Physikalisches Praktikum für Naturwissenschaftler SS 26

IF – Interferenz am Gitter, Beugung am Spalt

Gruppe: 21
Betreuer: Ebisch. Laura
Verfasser: [redacted]

Versuchsdatum: 30.04.2023
Abgabedatum: 07.05.2026
Abgabe: 1

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung und Zielsetzung	3
2.	Versuchsaufbau	3
3.	Versuchsdurchführung	4
3.1	Beugung am Gitter	4
3.2	Beugung am Spalt	7
4.	Fazit	10
5.	Anhang	11

1. Einführung und Zielsetzung

Die Beugung und Interferenz von Licht sind grundlegende Phänomene der Wellenoptik und finden in zahlreichen technischen Anwendungen der Optik Verwendung, beispielsweise in Spektrometern oder optischen Messsystemen.

Ziel des vorliegenden Versuchs ist die experimentelle Untersuchung dieser Effekte anhand unterschiedlicher optischer Anordnungen. Im ersten Versuchsteil wird die Interferenz von Licht an einem optischen Gitter analysiert, um daraus die Wellenlänge des verwendeten Lichts zu bestimmen.

Im zweiten Versuchsteil wird die Beugung am Einzelspalt betrachtet, wobei die Breite des Spalts aus dem entstehenden Beugungsbild ermittelt wird.

Darüber hinaus sollen die Zusammenhänge zwischen den beobachteten Intensitätsmaxima und -minima sowie den relevanten physikalischen Parametern, wie Wellenlänge, Spaltbreite und Gitterkonstante, untersucht und ausgewertet werden.

2. Versuchsaufbau

Im ersten Versuchsteil wird ein Laser am linken Ende der optischen Anordnung positioniert, der einen kohärenten Lichtstrahl erzeugt. Dieser ist auf ein optisches Gitter ausgerichtet, an dem es zur Beugung und Interferenz des Lichts kommt. Das entstehende Beugungsbild wird auf eine Projektionsfläche übertragen und dient als Grundlage für die weitere Auswertung.

Im zweiten Versuchsteil wird die Versuchsanordnung erweitert. Von links nach rechts sind ein Laser, ein Graufilter zur Reduktion der Lichtintensität, ein Einzelspalt sowie eine Sammellinse angeordnet. Am rechten Ende befindet sich eine CCD-Kamera, die mit einem Laptop verbunden ist und zur Aufnahme sowie Auswertung des Beugungsbildes dient (vgl. Abb. 1).

