

Prak.: P2 Semester: SS20 Wochentag: Do Gruppennr.: 11
P1/P2 z.B. „WS14/15“ oder „SS15“ Mo/Di/Mi/Do ##

Name: Henke Vorname: Hanna Sofia

Name: Hönl Vorname: Annika

Emailadresse(n): Optional

Versuch: Laser-Optik, Teil A (P2-16) Fehlerrech.: Ja
z.B. „Galvanometer (P1-13)“ oder „Mikrowellenoptik (P2-15)“ Ja/Nein

Betreuer: Luis Kussi Durchgeführt am: 16.07.20
TT.MM.JJ

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: 23.07.2020

Rückgabe am: 23.07.2020 Begründung:

Verbesserung:

Mischung von statistischen Unsicherheiten und systematischen Unsicherheiten in der Fehlerrechnung.

Hinweise und Tipps:

Anmerkung:

Originale Aufzeichnungen bitte mit abgeben und nicht vergessen.

2. Abgabe am: 23.07.2020

Ergebnis: (+) / 0 / - Fehlerrechnung: (Ja) / Nein

Datum: 04.08.2020

Handzeichen: LLK

Bemerkungen:

FAKULTÄT FÜR PHYSIK
Physikalisches Praktikum P2 für Physiker

Versuch P2-16,17,18

Laser A

Raum F1-29

Obwohl A.Einstein schon 1917 von der theoretischen Existenz stimulierter Emission berichtet hat, wurde erst 1954 dieses Phänomen experimentell nachgewiesen. Mit dem darauf basierenden optischen Laser stehen der Forschung und der Technik seit 1960 Lichtquellen zur Verfügung, die sich durch extrem große Kohärenzlänge, sehr gute Parallelität und große 'Energiestromdichte' auszeichnen.

Sie verwenden bei diesem Versuch den Laser als ideale Lichtquelle für Beugungs- und Interferenzexperimente und lernen Anwendungen wie z.B. die Holographie kennen.

SICHERHEITSHINWEISE:

DER LASERSTRAHL IST GEFÄHRLICH FÜR DIE AUGEN!

NIE DIREKT IN DEN STRAHL HINEINSEHEN!

Bei allen Justier- und Aufbauarbeiten Laserschutzbrillen tragen!

Da beim Experimentieren spiegelnde Flächen im Strahl unvermeidlich sind und die Strahlage nicht festliegt, ist besondere Vorsicht geboten. Bleiben Sie beim Experimentieren in der Regel stehen, mit den Augen also weit über der Strahlhöhe. Stark aufgeweitetes oder gestreutes Laserlicht, z.B. von matten Flächen, vom Schirm, vom Hologramm etc., ist bei den verwendeten, relativ schwachen Lasern ungefährlich. Die Grundjustierung eines verstellten und nicht mehr zündenden Lasers (nur bei den Lasern mit externen Spiegeln) ist sehr zeitraubend. Verstellen Sie deshalb die Justierschrauben an den Spiegeln nicht. Der Laser verlischt schon bei sehr geringen Drehwinkeln!

Für Fehlerrechnung sind die Aufgaben 2.1, 3.1 und 3.3 geeignet. Jedes Beugungsbild sollte hier fünfmal abgezeichnet werden, um eine ausreichende Statistik für die Auswertung zu erhalten.

Aufgaben:

1. Bestimmung des Brewsterwinkels (kann gemeinsam bearbeitet werden)

Bei Gaslasern wird das Entladungsrohr meist mit 'Brewster-Fenstern' abgeschlossen. Überlegen Sie sich den Sinn dafür und demonstrieren Sie die Notwendigkeit: Montieren Sie einen drehbaren Plattenhalter mit planparalleler, sorgfältig geputzter Glasscheibe vor den Laser, verändern Sie den Einfallswinkel und beobachten Sie die Strahlintensität. Bestimmen Sie den Brewsterwinkel, und daraus den Brechungsindex des Glases. Das Minimum der Reflexion wird ohne Intensitätsmessung an der Zimmerdecke beobachtet. Für die Beobachtung des Maximums der Transmission könnte z.B. ein Si-Photoelement mit Meßinstrument benutzt werden. Das ist aber ungenauer als die Beobachtung des Minimums. (Warum?)

2. Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante

2.1 Bestimmen Sie aus der Lage der Beugungsmaxima und -minima die nur grob bekannte Breite der beiden Spalte: $d \sim 0,2\text{mm}$ und $0,3\text{mm}$.

2.2 Vergleichen Sie die Beugungsfigur eines gleichbreiten Steges mit der des Spaltes (Babinet-Theorem).

2.3 Betrachten Sie die Beugungsbilder einer Kreisöffnung, einer gleichgroßen Kreisscheibe sowie einer Kante.

Frage: Warum ist die Mitte der Beugungsfigur einer Scheibenblende stets hell? (Poissonscher Fleck)

2.4 Bestimmen Sie aus seiner Beugungsfigur den Durchmesser eines Haares. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem einer Messung mit Mikrometerschraube.

3. Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Bestimmen Sie die Spaltbreite und den Spaltabstand eines der Doppelspalte aus seinem Beugungsbild.

3.2 Sagen Sie voraus und beobachten Sie dann, a) wie sich das Beugungsbild bei Verwendung des zweiten Doppelspalts charakteristisch ändern wird und b) wie sich das Beugungsbild des Dreifachpalts (0,25 / 0,5) von dem des Doppelspalts (0,25 / 0,5) charakteristisch unterscheidet.

3.3 Bestimmen Sie die Gitterkonstante eines der Strichgitter. Beobachten Sie das Beugungsbild. Welche Rolle spielt die Ausleuchtung?

3.4 Beobachten Sie Beugungsbilder von Kreuz- und Wabengittern. Demonstrationsversuch ohne Auswertung.

4. Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände (vergl. 'Abbésche Theorie der Bildentstehung im Mikroskop'). **Zeigen Sie, daß für die Abbildung durchstrahlter Objekte das abgebeugte Licht eine wesentliche Rolle spielt.**

Beleuchten Sie ein Gitter (Wabengitter oder Strichgitter 100 Striche/cm) mit parallelem Licht und bilden Sie es mit Hilfe einer 150mm-Linse nach Umlenkung mit einem fernen Planspiegel auf eine Mattscheibe in Lasernähe neben der optischen Bank ab, d.h. in Ihrer Nähe, damit Sie beim Justieren beobachten können. Eine Beugungsordnungsblende in der bildseitigen Brennebene der Linse gestattet das Durchlassen von nur nullter oder von nullter und erster Ordnung des gebeugten Lichts, denn parallel in die Linse einfallendes Licht (Licht derselben Beugungsordnung!) wird in der Brennebene gesammelt. Da die Beugungsordnungsblende schwierig zu justieren ist, können Sie die nullte Ordnung auch mit der Kreisblende (1mm) ausblenden. Beobachten Sie das auf der Mattscheibe jeweils entstehende Bild. Versuchen Sie auch die Beobachtung der zwei weiteren Fälle: Nur die erste oder nur die zweite Ordnung passieren die Beugungsordnungsblende. Gitter, Linse und die dazu passende Beugungsordnungsblende werden in einem Justieraufbau montiert, die Beugungsordnungsblende kommt dabei in die nach allen Richtungen transversal zum Strahl verschiebbliche Fassung. Zeichnen Sie zu diesem Versuch bei der Vorbereitung den Strahlengang. Wie könnte man den beobachteten Effekt benutzen, um etwa bei einem digitalisiert empfangenen Zeitungsbild das störende Raster verschwinden zu lassen? ('Image Enhancement'; Literatur: Hecht/Zajac)

5. Holographie: Reproduzieren Sie ein Hologramm. Beobachten Sie sowohl das reelle als auch das virtuelle Bild.

Weiten Sie den Laserstrahl dabei jeweils geeignet auf. Überzeugen Sie sich davon, daß Sie wirklich dreidimensional beobachten können, daß sich nämlich beim Bewegen des Kopfes die Perspektive ändert und Sie zunächst Verborgenes dann sehen können. Das reelle Bild kann auf einem Schirm (weißes Papier) aufgefangen werden. Bewegen Sie den Schirm durch das Strahlungsfeld. Zeigen Sie auch, daß die Information über ein Gegenstandsdetail nicht nur an einer bestimmten Stelle des Hologramms gespeichert ist. Decken Sie verschiedene Bereiche des zunächst weit ausgeleuchteten Hologramms ab.

ZUBEHÖR: (Das Zubehör befindet sich teils an den Versuchsplätzen, teils im Schrank. Es ist mit wenigen Ausnahmen für jeden Versuchsplatz vorhanden.)

