	0,008180009..
5	1125	411	0,005619141..	0,008995148..	0,008983022..
6	1088	448	0,006125..	0,009799967..	0,009784288..
7	1052	484	0,006617188..	0,010581815..	0,010562077..
8	1016	520	0,007109375..	0,011362366..	0,011337933..
9	980	556	0,007601563..	0,012141529..	0,01211172..
10	942	594	0,008121094..	0,012962373..	0,012926104..

3.2.3 Auswertung

a)

siehe 3.1.3

b)

Abbildung 2: Ausgleichsgerade zur Darstellung der Steigung m

Die Steigung wurde mit dem RGP-Tool aus Microsoft Excel zu $m = 0,0008$ ermittelt.

c)

Es soll die Spaltbreite d berechnet werden. Hierfür wird die Formel IF.1 umgeformt und verwendet.

$$d * \sin(\theta_n) = n * \lambda \rightarrow d = \frac{n}{\sin(\theta_n)} * \lambda = \frac{1}{m} * \lambda$$

Hierbei soll die vom Hersteller mit $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ angegebene Wellenlänge verwendet werden. Durch Einsetzen aller Zahlenwerte ergibt sich die Spaltbreite $d = 786,52 \text{ } \mu\text{m}$.

Unter Berücksichtigung der Messunsicherheiten, welche mit laut Vorgabe 3% betragen ergibt sich somit

$$d = (786,5 \pm 24) \text{ } \mu\text{m} \text{ bzw. } d = 786,5(1 \pm 3\%) \text{ } \mu\text{m}$$

d)

Es soll die Spaltbreite d auf eine weitere Weise berechnet werden. Hierbei wird d unter Zuhilfenahme einer Sammellinse bestimmt.

$$d = B * \frac{g}{b}$$

Gegeben sind $B = 8,00 \text{ mm}$, $b = 94,5 \text{ mm}$, $g = 9 \text{ mm}$.

Durch Einsetzen aller Zahlenwerte ergibt sich die Spaltbreite bei diesem Verfahren somit zu $d = 761,9 \text{ } \mu\text{m}$. Dieses Ergebnis kann durch die in c) mit Hilfe der Beugung am Spalt berechneten Spaltbreite in etwa bestätigt werden

e)

Es gibt eine Obergrenze n_{max} für die maximale Anzahl der sichtbaren Minima. Um diese zu berechnen wird die Formel IF.1 nach n umgestellt und für $\sin(\theta_n) = \pm 1$ eingesetzt (Beugungswinkel = 90°). Auf diese Weise wird das erste Minimum bestimmt, welches nicht mehr zu sehen ist.

$$n = \frac{\pm 1 * d}{\lambda}$$

Das erste nicht sichtbare Minimum ist somit das 1205. Das letzte sichtbare Minimum auf einer Seite ist also das 1204, sodass insgesamt 2408 Minima zu sehen sind.

f)

(a) Das Beugungsbild eines Spaltes dessen Spaltbreite größer ist als die des ursprünglichen Spaltes verändert sich derart, dass mehr Minima sichtbar sind, welche jedoch einen kleineren Abstand zueinander haben. Das bedeutet, dass das einfallende Licht schwächer gebeugt wird.

(b) Das Beugungsbild eines Spaltes dessen Spaltbreite kleiner ist als die des ursprünglichen Spaltes verändert sich derart, dass weniger Minima sichtbar sind, welche jedoch einen größeren Abstand zueinander haben. Das bedeutet, dass das einfallende Licht stärker gebeugt wird.

4. Fazit

Bei diesem Versuch wurde die Wellenlänge eines roten Lasers bestimmt. Und zusätzlich die Spaltbreite des verwendeten Gitters beziehungsweise Einzelspaltes.

Die Größen ließen sich gut bestimmen, es traten nur geringe Unterschiede zwischen den berechneten Werten und den Angaben des Herstellers auf, welche auf suboptimale Versuchsbedingungen und ungenaues aufnehmen der beobachteten Werte. Hier sind besonders kritisch zu betrachten das Abmessen der Maxima mit herkömmlichen Messzeug, da Messung mit einer Genauigkeit von einem Millimeter hier schon schwierig werden können. Dem vorausgehend kann schon das Abzeichnen der Maxima eine große Fehlerquelle sein, da die Breite des Stiftes sowie die Ausdehnung der Lichtpunkte ein exaktes Bestimmen und Festhalten der Lage der Maxima unmöglich macht.