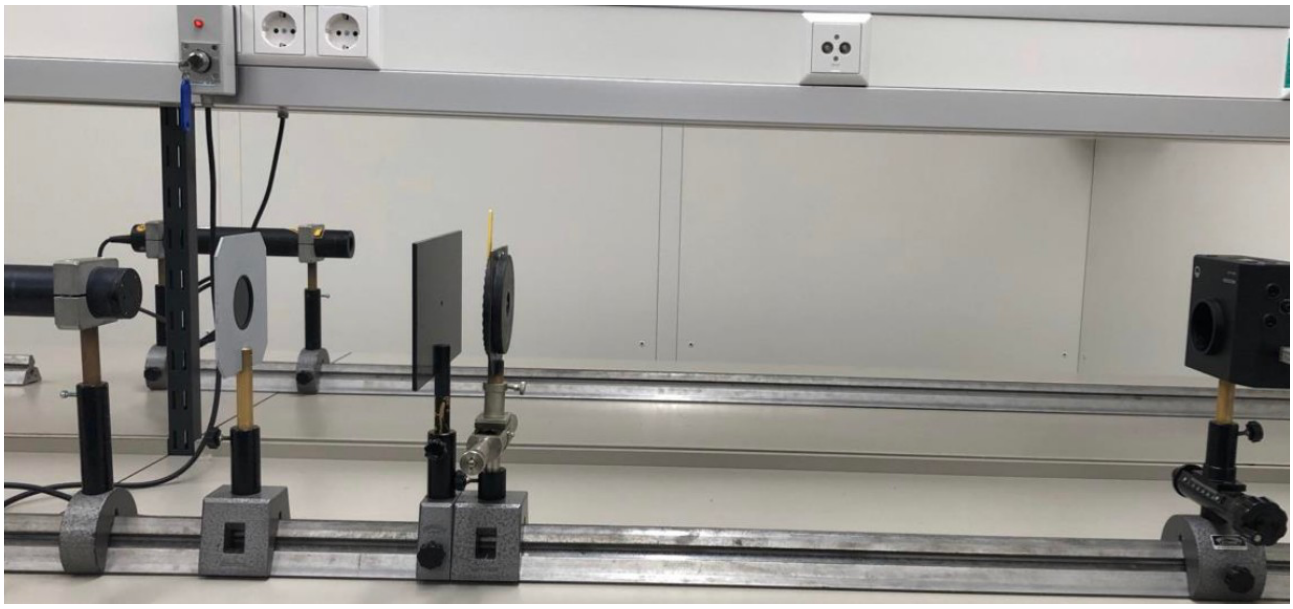


Abbildung 1: Versuchsaufbau zur Beugung am Einzelspalt (entnommen aus IF, Seite 11)

3. Versuchsdurchführung

3.1 Beugung am Gitter

Aufgabe 1:

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

$$\Theta = \frac{x}{L} = \arctan\left(\frac{x}{L}\right)$$

Beispielrechnung:

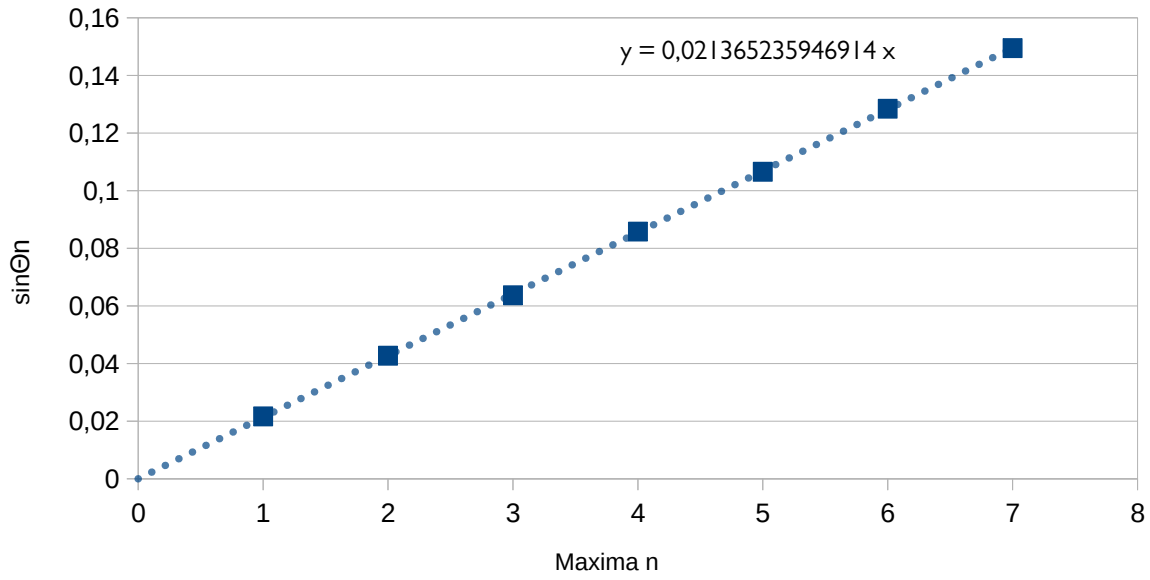
$$\Theta = \frac{0{,}0175\,\text{m}}{0{,}807\,\text{m}} \approx 0{,}0217$$

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

Unser L betrug 80,7 cm = 0,807 m.

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

n Maximum	**Abstand zum Maximum 0.ter Ordnung [m]**	**Beugungswinkel Θ_n [rad]**	**sin Θ_n**
1	0,02	0,0216...	0,0216...
2	0,03	0,0427...	0,0427...
3	0,05	0,0637...	0,0636...
4	0,07	0,0859...	0,0858...
5	0,09	0,1067...	0,1065...
6	0,1	0,1287...	0,1284...
7	0,12	0,1500...	0,1494...



Graph 1: Proportionale Abhängigkeit der Maxima n und sin Θ_n

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

Sie lautet: $m \approx 0{,}02137.$

Da ein proportionaler Zusammenhang zwischen den Messgrößen besteht und die Trendlinie recht gut auf unseren Messwerten aufliegt, können wir 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:

$$g \cdot \sin(\Theta_n) = n \cdot \lambda$$
$$g \cdot \frac{\sin(\Theta_n)}{n} = \lambda$$
$$g \cdot m = \lambda$$

Die Wellenlänge des Lasers, mit $g = 30\ \mu m$ (siehe Versuchsblatt) und $m \approx 0{,}02137$ lautet:

$$\lambda = 30\ \mu m \cdot 0{,}0213... = 0{,}6403...\ \mu m \approx 640{,}4\ nm$$

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.

$$\Delta u_m \approx \pm 0{,}0000939$$
$$\Delta u_g = \frac{1}{100} \cdot 30\ \mu m = 0{,}3\ \mu m$$

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

$$m = (0{,}0214 \pm 0{,}0001)$$

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.