- He-Ne-Laser, Polytec PL-610P, 5mW (geschlossene Bauform mit integriertem Netzteil, polarisiert). **An allen Plätzen.**
- Experimentiertisch (mit 3m-Zeißschiene), diverse Reiter, Verschiebereiter,
- Lichtdetektor mit Phototransistor (kleinflächig, mit ausgeprägter Richtcharakteristik durch Frontlinse, in Gehäuse mit Anschlussbuchsen für Betriebsgleichspannung, 9V bis 15V, und für Messinstrument, sehr lichtempfindlich und leicht übersteuerbar, deshalb nur für geringe Lichtintensität vorgesehen),
- Netzgerät (2 X 15V, für Phototransistor 1 X 15V an roter und schwarzer Buchse verwenden), Lichtdetektor Si-Photoelement (großflächige Photodiode, $d=12\text{mm}$, wird nur im Elementbetrieb verwendet, d.h. ohne Betriebsspannung direkt an Spannungs- oder Strommessgerät angeschlossen),
- Vielfachmessinstrument (Metex 3800, digitale LCD-Anzeige, alle benötigten Messbereiche verfügbar, gleicher Innenwiderstand bei allen Gleichstrombereichen, deshalb intensitätsproportionale Anzeige mit Si-Photoelement auch über die Bereichsgrenzen hinaus; Achtung: Bei einer der Schalterstellungen 20A-Bereich für spezielle 20A-Buchse, jedoch nur 20-Mikroampere-Bereich für allgemeine A-Buchse !),
- Strahlaufweitungssystem (Mikrobank auf Stift, in Haltern spezielle, für die Laserlicht-Wellenlänge korrigierte Linsen $f_1=10\text{mm}$ und $f_2=150\text{mm}$ im f_1+f_2 -Abstand, telezentrisches System), Justieraufbau (Mikrobank auf Stift mit drei verschiebbaren 25mm-Bauteil-Haltern, davon mindestens einer transversal

- justierbar), Halter (diverse, für Linsen, Blenden, Hologramme und Sonstiges),
- Schirm (Fe, groß, mit Haftmagneten für Papierbefestigung), Planspiegel (auf Stift mit Kugelgelenk),
- Mattscheibe (in Halter auf Stift), Glasplatte (in Halter, drehbar um hor. Achse, mit Winkelskala),
- Polarisationsfilter (d=10cm, auf Stift, drehbar, mit Winkelskala, **nicht im unaufgeweiteten Strahl benutzen!**),
- Hologramm (8,5cm X 10cm, in Halter auf Stift),
- Gitter (Dia-Format: Strichgitter 570/mm, Kreuzgitter 13,4/mmX15/mm, Kreuzgitter 2,6/mm x 3,8/mm; in 25 mm-Fassung: Strichgitter 100/cm; Kreuzgitter und Wabengitter (= Hexagonalgitter) ohne Dimensionsangabe),
- Kreisblende 1 – 1.5 – 2 mm als Dia
- Tischlampe, Taschenlampe, Maßband, Reinigungsutensilien.

Folgende Elemente in 25mm-Fassungen:

- Beugungsordnungsblende mit 5 speziellen Öffnungen, Beugungskante, Lochblende 1mm,
- Scheibenblende 1mm, Beugungssteg 0,3mm, Spalte 0,2mm und 0,3mm und 0,4mm,
- Doppelspalte 0,25/0,5mm und 0,25/0,75mm, Dreifachspalt 0,25/0,5mm, Vierfachspalt 0,2/0,3mm,
- Einstellspalt, Irisblende, Polarisationsfilter ohne Skala,
- Achromate $f=10\text{mm}$ und $f=20\text{mm}$, Sammellinsen $f=30\text{mm}$ und $f=50\text{mm}$ und $f=100\text{mm}$ und $f=150\text{mm}$.

Literatur:

Demtröder, *Experimentalphysik 2*, Elektrizität und Optik, Springer-Verlag, 2006

F. Pedrotti et al., *Optik für Ingenieure*, Grundlagen, Springer-Verlag, 2002

Bergmann, Schäfer: *Experimentalphysik*, Bd.3, Optik

Hecht, Zajac: *Optics*

Koppelman: *Der Laser - Eine elem. Darst.*, Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986), S.37

Koppelman: *Die Grundidee der Holographie - Eine elem. Einf.*, Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986), S.2

Koppelman: *Erzeugung echt räuml. Bilder mit Hologr.* - Eine elem. Darst., Praxis der Naturwiss., Heft 1/35 (1986)

Mallwitz (Firma Spindler & Hoyer): *Arbeitsunterlagen zum He-Ne-Laser*, Versuche mit kohärentem Licht

Tradowsky: *Laser, kurz und bündig*

Brändli, Dändliker, Hatz: *Laserphysik*

Version: Mai 20

P2 - Laser A

1.1) Einzelspalt → Mail

1.2) Brewster-Winkel: $\theta \hat{=} 9^\circ$; Max bei 323° überall Gitter usw bei ca. 88cm
Schirm bei 2,91m

2.1) → Millimeterpapier

2.2) Beugungssteg $0,3 \text{ mm}$

2.3) → Fotos

2.4) Messungen mit μm -Schraube: Annika: $0,07 \text{ mm}$ Hanna: $0,08 \text{ mm}$

3.1) ~~0,25 / 0,5~~ → Millimeterpapier

3.2) → Fotos

3.3) → Millimeterpapier

3.4) → Fotos

4.1) → Fotos

5.1)

L.H.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlegende Experimente	3
1.1	Bestimmung des Brewster-Winkels	3
1.2	Beugungsmuster eines Einzelspalts	4
2	Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende und Kante	4
2.1	Beugung am Spalt, Bestimmung der Spaltbreite	4
2.2	Beugung am Steg	7
2.3	Beugung an einer Kreisöffnung, einer Kreisscheibe und einer Kante	8
2.4	Durchmesserbestimmung eines Haares	8
3	Beugung an Mehrfachspalten und Gittern	9
3.1	Beugung am Doppelspalt	9
3.2	Doppelspalte verschiedener Abmessungen und Dreifachspalte	12
3.3	Strichgitter	13
3.4	Kreuz- und Wabengitter	15
4	Abbildung nichtselbleuchtender Gegenstände	15
5	Holographie	17

1 Grundlegende Experimente

1.1 Bestimmung des Brewster-Winkels

Theoretischer Hintergrund:

Unter dem Brewster-Winkel versteht man bei der Brechung an einer Mediumsgrenze den Winkel, bei dem der reflektierte Strahl s-polarisiert ist (d.h. senkrecht zur Einfallsebene). Dies kommt dadurch zustande, dass die Moleküle auf der Mediumsoberfläche als schwingende Dipole angesehen werden können, die nicht in ihrer Schwingrichtung abstrahlen können. Darum tritt der Brewster-Winkel genau dann auf, wenn zwischen reflektierten und transmittierten Strahl genau 90° liegen. Dies ist in Abb. 1 graphisch dargestellt.

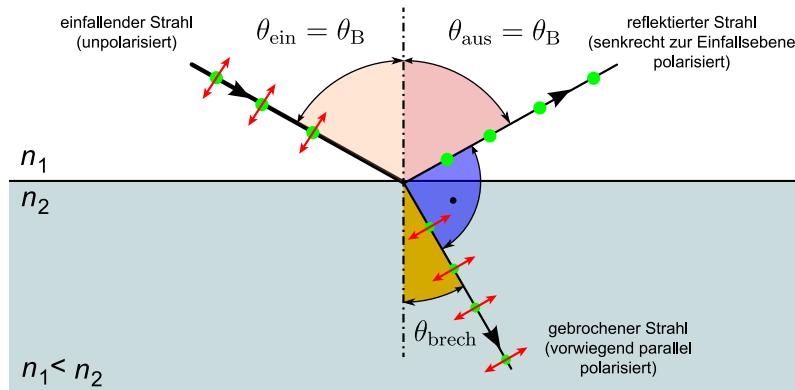


Abbildung 1: Veranschaulichung des Brewster-Winkels [1]

Bei Lasern werden so genannte 'Brewster-Fenster' verwendet, um den Strahl zu polarisieren, dabei ist beim „Hintereinanderschalten“ mehrerer Oberflächen, bei denen das Licht im Brewster-Winkel einfällt, irgendwann auch der transmittierte Strahl annähernd vollkommen polarisiert (p-polarisiert, d.h. parallel zur Einfallsebene). Diese Polarisation kann für einige Versuche relevant sein.