5. Anhang

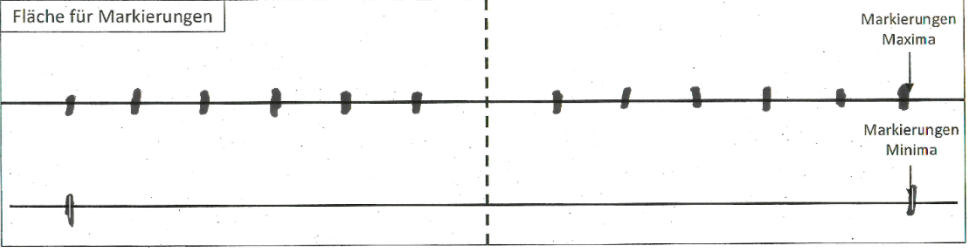
Datum Versuchstag: <u>05.03.2021</u> , Gruppennummer: <u>4</u>	
Teilnehmer: <u>Nils von Schaper, Adrian Eisenhardt</u>	
Fläche für Markierungen	
	
Messwerte: Abstand Gitter-Projektionsfläche: <u>82</u> cm Abstand von -1 zu +1 Maximum: <u>3,6116</u> cm Abstand von -2 zu +2 Maximum: <u>7,0336</u> cm Abstand von -3 zu +3 Maximum: <u>10,4556</u> cm Abstand von -4 zu +4 Maximum: <u>13,9696</u> cm Abstand von -5 zu +5 Maximum: <u>17,6976</u> cm Abstand von -6 zu +6 Maximum: <u>20,8516</u> cm Abstand Minimum zu Minimum: <u>20,994</u> cm	Daten Gitter: Gitterkonstante: <u>30</u> μm Anzahl Nebenmaxima : <u>6</u>  Unterschrift Assistent(in)

Abbildung 3: Messdaten Versuchsteil 1

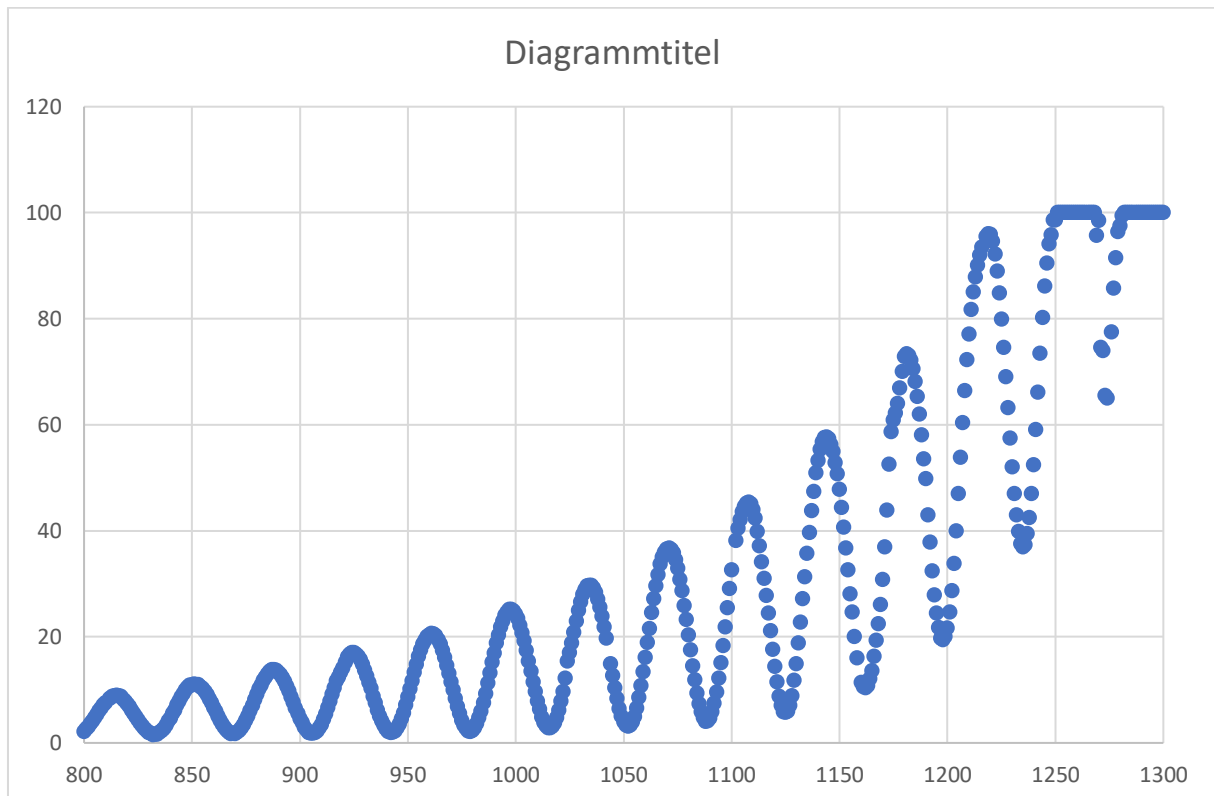


Abbildung 4: Messdaten Versuchsteil 2