→ Gauß´sche Fehlerfortpflanzung : $\Delta u_\lambda(m,g) = \sqrt{\left(\frac{\delta \lambda}{\delta g} \cdot \Delta u_g\right)^2 + \left(\frac{\delta \lambda}{\delta m} \cdot \Delta u_m\right)^2}$

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

Daraus erhält man:

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

$$\Delta u_\lambda(m,g) = \sqrt{(0{,}021... \cdot 0{,}3\ \mu m)^2 + (30\ \mu m \cdot 0{,}00009...)^2}$$

$$\Delta u_\lambda(m,g) = 0{,}00699...\ \mu m \approx 6{,}99\ nm$$

Das Ergebnis für die Wellenlänge λ lautet also:

$$\lambda = (640 \pm 7)\ nm$$

$$\lambda = 640(1 \pm 1{,}1\%)\ nm$$

d) Die vom Hersteller angegebene Länge des Lasers beträgt λ = 632,8. Man soll nun die errechnete Wellenlänge unseres Experimentes vergleichen.

Das berechnete λ liegt knapp oberhalb der vom Hersteller angegeben Wellenlänge. Verschiedene Messunsicherheiten haben dazu geführt, dass die Werte nicht übereinstimmen.

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 10,45 cm = 0,1045 m

$$\Theta = \frac{x}{L} = \arctan\left(\frac{0{,}1045\,m}{0{,}807\,m}\right) \approx 0{,}12889 \qquad \text{(IF. 7)}$$

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

$$d = \frac{n \cdot \lambda}{\sin(\Theta)} = \frac{632{,}8\ nm \cdot 1}{0{,}1288...} = 4913{,}98...\ nm \approx 4{,}914\ \mu m$$

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

Es lässt sich somit festhalten, 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: 6

Der Bereich der von uns angeschaut wurde, hatte zwischen zwei Hauptmaxima, insgesamt sechs Nebenmaxima. Es gilt: 6+2=8, wir hatten also acht Spalten in unserem Beugungsgitter.

3.1 Beugung am Spalt

Aufgabe 2

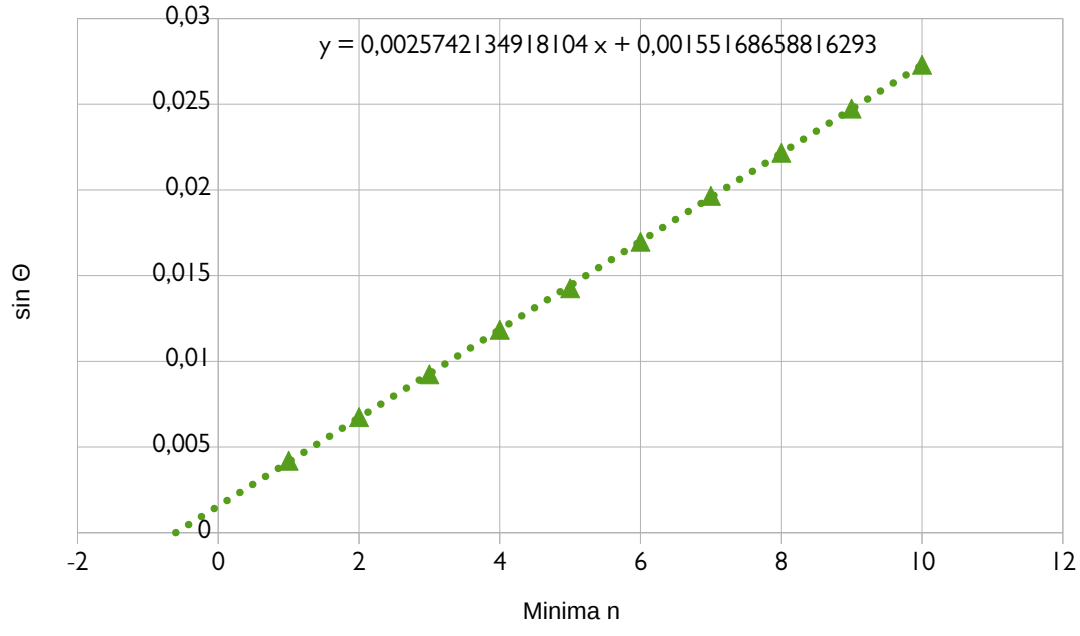
a) In dem zweiten Versuchsteil wurde mit einer CCD-Kamera gearbeitet, die aus 2048 Pixeln besteht und eine Breite von 2,8 cm hat. In der folgenden Tabelle werden Winkel Θ unter denen die Maxima und Minima auftreten veranschaulicht.