Der Brewster-Winkel kann sowohl über das Minimum des reflektierten Strahls als auch durch das Maximum des transmittierten Strahls bestimmt werden. Dabei ist die Bestimmung des Minimums dadurch erschwert, dass es im Raum „wandert“. Deshalb wird beim Praktikum das Maximum beobachtet, obwohl dies ungenauer ist, da ein Minimum, d.h. die *Abwesenheit* von Intensität einfacher und klarer zu bestimmen ist als ein Hochpunkt der Intensität.

Messung und Auswertung:

Bei der Messung liegt der Brewster-Winkel nach der Korrektur um die Nullstelle bei

$$\theta_B = 46^\circ.$$

Über den in Abb.1 zu sehenden Zusammenhang

$$\theta_{\text{brech}} + \theta_B = 90^\circ$$

und das Snelliussche Brechungsgesetz

$$n_1 \sin(\theta_B) = n_2 \sin(\theta_{\text{brech}})$$

folgt, dass

$$\tan(\theta_B) = \frac{n_2}{n_1}.$$

Nähert man nun $n_1 \approx 1$ für die Luft, so ergibt sich für den Brechungsindex des Glases:

$$n_2 = \tan(\theta_B) = \tan(46^\circ) \approx 1,036$$

Der erwartete Brechungsindex von Glas liegt zwischen 1,45 und 2,14 [2], sodass die Messung des Maximums (wie oben beschrieben) nur eine ungenaue Messung des Brewster-Winkels (und darüber den Brechungsindex) ermöglicht.

1.2 Beugungsmuster eines Einzelspalts

In diesem Versuchsabschnitt wird das Interferenzmuster eines Einzelspalts in einer lichtdicht abgeschlossenen Box digitalisiert und über ein Programm visualisiert. Die Ausgabe ist in Abb. 2 zu sehen.

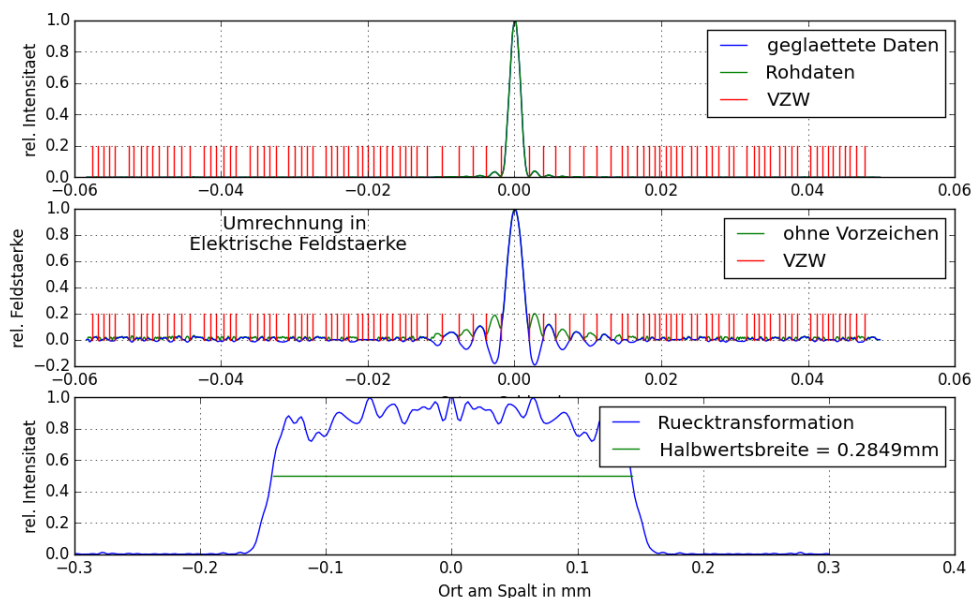


Abbildung 2: Interferenz am Einzelspalt

Wie die genauen Stellen der Minima und Maxima berechnet werden, ist in Aufgabe 2.1 beschrieben. Hier soll es vor allem um die Verarbeitung der gemessenen Werte und die Rückschlüsse auf den Spalt gehen.

Im ersten dargestellten Graphen ist die gemessene Intensität aufgetragen, weshalb es nur positive Werte gibt. Bei einer Intensitätsmessung wird das Vorzeichen des elektrischen Feldes/der elektrischen Feldstärke durch den quadratischen Zusammenhang unterschlagen, sodass dieses über die Minima (\Rightarrow Nullstellen) rekonstruiert werden muss. Dies ist im mittleren Bild beim blauen Graphen zu sehen, außerdem sind in beiden oberen Graphen die Nullstellen, also die Vorzeichenwechsel, mit roten Strichen markiert.

Diese Rekonstruktion der mit Vorzeichen versehenen Feldstärke wird deshalb gemacht, da sich aus ihrer Fourier-Transformation die Geometrie des Spaltes ergibt (es gilt, dass das Interferenzmuster und die Funktion der Objektgeometrie jeweils die Fourier-Transformierten voneinander sind). Dabei wäre bei einem Einfachspalt generell ein Plateau zu erwarten, dessen Breite der Spaltbreite entspricht. Im dritten Bild in Abb. 2 ist die Fourier-Transformation der gemessenen Kurve zu sehen, die kein perfektes Plateau ergibt, aber dennoch eine recht klare Halbwertsbreitenbestimmung (\Rightarrow Bestimmung der Spaltbreite) zulässt. Die Abweichungen zu einem idealen Plateau kommen hier v.a. dadurch, dass nur ein Teilbereich des Interferenzmusters (und nicht 360°) aufgenommen wurden, wodurch die Fourier-Transformation nicht den gesamten Raum umfasst.

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

2.1 Beugung am Spalt, Bestimmung der Spaltbreite

Herleitung der Maxima und Minima beim Einzelspalt:

Zunächst wird betrachtet, wie es zu Minima und Maxima beim Einzelspalt kommt. Allgemein ergibt sich ein solches Bild, weil die am Spalt gebeugten Wellen miteinander interferieren, wobei

abhängig von ihrer Wegdifferenz δ konstruktive und destruktive Interferenz auftreten kann. Zur Erklärung ist hier die Skizze in Abb. 3 hilfreich.

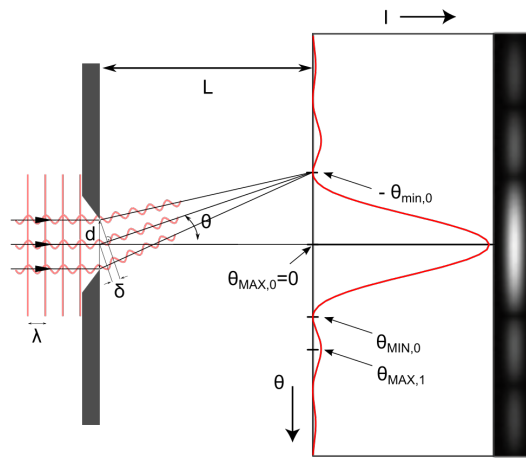


Abbildung 3: Skizze zur Interferenz am Einzelspalt [3]

Es ergibt sich nun ein Minimum, wenn der Gangunterschied δ gerade ein Vielfaches der Wellenlänge ist (also $\delta = n\lambda$), da sich der Strahl dann in Teilstrahlen aufteilen lässt, von denen sich immer zwei gegenseitig auslöschen (Gangunterschied $\lambda/2$). Über eine Dreiecksbetrachtung folgt zudem $\sin(\theta) = \delta/d$. Außerdem gilt für die y-Komponente des Minimums auf dem Schirm $y_n = L \tan(\theta)$, sodass über die Kleinwinkelnäherung schließlich für ein Minimum am Einzelspalt folgt:

$$d = \frac{n\lambda L}{y_n} \quad (1)$$

Für ein Maximum ist die Bedingung an δ , dass $\delta = (n + 1/2)\lambda$, woraus über die sonst gleichen Zusammenhänge für ein Maximum am Einzelspalt folgt:

$$d = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda L}{y_n}$$

Messungen und Berechnungen:

Es werden pro Spalt fünf Messreihen durchgeführt, bei denen jeweils rechts und links der optischen Achse die Minima auf Millimeterpapier aufgezeichnet werden, um diese auszuwerten.

Dabei wird hier und in den folgenden Aufgaben die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verwendet (da die Fehler nicht korreliert sind):

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{dy}{dx_i}\right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad (2)$$

Für die Abstandswerte y_n der Minima auf dem Schirm wird dafür zunächst mit python für jede Ordnung der Mittelwert m und die Standardabweichung σ_{y_n} berechnet, siehe Tab. 1 und Tab. 2.

Tabelle 1: 0,2 mm-Einzelspalt

Ordnung	m / mm	σ_{y_n} / mm
1	7,7	0,4
2	15,1	0,3
3	22,7	0,4
4	30,05	0,35
5	37,6	0,49

Tabelle 2: 0,3 mm-Einzelspalt

Ordnung	m / mm	σ_{y_n} / mm
1	5,75	0,4
2	10,9	0,58
3	16,15	0,45
4	21,35	0,45
5	26,2	0,51

Zur Bestimmung des Spaltabstandes d lässt sich die Gleichung (1) umstellen zu

$$y_n = \frac{n\lambda L}{d},$$

sodass ein linearer Fit im n - y_n -Diagramm möglich ist. Für die beiden untersuchten Spalte (mit $d \approx 0,2$ mm und $d \approx 0,3$ mm) ist dies in den Abb. 4 und Abb. 5 zu sehen. Dabei sind die vorher berechneten Standardabweichungen σ_n auf die einzelnen Mittelwerte der Ordnungen als Fehlerbalken visualisiert.

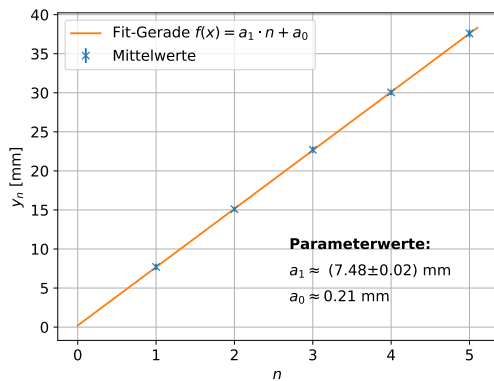


Abbildung 4: 0,2 mm-Einzelspalt

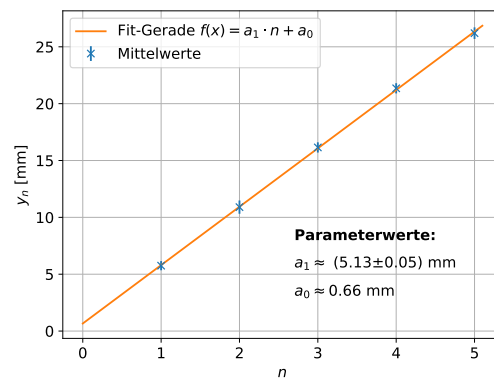


Abbildung 5: 0,3 mm-Einzelspalt

Bei diesen Fits ergeben sich kleine y-Achsenabschnitte von $\ll 1$ mm, sodass sie hinreichend einer Ursprungsgeraden entsprechen. Aus den ermittelten Steigungen lassen sich nun die Spaltbreiten berechnen:

$$a_1 = \frac{\lambda L}{d} \quad \Leftrightarrow \quad d = \frac{\lambda L}{a_1}$$

Für die Berechnungen gilt nun:

- die Steigungen a_1 und deren Fehler σ_{a_1} sind durch die Fits gegeben (siehe Abb. 4 und 5)
- die Wellenlänge des He-Ne-Lasers beträgt standardmäßig 632,8 nm [5], die Unschärfe auf diese Wellenlänge wird in diesem Versuch vernachlässigt
- der Abstand vom Spalt zum Schirm beträgt etwa $L = 2,03$ m mit der Unsicherheit $\sigma_L = 0,02$ m
- die systematische Ableseungenauigkeit der Minimalstellen y_n wird auf $\sigma_{y_n} = 0,5$ mm geschätzt

Damit ergeben sich für die Spaltbreiten:

$$d_{0,2} \approx 0,172 \text{ mm}$$

$$d_{0,3} \approx 0,250 \text{ mm}$$

Der statistische Fehler der Spaltbreite kommt durch die Unsicherheit des Fits zustande, dabei gilt nach (2):

$$\begin{aligned} \sigma_d^2 &= \left(\frac{dd}{da_1} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 = \left(-\frac{\lambda L}{a_1^2} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 \\ \Rightarrow \sigma_{d_{0,2}} &\approx \sqrt{0,023^2 \cdot (0,02 \text{ mm})^2} \approx (0,46 \times 10^{-3}) \text{ mm} \\ \Rightarrow \sigma_{d_{0,3}} &\approx \sqrt{0,049^2 \cdot (0,05 \text{ mm})^2} \approx (2,45 \times 10^{-3}) \text{ mm} \end{aligned}$$

Der systematische Fehler auf die Spaltbreite ergibt sich nun aus den Unsicherheiten auf den Abstand L und auf die Messwerte y_n . Diese sind nicht korreliert, sodass wieder das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz (2) angewendet werden kann:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{dd}{dL}\right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(\frac{dd}{dy_n}\right)^2 \sigma_{y_n}^2 = \left(\frac{\lambda}{a_1}\right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(-\frac{n\lambda L}{y_n^2}\right)^2 \sigma_{y_n}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{d_{0,2}} \approx \sqrt{(8,46 \times 10^{-5})^2 \cdot (20 \text{ mm})^2 + (0,18 \times 10^{-3})^2 \text{ mm}^2} \approx (13,39 \times 10^{-3}) \text{ mm}$$

$$\Rightarrow \sigma_{d_{0,3}} \approx \sqrt{(6,02 \times 10^{-10})^2 \cdot (20 \text{ mm})^2 + (0,60 \times 10^{-3})^2 \text{ mm}^2} \approx (24,7 \times 10^{-3}) \text{ mm}$$

Ergebnis:

Durch die Messungen ergeben sich mit den Unsicherheiten die folgenden Spaltbreiten:

$$d_{0,2} \approx (0,172 \pm 0,0005 \pm 0,013) \text{ mm}$$

$$d_{0,3} \approx (0,250 \pm 0,0025 \pm 0,025) \text{ mm}$$

Diese weichen beide (vor allem die des "0,3mm-Spalt") sehr von den vorgegebenen Maßen ab, die auch nicht mehr im Bereich der Unsicherheit liegen. Bei dieser Versuchsdurchführung kann vor allem die Größe L noch mit einem größeren Fehler behaftet sein bzw. einen leicht anderen Wert haben, doch dies hat keine großen Einflüsse auf das Ergebnis. Demzufolge scheint die ganze Messung etwas ungenau zu sein.

2.2 Beugung am Steg

Theoretischer Hintergrund:

In diesem Versuchsteil wird das Beugungsmuster eines Spaltes mit dem eines Steges gleicher Abmessungen (d.h. in diesem Fall: gleiche Breite) verglichen. Das bedeutet, die beiden Blenden sind komplementär zueinander und nach dem *Theorem von Babinet* ist das gleiche Beugungsmuster zu erwarten. Grund dafür ist, dass nach der Wellenausbreitung nach dem *Huygens'schen Prinzip* nur ausschlaggebend ist, wo die Kanten sind, an denen die Welle gebrochen wird. Ab dieser Kante breiten sich dann wieder Elementarwellen aus, sodass es egal ist, auf welcher Seite die Blende durchlässig ist und auf welcher nicht. Da sich bei komplementären Blenden die Kanten an den gleichen Stellen befinden, ergeben sich also die gleichen Beugungsmuster.

Beobachtungen und Messungen:

Beim Vergleich der Beugungsmuster in Abb. 6 und Abb. 7 wird deutlich, dass das Beugungsmuster eines 0,3 mm-Steges (rechts) qualitativ das gleiche ist wie das eines 0,3 mm-Spalt (links).

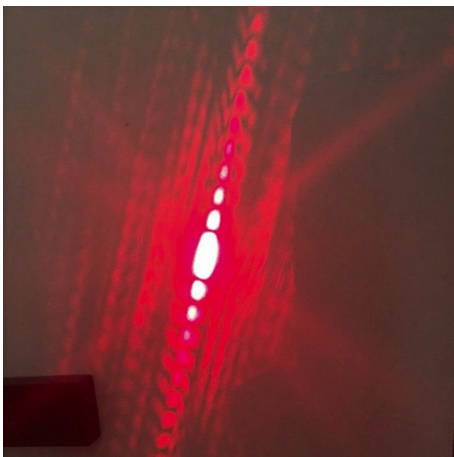


Abbildung 6: Spalt 0,3 mm

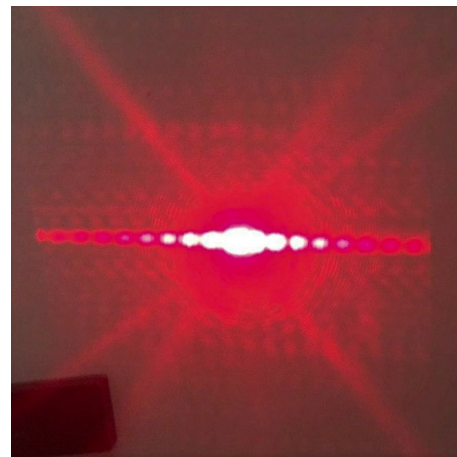


Abbildung 7: Steg 0,3 mm

Die beim Steg gemessenen Minima sind in Tab. 3 eingetragen, zum Vergleich sind außerdem auch die in Aufgabe 2.1 bestimmten Mittelwerte der Minima des 0,3 mm-Spaltes notiert.

Tabelle 3: Vergleich Steg-Spalt

Ordnung	1	2	3	4	5
Steg / mm	2,75	7,5	11,5	15,75	20
Spalt / mm	5,75	10,9	16,15	21,35	26,2

Ergebnisse:

Beim Vergleich der Werte in Tab. 3 lässt sich feststellen, dass die Minima des Spaltes und des Steges einigermaßen übereinstimmen, wenn man das erste Minimum des Steges vernachlässigt. Die Abweichungen können dadurch zustandekommen, dass der Spalt bzw. der Steg vermutlich nicht exakt 0,3 mm breit sind, sondern leichte Abweichungen haben.

2.3 Beugung an einer Kreisöffnung, einer Kreisscheibe und einer Kante

In dieser Teilaufgabe sollen qualitativ die Beugungsbilder einer Kreisöffnung, einer Kreisscheibe und einer Kante beobachtet werden. Die beobachteten Interferenzmuster sind in den Abb. 8 bis Abb. 10 zu sehen.

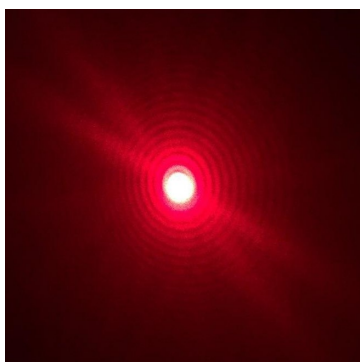


Abbildung 8: Lochblende

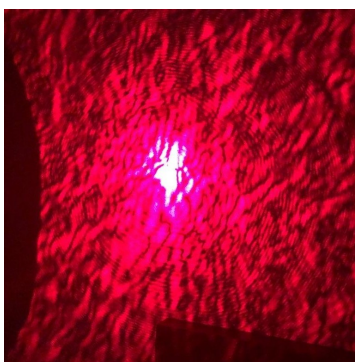


Abbildung 9: Kreisscheibe

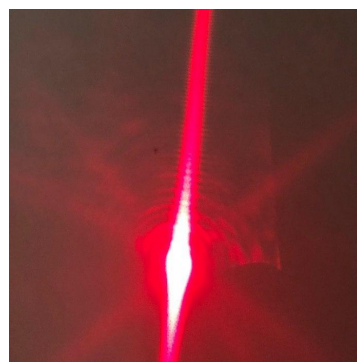


Abbildung 10: Kante

Beim Interferenzmuster der Lochblende (Abb. 8) sieht man sehr schön, dass das Interferenzmuster nun rotationssymmetrisch ist, wie es von einer rotationssymmetrischen Blende zu erwarten ist. Die Lochblende und die Kreisscheibe haben beide den Durchmesser 1 mm, sie sind also komplementär zueinander und haben nach dem in Aufgabe 2.2 beschriebenen Theorem von Babinet darum das gleiche Interferenzmuster. Wie man in Abb. 9 sieht, ist diese Beobachtung in diesem Fall nur schwer zu machen, da zwar Kreisringe zu sehen sind, diese aber stark von den Störungen überlagert werden, die durch das Trägermaterial zustandekommen. Deutlich sehen kann man aber, dass die Mitte der Beugungsfigur hell ist. Dieser *Poissonsche Fleck* entsteht, da in der Mitte alle Ränder der Kreisscheibe gleich weit entfernt sind und es darum zur konstruktiven Interferenz kommt (alle Strahlen haben die gleiche Weglänge).

Auch das Beugungsbild der Kante (Abb. 10) ist v.a. auf dem Foto nur schlecht zu erkennen, doch es lässt sich trotzdem ein Interferenzmuster ähnlich dem eines Einzelspaltes erkennen, das durch die Beugung an der Kante zustande kommt.

2.4 Durchmesserbestimmung eines Haares

In dieser Aufgabe wird analog zur Aufgabe 2.1 die Breite eines Haares über dessen Interferenzbild bestimmt. Dies ist möglich, da ein Haar als Steg angesehen werden kann und somit über das

Theorem von Babinet (in Aufgabe 2.2 erklärt) das gleiche Interferenzmuster entsteht wie bei einem Spalte der gleichen Breite.

Messwerte und Berechnungen:

Bei dieser Messung wurde pro Haar jeweils eine Messung gemacht, die Mittelwerte der rechts und links der Mitte liegenden Minima sind in Tab. 4 eingetragen.

Tabelle 4: Interferenzminima mit Haaren

Ordnung	1	2	3	4	5
Hanna / mm	15,75	30,75	46,75	61,5	77,5
Annika / mm	23,75	45,75	68,0	89,5	

Über lineare Fits analog zur Aufgabe 2.1 ergeben sich zunächst die Steigungen a_1 und daraus die Breiten d :

$$\begin{aligned}
 a_{1,\text{Hanna}} \approx 15,42 \text{ mm} & \Rightarrow d_{\text{Hanna}} \approx 0,083 \text{ mm} \\
 a_{1,\text{Annika}} \approx 21,95 \text{ mm} & \Rightarrow d_{\text{Annika}} \approx 0,059 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Ergebnisse und Vergleich:

Die Ergebnisse liegen innerhalb der zu erwartenden Werte für Menschen-Kopfhaare (Durchschnitt: 0,05-0,08 mm [6]). Mit einer Mikrometerschraube werden Vergleichswerte gemessen:

$$\begin{aligned}
 d_{\text{Hanna}} & \approx 0,08 \text{ mm} \\
 d_{\text{Annika}} & \approx 0,07 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Diese stimmen v.a. bei Hannas Haar gut mit der Berechnung über das Interferenzbild überein, bei Annikas Haar hätte man die Schraube vielleicht noch etwas enger drehen müssen.

3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Beugung am Doppelspalt

Aufgabenstellung:

Bestimmung des Spaltabstands und der Spaltbreite eines Doppelspalts.

Messwerte und Berechnung:

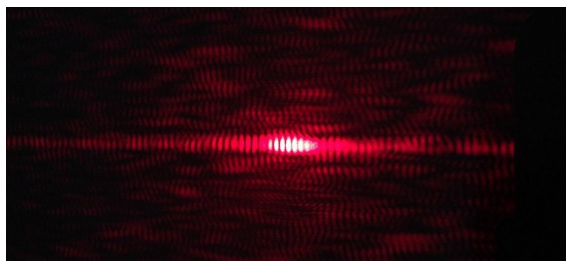


Abbildung 11: Interferenz am Doppelspalt: Spaltabstand 0,5 mm, Spaltbreite 0,2 mm

Die Spaltbreite wird analog zu Spaltbreite eines Einzelspalts bestimmt, indem nur ein Spalt angeleuchtet wird. Es wurden fünf Messreihen durchgeführt, bei denen jeweils rechts und links der optischen Achse die Minima auf Millimeterpapier aufgezeichnet werden, um diese auszuwerten. Dabei wird hier und in den folgenden Aufgaben die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verwendet (2)

(da die Fehler nicht korreliert sind).

Für die Abstandswerte y_n der Minima auf dem Schirm wird dafür zunächst mit python für jede Ordnung der Mittelwert m und die Standardabweichung σ_{y_n} berechnet, siehe Tab. 5.

Tabelle 5: Einzelner Spalt des Doppelspalts

Ordnung	m / mm	σ_{y_n} / mm
1	6,75	0,25
2	13,15	0,39
3	19,65	0,5
4	26,55	0,42
5	32,2	0,33

Tabelle 6: Doppelspalt

Ordnung	m / mm	σ_{y_n} / mm
1	0,75	0,25
2	2,1	0,2
3	3,25	0,25
4	4,8	0,33
5	6,6	0,2

Bestimmung des Spaltabstands:

Zur Bestimmung des Spaltabstandes d lässt sich die Gleichung (1) umstellen zu

$$y_n = \frac{n\lambda L}{d},$$

sodass ein linearer Fit im n - y_n -Diagramm möglich ist. Für den einzeln untersuchten Spalt des Doppelspalts (mit $d \approx 0,2$ mm) ist dies in den Abb. 12 zu sehen. Dabei sind die vorher berechneten Standardabweichungen σ_n auf die einzelnen Mittelwerte der Ordnungen als Fehlerbalken visualisiert.

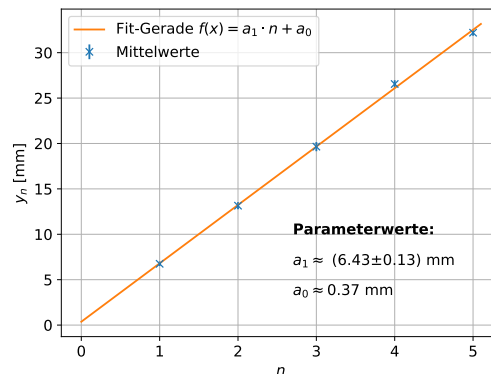


Abbildung 12: Interferenz am einzelnen Spalt des Doppelspalts

Bei diesem Fit ergibt sich ein kleiner y-Achsenabschnitte von $\ll 1$ mm, sodass er hinreichend einer Ursprungsgeraden entspricht. Aus der ermittelten Steigung lässt sich nun die Spaltbreite berechnen:

$$a_1 = \frac{\lambda L}{d} \quad \Leftrightarrow \quad d = \frac{\lambda L}{a_1}$$

Damit ergibt sich für die Spaltbreite:

$$d_{0,2} \approx 0,172 \text{ mm}$$

Für die Fehlerquellen werden die gleichen Annahmen wie in Aufgabe 2.1 gemacht. Der statistische

Fehler der Spaltbreite kommt durch die Unsicherheit des Fits zustande, dabei gilt nach (2):

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{dd}{da_1} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 = \left(-\frac{\lambda L}{a_1^2} \right)^2 \sigma_{a_1}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{d_{0,2}} \approx \sqrt{0,031^2 \cdot (0,13 \text{ mm})^2} \approx (4,04 \times 10^{-3}) \text{ mm}$$

Der systematische Fehler auf die Spaltbreite ergibt sich nun aus den Unsicherheiten auf den Abstand L und auf die Messwerte y_n . Diese sind nicht korreliert, sodass wieder das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz (2) angewendet werden kann:

$$\sigma_d^2 = \left(\frac{dd}{dL} \right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(\frac{dd}{dy_n} \right)^2 \sigma_{y_n}^2 = \left(\frac{\lambda}{a_1} \right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(-\frac{n\lambda L}{y_n^2} \right)^2 \sigma_{y_n}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{d_{0,2}} \approx \sqrt{(9,84 \times 10^{-5})^2 \cdot (20 \text{ mm})^2 + (3,02 \times 10^{-4}) \text{ mm}^2} \approx (17,5 \times 10^{-3}) \text{ mm}$$

Damit ist die Spaltbreite:

$$d_{0,2} \approx (0,172 \pm 0,004 \pm 0,018) \text{ mm} \quad (3)$$

Damit liegt die angegebene Spaltbreite $d = 2 \text{ mm}$ außerhalb des Fehlers der berechneten Spaltbreite.

Bestimmung des Spaltabstands:

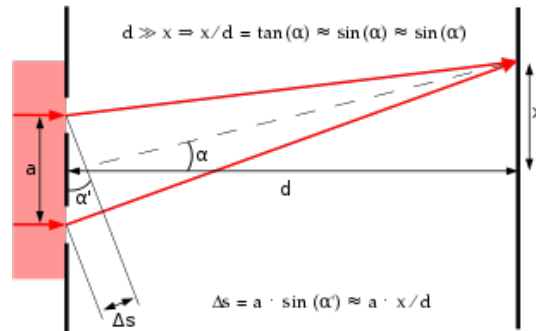


Abbildung 13: Interferenz am Doppelspalt [4]

Es werden weiterhin Minima gemessen. Damit sich ein Minima ergibt, muss der Gangunterschied $\Delta s = n + 0,5$ sein, da dann die beiden Teilwellen gegenphasig sind und sich auslöschen. Der Spaltabstand b berechnet sich dann folgendermaßen:

$$b = \frac{(n + 0,5)\lambda l}{y_n} \quad (4)$$

Die Gleichung (4) lässt sich umstellen zu

$$y_n = \frac{(n + 0,5)\lambda L}{b},$$

sodass ein linearer Fit zu im $(n + 0,5) - y_n$ -Diagramm möglich ist. Dies ist in Abb. (14) zu sehen. Dabei sind die vorher berechneten Standardabweichungen σ_n auf die einzelnen Mittelwerte der Ordnungen als Fehlerbalken visualisiert.

Der y-Abschnitt $\approx 2 \text{ mm}$ ist klein genug, dass die Gerade weiterhin als Ursprungsgerade angenommen werden kann. Aus der Steigung lässt sich der Spaltabstand ermitteln.

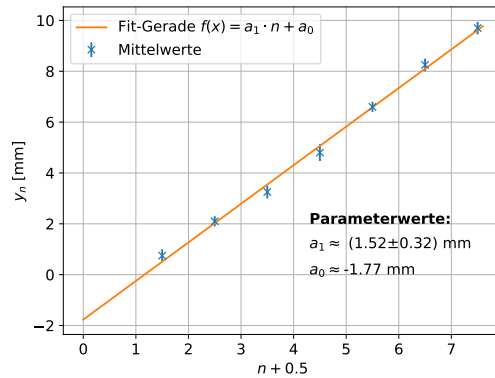


Abbildung 14: Interferenz am Doppelspalt

$$a_1 = \frac{\lambda L}{b} \quad \Leftrightarrow \quad b = \frac{\lambda L}{a_1}$$

Analog zur Berechnung der Spaltbreite gelten die Werte für L und λ . Daraus ergibt sich der Spaltabstand.

$$b = 0,845 \text{ mm}$$

Wieder ergibt sich der statistische Fehler über die Unsicherheit des Fits:

$$\begin{aligned} \sigma_b^2 &= \left(\frac{db}{da_1} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 = \left(-\frac{\lambda L}{a_1^2} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 \\ \Rightarrow \quad \sigma_b &\approx \sqrt{0,845^2 \cdot (0,32 \text{ mm})^2} \approx 0,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

Auch bei der Berechnung der systematischen Fehler gelten die gleichen Annahmen wie vorher:

$$\begin{aligned} \sigma_b^2 &= \left(\frac{db}{dL} \right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^7 \left(\frac{db}{dy_n} \right)^2 \sigma_{y_n}^2 = \left(\frac{\lambda}{a_1} \right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^7 \left(-\frac{n\lambda L}{y_n^2} \right)^2 \sigma_{y_n}^2 \\ \Rightarrow \quad \sigma_b &\approx \sqrt{(41,63 \times 10^{-5})^2 \cdot (20 \text{ mm})^2 + 1,45 \text{ mm}^2} \approx 1,20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Damit ist der Spaltabstand:

$$b = (0,845 \pm 0,27 \pm 1,2) \text{ mm}$$

Entgegengesetzt zur Spaltbreite liegt der gegebene Spaltabstand $b = 1 \text{ mm}$ innerhalb des Fehlers der berechneten Spaltbreite und hat einen sehr großen Fehlerbereich.

3.2 Doppelspalte verschiedener Abmessungen und Dreifachspalte

Teilaufgabe a:

Der gleiche Laser wird auf zwei Doppelspalte unterschiedlichen Spaltabstandes gestrahlt ($b_1 = 0,5 \text{ mm}$ und $b_2 = 0,75 \text{ mm}$).

Beobachtung:

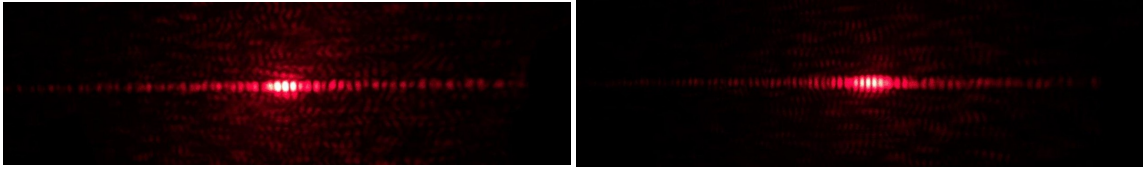


Abbildung 15: Interferenz am Doppelspalt Spaltabstand 0,5 mm Spaltbreite 0,2 mm
 Abbildung 16: Interferenz am Doppelspalt Spaltabstand 0,75 mm Spaltbreite 0,2 mm

Der Erwartung nach entsprechend liegen die Minima in Abb. 16 näher beieinander als in Abb. 15. Rechnerisch sieht man das an Gleichung (4).

Teilaufgabe b:

Zu untersuchen ist der Unterschied der Interferenzbilder eines Doppelspalts und eines Dreifachspalts der gleichen Maße ($b = 0,25 \text{ mm}$ und $d = 0,5 \text{ mm}$).

Beobachtung:

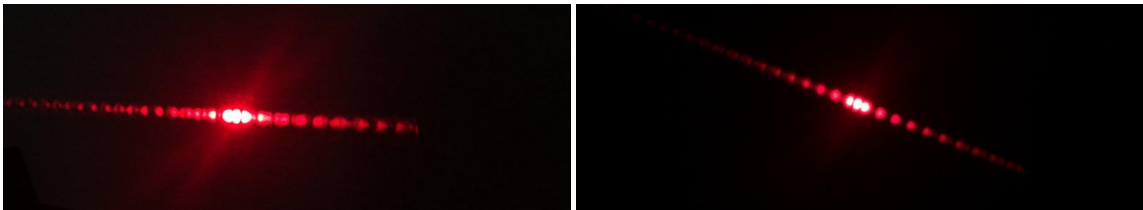


Abbildung 17: Interferenz am Doppelspalt Abbildung 18: Interferenz am Dreifachspalt

Die Einhüllende ändert sich nicht, aber die Anzahl an Minima und Maxima erhöht sich beim Dreifachspalt, da jetzt ein Strahl mehr interferiert.

3.3 Strichgitter

Aufgabe:

Bestimmung der Gitterkonstante g eines Gitters.

Messwerte und Berechnung:

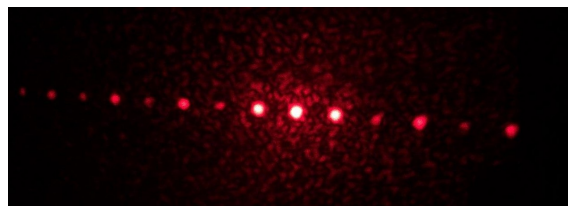


Abbildung 19: Interferenz am Strichgitter

Es wurden fünf Messreihen durchgeführt, bei denen die Maxima auf Millimeterpapier eingezeichnet wurden. Hier wird die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verwendet (Gleichung (2)). Für die Abstandswerte y_n der Maxima auf dem Schirm wird dafür zunächst mit python für jede Ordnung der Mittelwert m und die Standardabweichung σ_{y_n} berechnet, siehe Tab. 7.

Tabelle 7: Strichgitter

Ordnung	m / mm	σ_{y_n} / mm
1	12,25	0,34
2	24,8	0,46
3	36,9	0,49
4	48,8	0,6
5	61,05	0,61

Zur Bestimmung der Gitterkonstante wird die Formel

$$\frac{1}{g} = \frac{n\lambda L}{y_n}$$

umgestellt zu

$$y_n = gn\lambda L.$$

Diese Formel lässt sich als $n - y_n$ -Diagramm mit linearem Fit auftragen. Dabei sind die vorher berechneten Standardabweichungen σ_n auf die einzelnen Mittelwerte der Ordnungen als Fehlerbalken visualisiert.

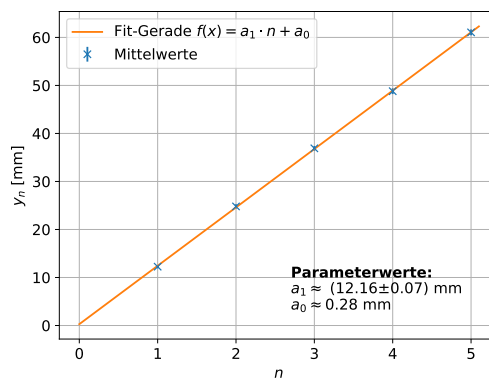


Abbildung 20: Interferenz am Strichgitter

Der y-Achsenabschnitt ist $\ll 1$ mm. Deswegen kann die Gerade weiterhin als Ursprungsgerade angesehen werden. Aus der Steigung lässt sich die Gitterkonstante ermitteln.

$$a_1 = g\lambda L \quad \Leftrightarrow \quad g = \frac{a_1}{\lambda L}$$

Analog zu Aufgabe 2.1 gelten die Werte für L und λ .

$$g = 9,466 \text{ mm}^{-1}$$

Die Fehler auf die Gitterkonstante werden erneut nach (2) berechnet, zunächst die statistischen Fehler:

$$\begin{aligned} \sigma_g^2 &= \left(\frac{dg}{da_1} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 = \left(\frac{1}{L\lambda} \right)^2 \sigma_{a_1}^2 \\ \Rightarrow \sigma_g &\approx \sqrt{(778,46 \times 10^{-3})^2 \text{mm}^{-4} \cdot (0,07 \text{ mm})^2} \approx 0,0545 \text{ mm}^{-1} \end{aligned}$$

Für die systematischen Fehler gelten erneut die Annahmen der vorherigen Berechnungen:

$$\sigma_g^2 = \left(\frac{dg}{dL}\right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(\frac{dg}{dy_n}\right)^2 \sigma_{y_n}^2 = \left(\frac{-a_1}{L^2 \lambda}\right)^2 \sigma_L^2 + \sum_{n=1}^5 \left(\frac{1}{n \lambda L}\right)^2 \sigma_{y_n}^2$$

$$\Rightarrow \sigma_g \approx \sqrt{(4,66 \times 10^{-3})^2 \cdot 20^2 \text{mm}^{-2} + 0,222 \text{mm}^{-2}} \approx 0,48 \text{mm}^{-1}$$

Die Gitterkonstante ist demnach:

$$g = 9,466 \text{mm}^{-1} \pm 0,06 \text{mm}^{-1} \pm 0,48 \text{mm}^{-1}$$

Somit ist der angegebene Wert der Gitterkonstante $g = 10 \text{mm}^{-1}$ innerhalb des Fehlers des berechneten Werts.

3.4 Kreuz- und Wabengitter

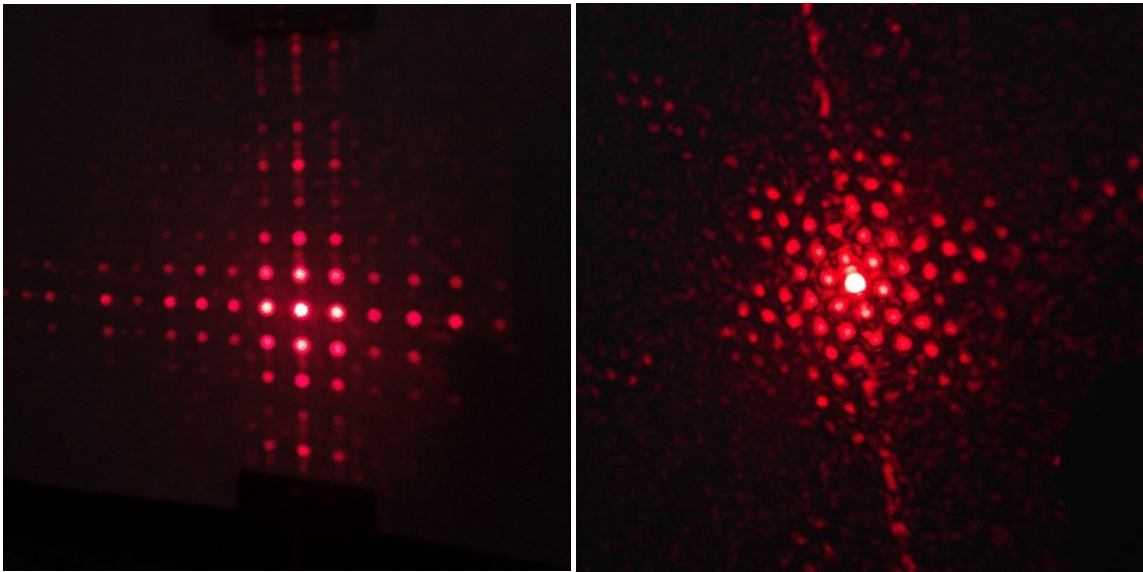


Abbildung 21: Kreuzgitter

Abbildung 22: Wabengitter

In diesem Demonstrationsversuch ist zu sehen, dass es Gitter gibt, die ein Interferenzmuster in Kreuz- und in Wabenform erzeugen.

4 Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände

Vorbereitung:

Ziel dieses Versuches ist es zu beobachten, welche Interferenz-Ordnungen für eine korrekte Abbildung eines nichtselbstleuchtenden Gegenstandes nötig sind. Dafür wird ein Strahlengang ähnlich dem in Abb. 23 gezeigten aufgebaut. Der einzige Unterschied ist, dass zur Vereinfachung der Justierung noch ein Spiegel nach dem Gitter eingebaut wird, sodass das Bild schließlich auf der Wand hinter dem Laser zu beobachten ist.

Beobachtungen und Erklärung:

Die auf der Wand zu sehenden Bilder sind auf den Fotos Abb. 24 bis Abb. 27 zu sehen, wobei als Objekt ein Wabengitter verwendet wird. Dabei wird sehr deutlich zu sehen, dass die komplette Struktur des Gitters in den Abb. 24 und Abb. 25 noch klar zu erkennen ist, in Abb. 26 jedoch schon unscharf wird. In Abb. 27 ist schließlich nur noch ein heller Fleck zu sehen.

Dies ist der Fall, da in dieser letzten Einstellung nur noch die 0. Ordnung durchgelassen wird, die zwar einen hellen Fleck verursacht, in dem alle Strahlen konstruktiv interferieren, jedoch keine

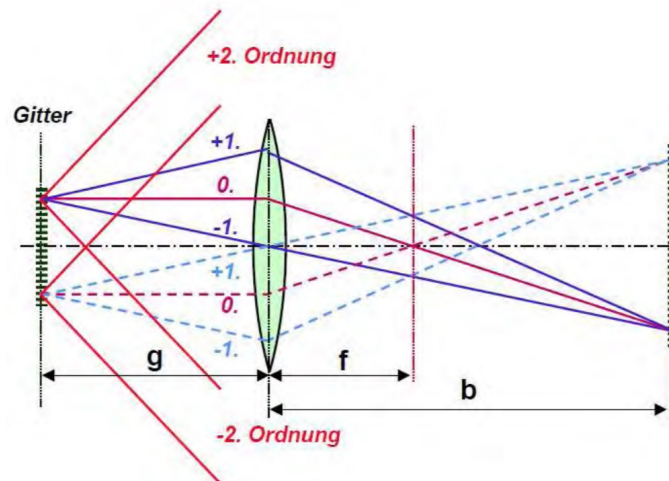


Abbildung 23: Strahlengang für die Betrachtung nichtselbstleuchtender Gegenstände [7]

weiteren Informationen über das Gitter enthält. Diese Informationen sind erst in den höheren Ordnungen des Interferenzmusters enthalten, die dann bei einer weiter geöffneten Blende mehr und mehr durchgelassen werden. Dadurch wird das Bild deutlicher, je weiter die Blende geöffnet ist.

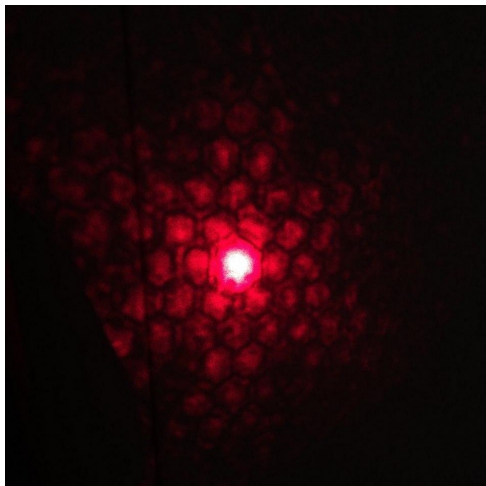


Abbildung 24: Blende offen

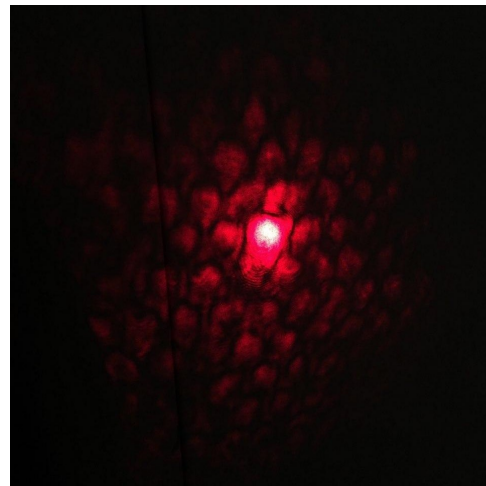


Abbildung 25: Blende etwas zu

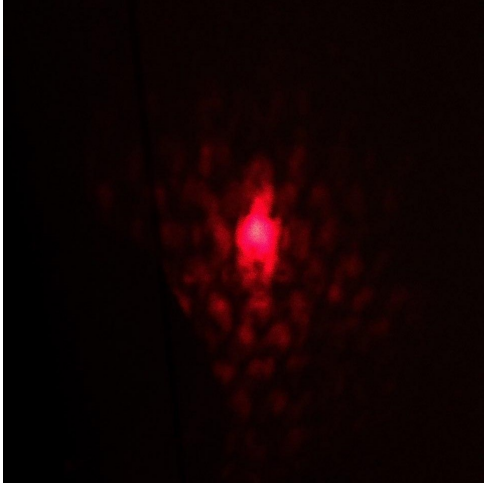


Abbildung 26: Blende weiter zu

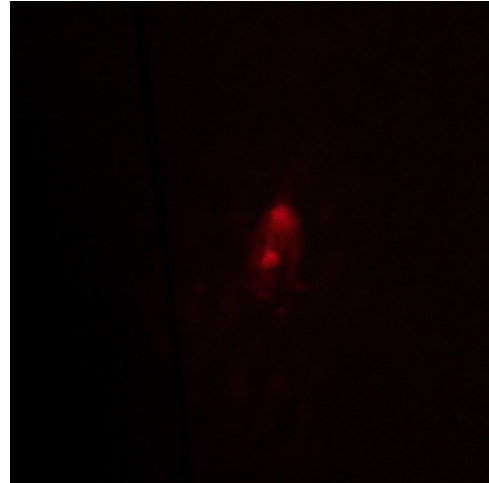


Abbildung 27: Blende fast ganz zu

5 Holographie

Theoretischer Hintergrund:

Bei herkömmlichen Fotos geht jegliche Information über den Phasenabstand verschiedener Lichtstrahlen - und damit auch ein Teil der Informationen über Entfernungen - verloren. Bei einer Holographie-Aufnahmen wird darum zwischen der Lichtquelle und dem abzubildenden Objekt ein Strahlteiler aufgestellt, sodass ein Teil der Lichtstrahlen direkt auf die Photoplatte geleitet werden und der andere Teil vom Objekt auf diese reflektiert wird. Da diesen beiden Teilstrahlen dann einen gewissen Phasenunterschied aufweisen, der von der Struktur des Objekts abhängt, interferieren die Strahlen auf der Photoplatte. Beleuchtet man diese dann später mit dem Licht der Wellenlänge, mit der das Bild aufgenommen wurde, so werden diese Interferenzen, bzw. der Wellengang rekonstruiert. Dadurch entsteht ein Hologramm, d.h. ein Bild, das dreidimensional erscheint und sich aus verschiedenen Blickwinkeln beobachten lässt. Zudem sind die Detailinformationen dieses Bildes nicht nur an einer bestimmten Stelle des Hologramms gespeichert, sondern können auch beobachtet werden, wenn dieses nur teilweise beleuchtet wird.

Beobachtungen:

Um das Hologramm ausreichend zu beleuchten, wird der Strahl des Lasers mit Linsen aufgeweitet. Dann lässt sich das in Abb. 28 zu sehende Hologramm beobachten. Dabei sind auch die vorher beschriebenen Effekte bemerkbar.



Abbildung 28: beobachtetes Hologramm

Literatur

- [1] LEIFiPhysik (Verfassungsdatum unbekannt). BREWSTER-Winkel. Abgerufen am 21.07.2020, von <https://www.leifiphysik.de/optik/polarisation/grundwissen/brewster-winkel>
- [2] Wikipedia, verschiedene Autor*innen (zuletzt geändert am 04.07.2020). Brechungsindex. Abgerufen am 21.07.2020, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Brechungsindex>
- [3] jkrieger (14.03.2012). Single Slit Diffraction. Abgerufen am 21.07.2020, von https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Single_Slit_Diffraction.svg
- [4] Peter Suppenhuhn (11.06.2009). Double Slit Diffraction. Abgerufen am 22.07.2020, von https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Double-slit_schematic.svg
- [5] Wikipedia, verschiedene Autor*innen (zuletzt geändert am 16.04.2019). Abgerufen am 22.07.2020, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Helium-Neon-Laser>
- [6] Wikipedia, verschiedene Autor*innen (zuletzt geändert am 02.07.2020). Abgerufen am 22.07.2020, von <https://de.wikipedia.org/wiki/Kopfhaar>
- [7] J. Fischer, J. King (Juli 2011). Musterprotokoll zum Versuch Laser A. Abgerufen am 21.07.2020, von <http://www-ekp.physik.uni-karlsruhe.de/~simonis/praktikum/musterprotokolle/P2/LaserA/LaserA-2011-JohannesKing+JohannesFischer.pdf>