Die Lage des Hauptmaxima befand sich bei Pixel 1536 (laut Aufgabenstellung), der Abstand L von Spalt und Linse ist 70 cm = 0,7 m.

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

n Minimum	Lage Minimum /Pixel	Betrag Abstand Minimum zu Hauptmaximum / Pixel	Betrag x_n Minimum zu Hauptmaxima [m]	Beugungswinkel Θ_n des Minimums [rad]	sin Θ_n
1	1321	215	0,00293...	0,00419...	0,00419...
2	1191	345	0,00471...	0,00673...	0,00673...
3	1063	473	0,00646...	0,00923...	0,00923...
4	930	606	0,00828...	0,01183...	0,01183...
5	806	730	0,00998...	0,01425...	0,01425...
6	667	869	0,01188...	0,01697...	0,01697...
7	530	1006	0,01375...	0,01964...	0,01964...
8	401	1135	0,01551...	0,02216...	0,02216...
9	269	1267	0,01732...	0,02474...	0,02474...
10	138	1398	0,01911...	0,02729...	0,02730...

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



Graph 2: Proportionaler Zusammenhang von sin Θ *und Minima n*

Die Steigung beträgt hierbei $m \approx 0{,}00257$. 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 632,8 nm. Die Spaltbreite kann auf 3% genau bestimmt werden.

Aus der Formel IF.1 , sowie dem Zusammenhang der Steigung *m* und des Winkels sin *Θ*, ergibt sich:

$$d = \frac{\lambda}{m} = \frac{632{,}8\,\text{nm}}{0{,}00257\ldots} = 245822{,}65\ldots\,\text{nm} \approx 245{,}822\,\mu\text{m}$$

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

$$\Delta u_d = d \cdot \frac{3}{100} = 245{,}822\ldots\ \mu\text{m} \cdot 0{,}03 \approx 7{,}375\,\mu\text{m}$$

Somit hat der Spalt rechnerisch bestimmt die Breite von:

$$d = (245 \pm 8)\ \mu\text{m}$$

$$d = 245(1 \pm 3{,}27\,\%)\ \mu\text{m}$$

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

B = 3 mm; g = 82 mm; b = 1245 mm

$$d = 3\ \text{mm} \cdot \frac{82\ \text{mm}}{1245\ \text{mm}} = 0{,}01975\ldots\ \text{mm} \approx 197{,}59\ \mu\text{m}$$

Es besteht keine Übereinstimmung zwischen den beiden Werten für *d*. Die von uns berechnete Größe von *d* ist ungefähr um 1/5 zu klein. Der Unterschied liegt wahrscheinlich an ungenauem ablesen oder Messungenauigkeiten 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.

$$n = \frac{d \cdot \sin\Theta}{\lambda}$$

$$n = \frac{245822{,}65\ldots\ nm \cdot 1}{632{,}8\ \text{nm}} \approx 388{,}468$$

$$n = 388{,}46 \cdot 2 \approx 777$$

Das 777.te Minima ist also das letzte Minima, dass beobachtet werden kann.
Der berechnete Wert erscheint vergleichsweise 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

Im vorliegenden Versuch zeigt sich, dass die Untersuchung der Beugung am optischen Gitter zu zuverlässigeren Ergebnissen führt als die Beugung am Einzelspalt. Die im ersten Versuchsteil bestimmte Wellenlänge von $\lambda = (640 \pm 7)$ nm stimmt gut mit dem erwarteten Herstellerwert von 632,8 nm überein und bestätigt die theoretischen Zusammenhänge.

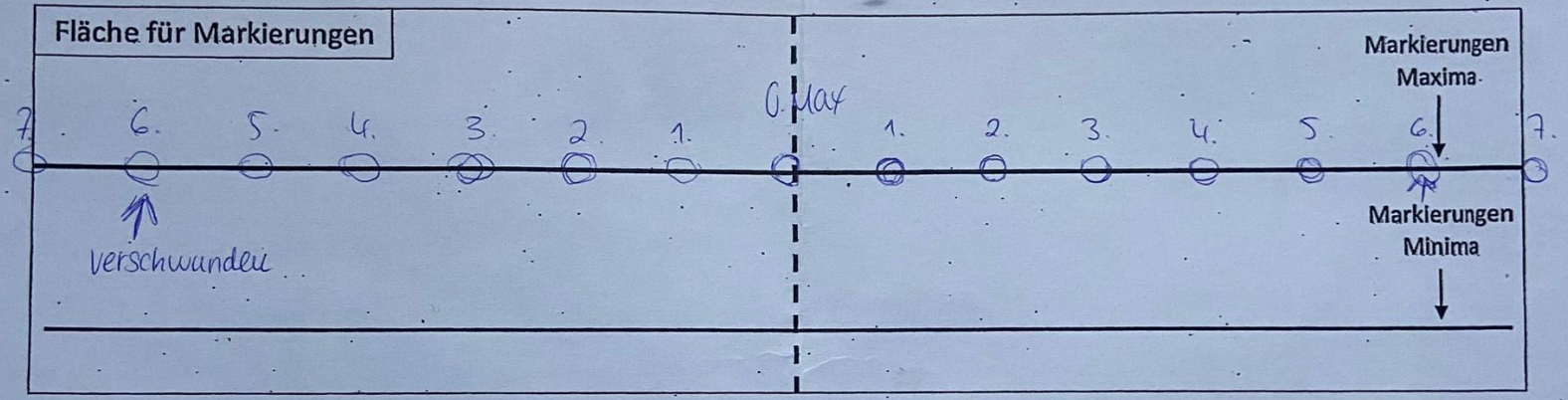
Im zweiten Versuchsteil ergeben sich hingegen deutliche Abweichungen bei der Bestimmung der Spaltbreite. Die beiden ermittelten Werte von etwa 245 µm und 197 µm unterscheiden sich erheblich und sind somit nicht miteinander verträglich. Dies weist auf größere Messunsicherheiten und systematische Fehler in der Versuchsdurchführung oder Auswertung hin.

Die Abweichungen lassen sich insbesondere auf Ungenauigkeiten beim Ablesen, der Bestimmung von Abständen sowie auf die begrenzte Auflösung der Messmethoden zurückführen. Da sich diese Fehler im Verlauf der Auswertung kumulieren, führen sie zu einer deutlich größeren Gesamtunsicherheit im Vergleich zum ersten Versuchsteil.

Insgesamt bestätigen die Ergebnisse die theoretischen Grundlagen der Beugung und Interferenz, wobei sich zeigt, dass das Gitterverfahren eine höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit aufweist als die Bestimmung der Spaltbreite am Einzelspalt.

Datum Versuchstag: 30. April 2026, Gruppennummer: 21,

Teilnehmer: [redacted]



Messwerte:

Abstand Gitter-Projektionsfläche: 80,7 cm

Abstand von -1 zu +1 Maximum: 3,5 cm
Abstand von -2 zu +2 Maximum: 6,9 cm
Abstand von -3 zu +3 Maximum: 10,3 cm
Abstand von -4 zu +4 Maximum: 13,9 cm
Abstand von -5 zu +5 Maximum: 17,3 cm
Abstand von -6 zu +6 Maximum: 20,9 cm
Abstand von -7 zu +7 Maximum: 24,4 cm
Abstand von -8 zu +8 Maximum: / cm

Abstand Minimum zu Minimum: 20,9 cm

Daten Gitter:

Gitterkonstante: 30 µm

Anzahl Nebenmaxima : 6

Unterschrift Assistent(in)

Messwerte - Versuch Interferenz Teil 2 zum Einzelspalt

Datum des Versuchstags: 30.04.26.

Gruppennummer: 21 Teilnehmer: [redacted]

Unterschrift Assistent/-in: [redacted]

Abstand L von Kamera zu Spalt: 0,7 m

Pixelwerte der Minima:

Nr. Minimum	Pixelwert	Nr. Minimum	Pixelwert
1	1321	7	530
2	1191	8	401
3	1063	9	269
4	930	10	138
5	806	11	/
6	667	12	/

Spalt Einstellung 0,3 mm (statt 0,5)

Kontrollmessung für Spaltbreite:

Abstand g von Spalt zur Linse: 82 mm

Abstand b von Linse zur Proejktionsfläche: 1245 mm

Größe B des Spaltbildes: 5 mm

Bemerkungen: