

Prak.: P2 Semester: SS20 Wochentag: B Gruppennr.: 12

Name: Hohenstein Vorname: Michael

Name: Michel Vorname: Alexis

Emailadresse(n): alexis.michel@gmx.de, michael.hohenstein@gmx.de

Versuch: Laser A (P2-16, 17, 18) Fehlerrech.: Ja

Betreuer: Ronja Zimmermann Durchgeführt am: 17.8.2020

Wird vom Betreuer ausgefüllt.

1. Abgabe am: _____

Rückgabe am: _____ Begründung:

2. Abgabe am: _____

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

Datum: _____ Handzeichen: _____

Bemerkungen:

Inhaltsverzeichnis

1	Brewsterwinkel	2
1.1	Theoretische Betrachtung des Brewsterwinkels	2
1.2	Bestimmung des Brewsterwinkels	3
1.2.1	Transmittierte Licht	3
1.2.2	Reflektiertes Licht	3
1.2.3	Fazit	3
2	Beugung an Spalt, Steg, Kreisloch, Kreisblende, Kante	4
2.1	Einzelspaltbreiten	4
2.2	Vergleich Spalt - Steg	7
2.3	Vergleich Kreisöffnung - Kreisscheibe - Kante	8
2.4	Durchmesser eines Haares bestimmen	9
2.5	Spaltbreite aus der Fourieroptik	11
3	Beugung an Mehrfachspalt und Gittern	13
3.1	Bestimmung von Spaltbreite und Spaltabstand eines Doppelspates aus dem Beugungsbild	13
3.2	Wechsel von Doppelspalt auf Dreifachspalt	16
3.3	Bestimmen der Gitterkonstante eines Strichgitters	16
3.4	Beugungsbild von Kreuz- und Wabengitter	18
4	Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände	19
5	Holographie	20
	Literaturverzeichnis	21

Abbildungsverzeichnis

1.1	Skizze beim Strahlengang beim Brewsterwinkel (Quelle: [Lei20])	2
2.1	Abmessungen am Einzelspalt	4
2.2	Interferenzmuster Einzelspalt 0,2 mm	5
2.3	Interferenzmuster Einzelspalt 0,3 mm	5
2.4	Fit für Einzelspalt 0,2 mm	6
2.5	Fit für Einzelspalt 0,3 mm	7

2.6	Interferenzmuster Steg 0,3 mm	8
2.7	Interferenzmuster Kreisöffnung 1 mm Durchmesser	8
2.8	Interferenzmuster Kreisscheibe 1 mm Durchmesser	9
2.9	Interferenzmuster Kante	9
2.10	Interferenzmuster eines Haares	10
2.11	Linearisierte Messwerte des Haares mit Fitgerade	11
2.12	Einzelspalt: gemessene Werte für die Intensität, daraus berechnetes E-Feld und Fouriertransformierte für die Breite des Spaltes	12
3.1	Positionen der Einzelspalt-Minima und lineare Regression	14
3.2	Positionen der Doppelspalt-Maxima und lineare Regression	15
3.3	Beugungsbild Doppelspalt	16
3.4	Beugungsbild Dreifachspalt	16
3.5	Positionen der Gitter-Maxima und lineare Regression	17
3.6	Beugungsbild Wabengitter	18
3.7	Beugungsbild Kreuzgitter	18
4.1	Iris-Blende wenig geöffnet	19
4.2	Iris-Blende weit geöffnet	19
5.1	Hologramm Bild 1	20
5.2	Hologramm Bild 2	20

Tabellenverzeichnis

2.1	Messwerte Spalt 0,2 mm	5
2.2	Messwerte Spalt 0,3 mm	6
2.3	Messwerte für Aufgabe 2.4	10
3.1	Positionen der Minima des Einzelspalts in cm	13
3.2	Positionen der Maxima des Doppelspalts in cm	14
3.3	Positionen der Maxima des Doppelspalts in cm	17

Einführung

Bei diesem Versuch wird der Helium-Neon-Laser genauer betrachtet. Laser ist eine Abkürzung und bedeutet übersetzt “Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung”.

Beim Helium-Neon-Laser ist das aktive Medium, wie der Name sagt, Helium und Neon. Das Lasermedium braucht mindestens drei Energieniveaus, um eine Besetzungsinversion erreichen zu können.

Mit einer Energiepumpe, in diesem Fall einer Spannungsquelle, wird das Medium angeregt, sodass die Besetzungsinversion erreicht wird.

Der Laser wird über den Resonator abgeschlossen, der aus zwei Spiegeln besteht, von denen einer teilweise durchlässig ist. Zwischen den Spiegeln bildet sich eine stehende Welle, was dafür sorgt, dass das Licht kohärent ist und eine feste Wellenlänge hat. Zudem sorgt der Resonator für eine große Verstärkung des Strahls, da durch die Resonanz stets weitere Photonen frei werden.

Oftmals wird zwischen den Spiegeln noch ein Brewster-Fenster installiert, um das Laser-Licht zu polarisieren.

In der Besetzungsinversion befinden sich viele Atome in einem angeregten Zustand. Durch spontane Emission passiert es, dass Photonen fester Wellenlänge frei werden. Diese sind primär im Resonator gefangen und bewegen sich zwischen den Spiegeln. Treffen diese auf andere, angeregte Atome, wird ein weiteres Photon derselben Wellenlänge frei und es entsteht eine Kettenreaktion. Deshalb steht Laser als Abkürzung für “Licht-Verstärkung durch stimulierte Emission von Strahlung”.

Weitere Grundlage für alle Experimente ist das Wellenmodell des Lichtes. Hier wird Licht als Welle betrachtet, die eine Phase hat. Licht kann dementsprechend mit sich selbst interferieren (sofern kohärent, ist allerdings beim Laser gegeben).

1. Brewsterwinkel

1.1 Theoretische Betrachtung des Brewsterwinkels

Bei diesem Versuch soll der Brewsterwinkel betrachtet werden. Um besser zu verstehen, was beim Brewsterwinkel passiert wird dieser zunächst theoretisch betrachtet. In Abbildung 1.1 ist der Strahlengang beim Brewsterwinkel θ_B zu sehen.

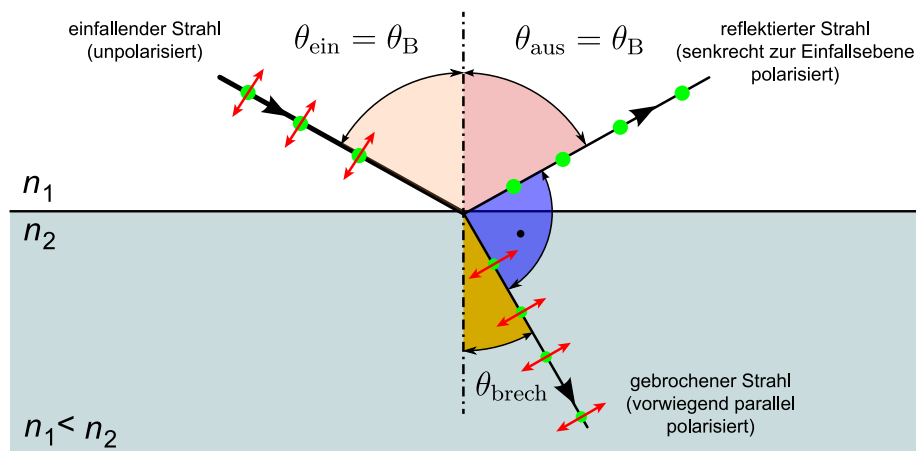


Abbildung 1.1: Skizze beim Strahlengang beim Brewsterwinkel (Quelle: [Lei20])

Der einfallende Strahl ist unpolarisiert. Im Fall des Brewsterwinkels ist das reflektierte Licht senkrecht zur Einfallsebene polarisiert (S-Polarisation) und das transmittierte Licht ist vorwiegend parallel zur Einfallsebene polarisiert (P-Polarisation), jedoch nicht vollständig. Der Grund hierfür ist, dass die Elektronen des zweiten Materials zum Schwingen angeregt werden. Bei Herzschen Dipolen wird allerdings nichts in die Richtung der Schwingung abgestrahlt. Das ist hier der Fall beim reflektierten Strahl und der P-Polarisation, die parallel verlaufen. Aus diesem Grund wird die P-Polarisation zu 100% transmittiert. Das verbleibende reflektierte Licht hat folglich nur S-Polarisation.

Durch häufiges Passieren eines Brewsterfensters (wie beim Laser zwischen den Spiegeln) ist das verbleibende transmittierte Licht hinreichend P-polarisiert, da der Anteil der S-Polarisation mit jedem Durchlauf kleiner wird.

Als Bedingung für den Brewsterwinkel lässt sich festlegen, dass der reflektierte und der transmittierte Strahl senkrecht aufeinander stehen müssen.

Über das Snelliussche Brechungsgesetz lässt sich der Brewsterwinkel als Funktion der

Brechungszahlen herleiten. Es gilt

$$n_1 \sin \theta_B = n_2 \sin \left(\frac{\pi}{2} - \theta_B \right) = n_2 \cos \theta_B \implies \frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \theta_B}{\cos \theta_B} = \tan \theta_B. \quad (1.1)$$

Umgestellt nach θ_B ergibt sich

$$\theta_B = \arctan \left(\frac{n_2}{n_1} \right). \quad (1.2)$$

1.2 Bestimmung des Brewsterwinkels

Bei diesem Versuch soll der Brewsterwinkel bestimmt werden, indem eine drehbare Glasplatte vor einem unpolarisierten Laser angebracht wird. Auf zwei verschiedene Arten soll dann der Brewsterwinkels bestimmt werden.

1.2.1 Transmittierte Licht

Bei der ersten Methode wird der transmittierte Stahl in Abhängigkeit des Winkels der Glasplatte betrachtet. Dafür wird die Intensität mit einem Multimeter und einer Photodiode laufend gemessen. Die Glasplatte wird so eingestellt, dass der transmittierte Strahl maximale Intensität hat. Dann ist der Brewsterwinkel erreicht. Im Experiment war das bei einer Drehung von 54° der Fall.

Da das erste Medium Luft ist, gilt in guter Näherung $n_1 = 1$. Der Brechungsindex von Glas berechnet sich demnach mit Gleichung 1.1 zu $n_2 = \tan 54^\circ \approx 1,38$.

1.2.2 Reflektiertes Licht

Bei der zweiten Methode wird die Helligkeit des reflektierten Strahles betrachtet. Hier wird die Glasplatte so gedreht, dass die Helligkeit des reflektierten Stahles bei Betrachtung mit dem bloßen Auge minimal wird. Auch in diesem Fall ist der eingestellte Winkel genau der Brewsterwinkel. Im Experiment war das bei einer Drehung von $55,5^\circ$ der Fall.

Die Berechnung des Brechungsindex von Glas erfolgt genau identisch zur anderen Methode. Es ergibt sich $n_2 = \tan 55,5^\circ \approx 1,46$.

Beide Methoden sind allerdings nicht sonderlich genau. Das Multimeter hat große Schwankungen bei den gemessenen Werten, auch im statischen Fall. Andererseits ist die Messung des Helligkeitsminimums mit dem bloßen Auge auch nicht sehr genau, da die Änderungen in der Helligkeit sehr minimal sind und auch hier mehr geraten als gemessen wird.

1.2.3 Fazit

Trotzdem haben beide Messungen ein relativ gutes Ergebnis erzielt und sind sehr nah an der unteren Grenze für den Brechungsindex von Glas von 1,45 nach [Wik20]. Die erste Messung liegt etwas unter diesem Wert, die zweite Messung liegt etwas über dem Wert, somit im Intervall für mögliche Werte und scheint deshalb plausibel.

Allgemein sollte es einfacher sein, den Brewsterwinkel über den reflektierten Strahl zu bestimmen, da wenig Helligkeit einfacher zu erkennen ist als viel Helligkeit.

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

Hier sollen die Beugungsmuster unterschiedlicher Geometrien betrachtet werden.

2.1 Einzelspaltbreiten

Im Folgenden wird die Beugung am Einzelspalt betrachtet. Eine Skizze der relevanten Abmessungen ist in Abbildung 2.1 zu sehen.

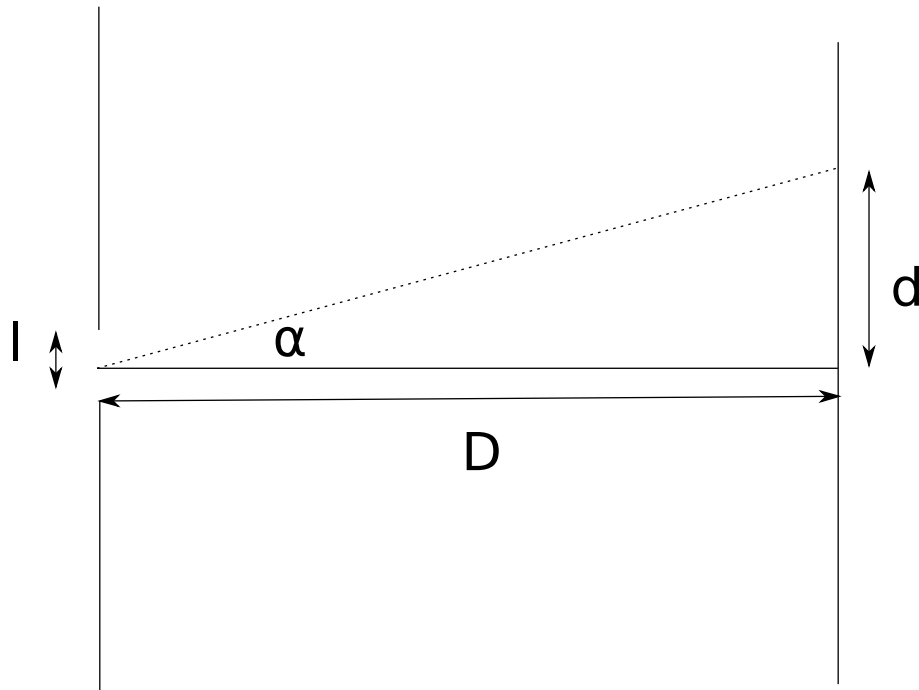


Abbildung 2.1: Abmessungen am Einzelspalt

Die Länge l ist die Breite des Spaltes, die Distanz D der Abstand zwischen dem Spalt und dem Schirm und die Distanz d die Auslenkung auf dem Schirm. Der Winkel α gibt die Auslenkung aus der senkrechten Lage an. Es gilt für die Minima des Einzelspaltes

$$\sin \alpha_k = \frac{\lambda}{l} k \quad \text{und} \quad \alpha = \arctan \left(\frac{d}{D} \right). \quad (2.1)$$

Die erste Bedingung folgt aus der Bedingung für destruktive Interferenz, die zweite Bedingung folgt aus trigonometrischen Überlegungen am Aufbau.

Der Versuch wurde für die Einzelspalte mit Spaltbreiten 0,2 mm und 0,3 mm jeweils fünffach durchgeführt. Als Abstand D wurden 2,15 m fest eingestellt und nicht verändert. Das resultierende Bild für den Versuch mit dem 0,2 mm Spalt ist in Abbildung 2.2 zu sehen.

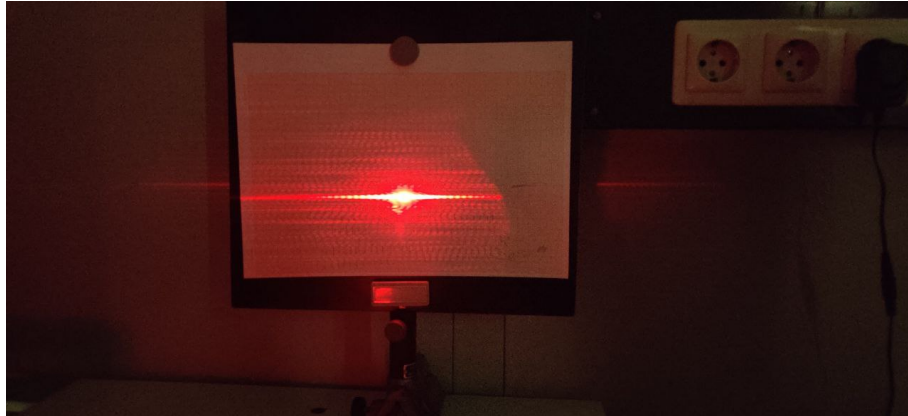


Abbildung 2.2: Interferenzmuster Einzelspalt 0,2 mm

Das resultierende Bild für den Spalt mit 0,3 mm Spaltbreite ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Es fällt auf, dass beim breiteren Spalt die Maxima und Minima enger zusammen liegen.

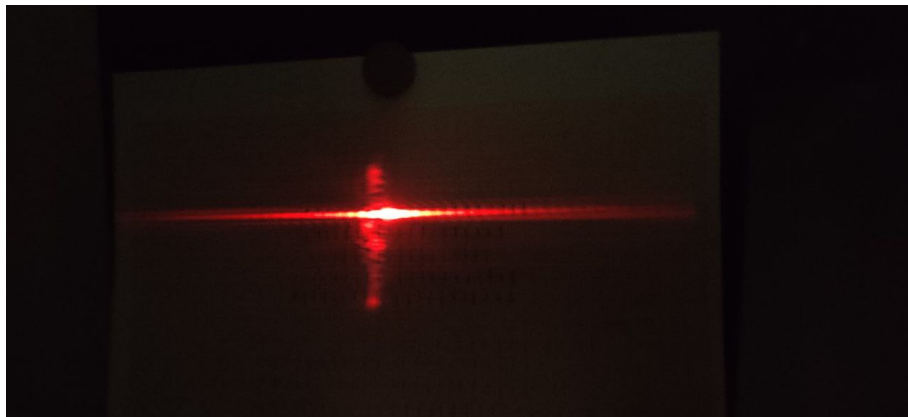


Abbildung 2.3: Interferenzmuster Einzelspalt 0,3 mm

Bei beiden Spalten wurde auf Millimeterpapier die gut sichtbaren Minima der ersten Ordnungen eingetragen. Bei der Auswertung wird immer mit dem Abstand $2d$ zwischen den linken und rechten Minima der Ordnung k von 1 bis 5 gerechnet. Diese Abstände wurden aus den Skizzen auf dem Millimeterpapier bestimmt und sind in den Tabellen 2.1 und 2.2 eingetragen.

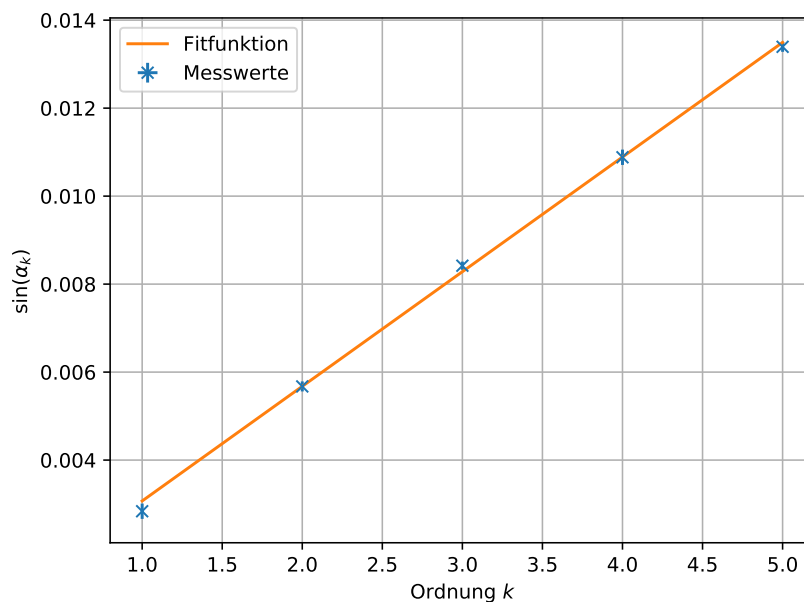
Tabelle 2.1: Messwerte Spalt 0,2 mm

k	$2d_1$ in mm	$2d_2$ in mm	$2d_3$ in mm	$2d_4$ in mm	$2d_5$ in mm
1	11	12	13	12	13
2	24	24	25	25	24
3	37	36	36	36	36
4	46	47	48	47	46
5	58	58	57	58	57

Tabelle 2.2: Messwerte Spalt 0,3 mm

k	$2d_1$ in mm	$2d_2$ in mm	$2d_3$ in mm	$2d_4$ in mm	$2d_5$ in mm
1	9	10	11	10	11
2	21	22	21	22	21
3	32	32	33	33	33
4	43	43	43	44	44
5	54	54	54	53	53

Im Folgenden wird mit den linearisierten Werten gerechnet. Die Werte werden hier linearisiert, indem $\sin \alpha$ gebildet und über k aufgetragen wird. Bei allen fünf Messreihen wird für jede Messung der Mittelwert gebildet und die Standardabweichung wird als statistischer Fehler in der Regression berücksichtigt. Die Messwerte aller 5 Messreihen ergeben einen statistischen Fehler, der kombiniert für alle Messungen in einer linearen Regression der Form $f(k) = \sin \alpha = m \cdot k + c$ berücksichtigt wird. Für den Spalt mit 0,2 mm sind die linearisierten Messwerte mit Regression in Abbildung 2.4 zu sehen.

**Abbildung 2.4:** Fit für Einzelspalt 0,2 mm

Der Fit liefert zudem die Parameter $m = (2,61 \pm 0,06) \cdot 10^{-3}$ und $c = (4,6 \pm 1,8) \cdot 10^{-4}$, wobei nur mit m weitergerechnet wird.

Zudem ist über das Laserlicht bekannt, dass dieses eine Wellenlänge von rund 632,8 nm mit einer statistischen Unsicherheit von 1 nm hat. Dieser statistische Fehler und der aus der Regression sind unabhängig und können deshalb mit Gausscher Fehlerfortpflanzung fortgeführt werden. Es treten zudem keine weiteren statistischen Fehler auf.

Es ergibt sich $l = \lambda/m = (0,243 \pm 0,005)$ mm mit statistischem Fehler.

Bei der Betrachtung des systematischen Fehlers wird ein Fehler von 2 cm auf D berücksichtigt. Sonst treten keine weiteren systematischen Fehler auf.

Mit Gausscher Fehlerfortpflanzung ergibt sich ein Wert mit systematischem Fehler von

$$l = \lambda/m = (0,243 \pm 0,002) \text{ mm}.$$

Final ergibt sich also für den Spalt, der 0,2 mm Spaltbreite haben soll, ein Wert von $l = 0,243 \text{ mm} \pm 0,005 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$. Der Literaturwert wurde somit leider nicht ganz getroffen, auch wenn die Größenordnung und der Wert in guter Näherung stimmt. Es ist gut möglich, dass der vorgegebene Wert für die Spaltbreite nicht korrekt ist, insbesondere bei Berücksichtigung des Alters und der Pflege des Einzelspalt.

Der breitere Spalt wird genau analog berechnet. Die linearisierten Messwerte mit linearer Regression sind in Abbildung 2.5 zu sehen.

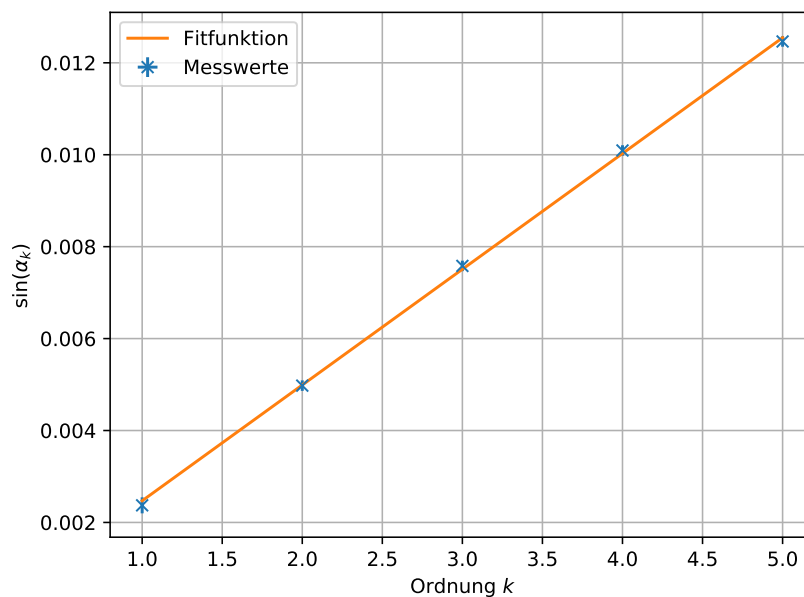


Abbildung 2.5: Fit für Einzelspalt 0,3 mm

Der Fit liefert hier die Parameter $m = (2,52 \pm 0,03) \cdot 10^{-3}$ und $c = (4,6 \pm 1,8) \cdot 10^{-4}$. Die Berechnung von l erfolgt genau analog. Es ergibt sich ein Wert von $l = 0,251 \text{ mm} \pm 0,003 \text{ mm} \pm 0,002 \text{ mm}$. Auch hier liegt der Zielwerte von 0,3 mm nicht im gemessenen Bereich und wurde knapp verfehlt, dieses Mal ist der gemessene Wert zu klein.

Auch hier könnte es daran liegen, dass der wahre Wert der Breite nicht genau stimmt oder sich über die Jahre durch Abnutzung oder Schmutz verändert hat.

2.2 Vergleich Spalt - Steg

Das Interferenzmuster des Spaltes mit Spaltbreite 0,3 mm ist in Abbildung 2.3 zu sehen. Zum Vergleich ist in Abbildung 2.6 das Interferenzmuster eines Steges gleicher Breite zu sehen.



Abbildung 2.6: Interferenzmuster Steg 0,3 mm

Auffällig ist, dass beide Blenden im Grunde ein identisches Interferenzmuster liefern. Lediglich in der Mitte, wo keine oder nur wenige Beugungseffekte auftreten, unterscheiden sich die Bilder etwas.

Das ist in Übereinstimmung mit dem Babinet-Theorem, nach dem eine Blende und die komplementäre Blende (in diesem Fall ein Einzelspalt und ein Steg) dasselbe Interferenzbild liefern für die Bereiche, in denen Beugungseffekte dominant sind.

Anschaulich lässt sich das dadurch erklären, dass die Kanten, an denen gebeugt wird, bei beiden Blenden dieselben Stellen sind. Deshalb sind die Wegdifferenzen zu den Kanten in beiden Fällen identisch, was für identische Beugungsbilder sorgt.

2.3 Vergleich Kreisöffnung - Kreisscheibe - Kante

Bei diesem Versuch sollen nun Kreisöffnung, Kreisscheibe und Kante beleuchtet werden. Das Interferenzmuster der Kreisöffnung ist in Abbildung 2.7 zu sehen.

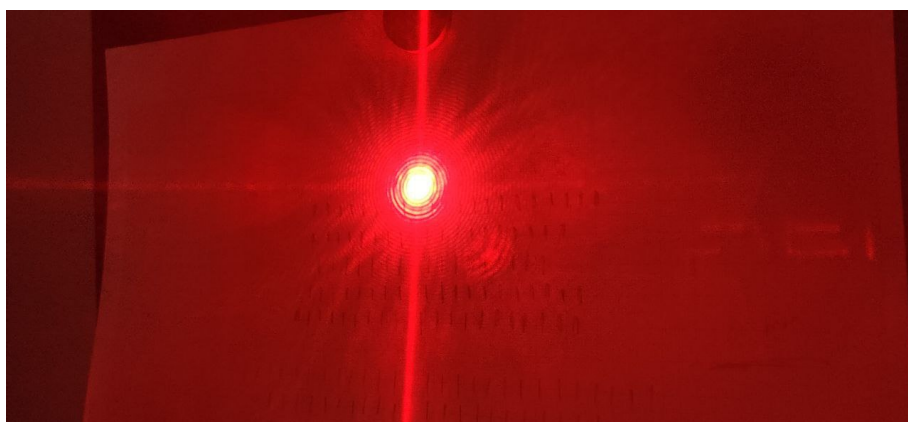


Abbildung 2.7: Interferenzmuster Kreisöffnung 1 mm Durchmesser

Klar erkennbar sind hier die konzentrischen Ringe, die durch die Interferenz entstehen. Die komplementäre Blende zur Kreisöffnung ist die Kreisscheibe. Das Interferenzmuster der Kreisscheibe ist in Abbildung 2.8 zu sehen.

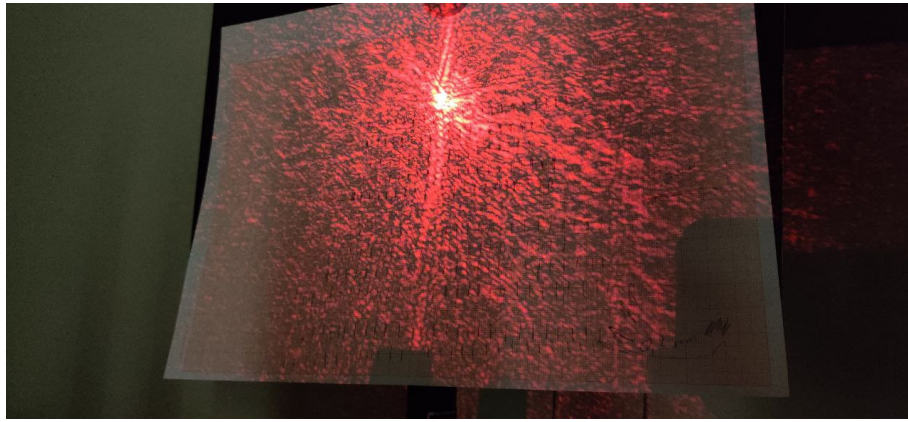


Abbildung 2.8: Interferenzmuster Kreisscheibe 1 mm Durchmesser

Hier ist es leider sehr schwer, gute Aufnahmen mit dem Aufbau zu machen. Auch hier sind konzentrische Ringe erkennbar, auch wenn diese auf dem Foto nicht gut zu sehen sind. Bei erneuter Überlegung mit dem Babinet-Theorem fällt auf, dass die Muster der Lochblende und Scheibenblende identisch sein müssen. Eine Besonderheit, die hier noch auffällt, ist der sog. Poissonsche Fleck. Das ist ein heller Punkt, der genau im Schatten der Scheibenblende zu sehen ist. Der Grund hierfür ist, dass alle Strahlen, die am Rand der Kreisscheibe auftreffen und gebeugt werden, dieselbe Laufzeit zum Zentrum des Schattens haben. Aus diesem Grund tritt dort konstruktive Interferenz auf und ein heller Fleck mitten im Schatten wird sichtbar.

Zuletzt soll auch noch eine Kante betrachtet werden. Deren Interferenzmuster ist in Abbildung 2.9 zu sehen.

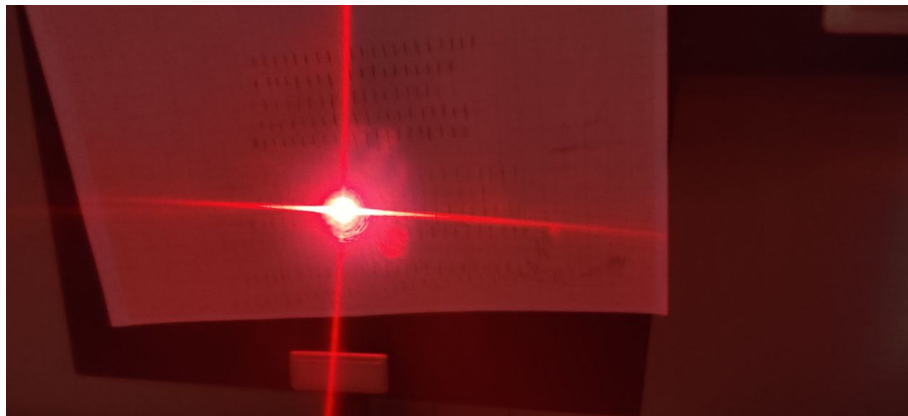


Abbildung 2.9: Interferenzmuster Kante

Bei der Kante lassen sich komplexere Muster erkennen, teilweise Ringe, aber auch Streifen. Die Berechnung des Musters an der Kante ist sehr schwierig und analytisch nicht mehr durchführbar. Die Kante ist ihre eigene, gedrehte, komplementäre Blende, somit muss das Beugungsbild nach dem Babinet-Theorem symmetrisch sein.

2.4 Durchmesser eines Haares bestimmen

Mit dem Wissen aus den vorherigen Aufgaben soll die Dicke eines Haares bestimmt werden. Zur Kontrolle wird das Haar mit einer Mikrometerschraube vermessen, wobei sich ein

Durchmesser von rund $45\,\mu\text{m}$ ergibt.

Durch Interferenz soll nun die Dicke bestimmt werden. Dafür wird das Haar mit Tesastreifen an der Stelle an der Halterung befestigt, an der sonst die Spalte und Gitter eingespannt werden.

Nach dem Babinet-Theorem hat ein Steg oder Draht dasselbe Beugungsmuster wie ein Einzelspalt derselben Breite. Das wird hier verwendet, da das Haar als Steg oder dünner Draht betrachtet werden kann. Das resultierende Interferenzmuster sollte also identisch sein zum Muster eines Einzelspalt sein, also kann das Haar wie ein Einzelspalt gerechnet werden. In Abbildung 2.10 ist das resultierende Muster zu sehen.

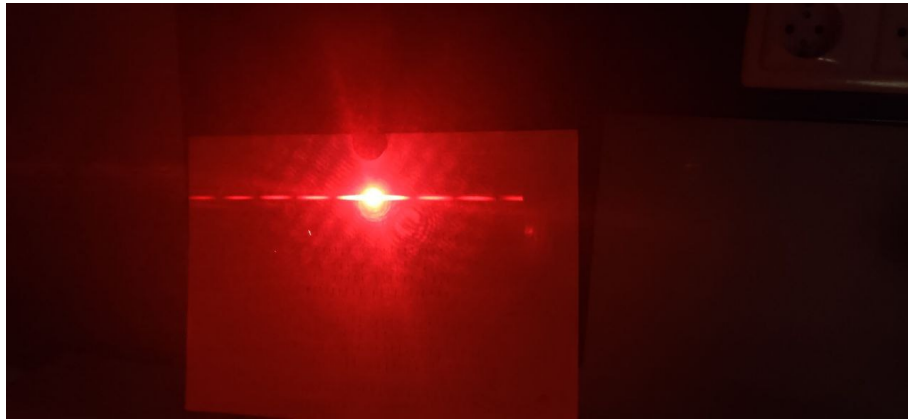


Abbildung 2.10: Interferenzmuster eines Haares

Hier sind wieder klare Minima erkennbar, welche zum Ausmessen verwendet werden. Auf beiden sind Minima bis zur Ordnung $k = 4$ zu erkennen. Mit Strichen werden diese auf Millimeterpapier markiert. Bei der Auswertung wird für jede Ordnung die Distanz $2d$ zwischen dem linken und rechtem Minimum bestimmt. In Tabelle 2.3 sind die Daten zu sehen.

Tabelle 2.3: Messwerte für Aufgabe 2.4

Ordnung k	$2d$ in mm
1	63
2	122
3	184
4	251

Der Zusammenhang für die Minima ist wie am Einzelspalt wieder

$$\sin \alpha_k = \frac{\lambda}{l} k \quad \text{und} \quad \alpha = \arctan \left(\frac{d}{D} \right). \quad (2.2)$$

Der Abstand zwischen Haar und Schirm beträgt immer noch $D = 2,15\,\text{m}$ und die Wellenlänge des Lasers $\lambda = 632,8\,\text{nm}$. Der gesuchte Durchmesser des Haares ist l . Durch Bilden von $\sin \alpha$ lassen sich die Messwerte linearisieren. Im Anschluss lässt sich eine Regression der Form $f(k) = \sin \alpha = m \cdot k + c$ durchführen. Das ist in Abbildung 2.11 sehen.

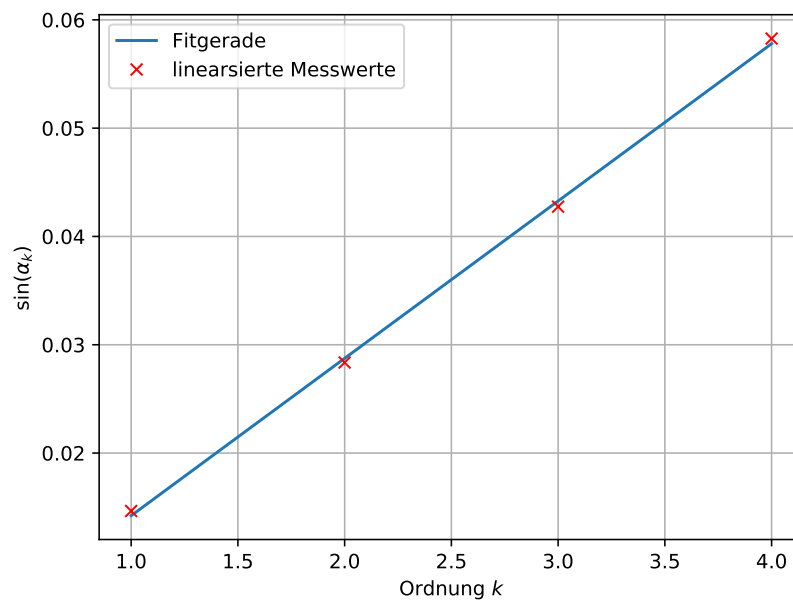


Abbildung 2.11: Linearisierte Messwerte des Haares mit Fitgerade

Der Fit liefert zudem die Fitparameter $m \approx 0,01453$ und $c \approx -0.0003065$. Die Verschiebung c wird vernachlässigt, die Steigung der Geraden m lässt sich zu $m = \lambda/l$ identifizieren. Daraus bestimmt sich der Durchmesser des Haares l zu rund $l = 43,56 \mu\text{m}$. Der so bestimmte Wert ist in Übereinstimmung mit dem mit der Mikrometerschraube gemessenen Wert. Vermutlich ist der mittels Interferenz bestimmte Wert sogar präziser, da bei der Mikrometerschraube nur mit einer Auflösung von $5 \mu\text{m}$ gemessen wurde.

2.5 Spaltbreite aus der Fourieroptik

Bei diesem Versuch wird eine automatisierte Messung an einem Einzelspalt mit einer Spaltbreite von rund $0,3 \text{ mm}$ durchgeführt. Dabei wird mit einer Photodiode, die mit einem Schrittmotor verschoben wird, die Intensität des Lichtes am Schirm gemessen. Die Messwerte sind im oberen Plot von Abbildung 2.12 zu sehen.

Aus der Intensität wird das E-Feld bestimmt. Dafür wird die Wurzel der Intensität betrachtet, allerdings müssen die Vorzeichen alternierend vergeben werden. Das ist im mittleren Plot von Abbildung 2.12 zu sehen. Dabei ergibt sich in guter Näherung eine sinc-Funktion.

Zuletzt wird das E-Feld über die inverse Fouriertransformation zurücktransformiert. Nach der Fourieroptik liefert dieses Vorgehen die Spaltfunktion zurück. Diese ist im unteren Plot von Abbildung 2.12 zu sehen. Es ergibt sich eine Rechteckfunktion mit der Halbwertsbreite $0,289 \text{ mm}$, was relativ nah an dem Sollwert von $0,3 \text{ mm}$ ist.

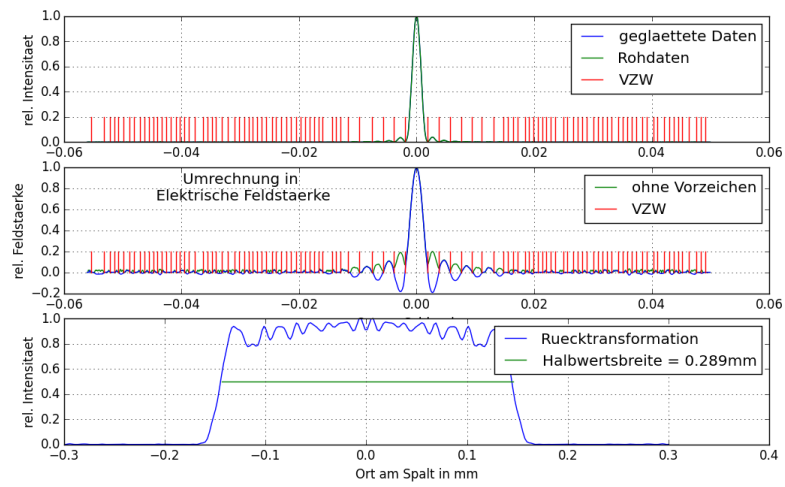


Abbildung 2.12: Einzelspalt: gemessene Werte für die Intensität, daraus berechnetes E-Feld und Fouriertransformierte für die Breite des Spaltes

3. Beugung an Mehrfachspalt und Gittern

3.1 Bestimmung von Spaltbreite und Spaltabstand eines Doppelspates aus dem Beugungsbild

In diesem Versuchsteil wird das Beugungsbild eines Doppelpaltes vermessen um den Spaltabstand des Doppelspates zu bestimmen. Weiterhin wird in einer weiteren Messreihe nur einer der beiden Spalte beleuchtet um die Spaltbreite der einzelnen Spalte zu bestimmen. Dabei wird ausgenutzt, dass das Interferenzmuster das eines Einzelspalts ist. Für die Breite der Einzelspalte gilt der Zusammenhang

$$d = \frac{\lambda \cdot L}{m} \quad (3.1)$$

mit der Wellenlänge $\lambda = (632,8 \pm 1,0) \text{ nm}$, dem Abstand zwischen Spalt und Schirm $l = (3,11 \pm 0,01) \text{ m}$ und der Steigung einer Regressionsgeraden m , die aus den Messwerten ermittelt wird. Die Messwerte sind in Tabelle 3.1 zu finden. Eine grafische Darstellung sowie eine lineare Regression dieser Messwerte ist in Abbildung 3.1 zu sehen.

Tabelle 3.1: Positionen der Minima des Einzelspalts in cm

	y_{-5}	y_{-4}	y_{-3}	y_{-2}	y_{-1}	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1.	-2,8	-2,2	-1,7	-1,1	-0,6	0,5	1,1	1,7	2,3	2,8
2.	-2,7	-2,2	-1,6	-1,0	-0,5	0,5	1,1	1,7	2,2	2,7
3.	-2,7	-2,2	-1,7	-1,1	-0,5	0,6	1,1	1,6	2,3	2,8
4.	-2,8	-2,2	-1,7	-1,2	-0,6	0,5	1,1	1,6	2,2	2,7
5.	-2,8	-2,2	-1,6	-1,1	-0,5	0,5	1,0	1,6	2,2	2,7
μ	-2,76	-2,2	-1,66	-1,1	-0,54	0,52	1,08	1,64	2,24	2,74
σ	0,0024	0	0,0024	0,004	0,0024	0,0016	0,0016	0,0024	0,0024	0,0024

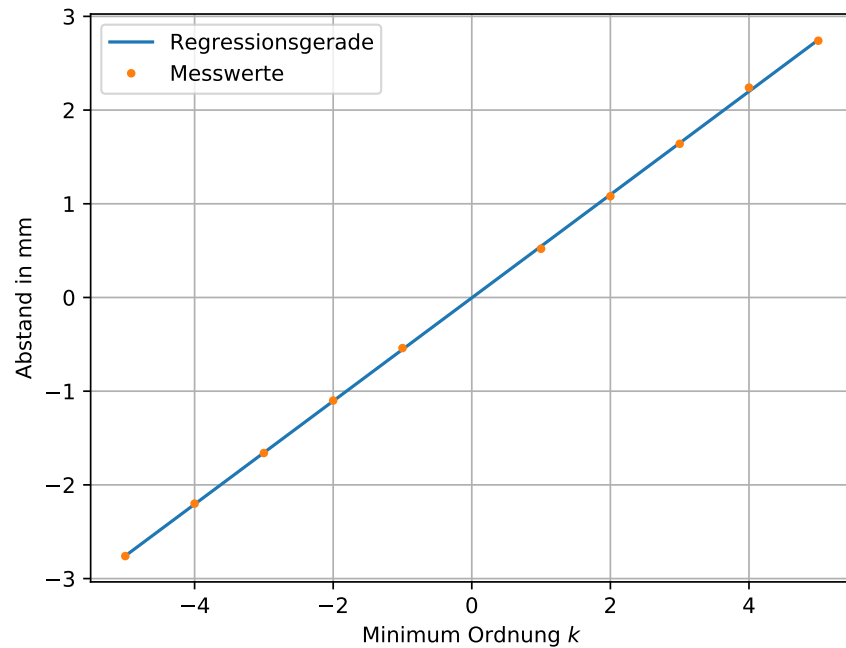


Abbildung 3.1: Positionen der Einzelspalt-Minima und lineare Regression

Aus der Regression folgt der Wert für die Steigung von

$$m = (5,507 \pm 0,002) \text{ mm} \quad (3.2)$$

woraus eine Spaltbreite von

$$d = 0,36 \text{ mm} \quad (3.3)$$

berechnet werden kann. Dieser Wert weist von der angegebenen Spaltbreite von $d = 0,25 \text{ mm}$ eine Abweichung von 44 % auf. Für die Berechnung des Spaltabstandes werden die Positionen der Maxima des Doppelspalts ausgewertet. Für den Spaltabstand gilt der Zusammenhang:

$$b = \frac{\lambda \cdot l}{m}. \quad (3.4)$$

Dabei handelt es sich bei λ , l und m um dieselben Werte wie für die Bestimmung der Spaltdicke, bis auf den Unterschied, dass für m die Regression mit den Maxima des Doppelspaltes erneut durchgeführt werden muss. Die dazu ermittelten Messwerte sind Tabelle 3.2 zu entnehmen. In Abbildung 3.2 ist eine grafische Darstellung der Messwerte sowie eine lineare Regression zu sehen.

Tabelle 3.2: Positionen der Maxima des Doppelspalts in cm

	y_{-5}	y_{-4}	y_{-3}	y_{-2}	y_{-1}	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1.	-1,2	-0,9	-0,7	-0,4	-0,2	0,2	0,4	0,7	1,0	1,2
2.	-1,2	-0,9	-0,6	-0,4	-0,2	0,2	0,4	0,7	1,0	1,3
3.	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,1	0,3	0,5	0,7	1,1	1,3
4.	-1,1	-0,9	-0,6	-0,4	-0,2	0,2	0,5	0,7	1,0	1,3
5.	-1,2	-1,0	-0,7	-0,4	-0,2	0,2	0,4	0,7	0,9	1,3
μ	-1,16	-0,92	-0,64	-0,4	-0,18	0,22	0,44	0,7	1	1,28
σ	0,0024	0,0016	0,0024	0,0000	0,0016	0,0016	0,0024	0,0000	0,004	0,0016

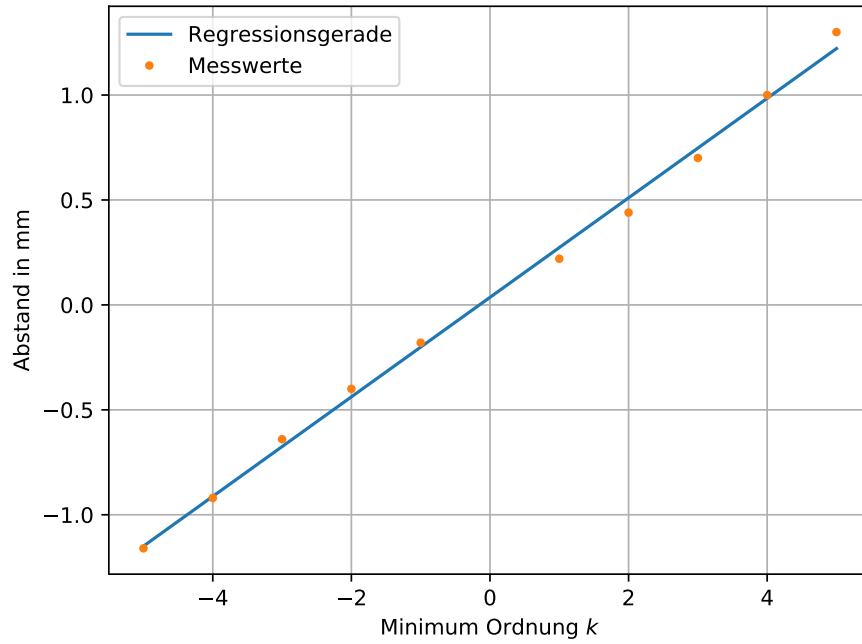


Abbildung 3.2: Positionen der Doppelspalt-Maxima und lineare Regression

Aus der Regression folgt der Wert für die Steigung von

$$m = (2,37 \pm 0,04) \text{ mm} \quad (3.5)$$

woraus über den Zusammenhang

$$b = \frac{\lambda \cdot l}{m} \quad (3.6)$$

ein Spaltabstand von

$$b = 0,8 \text{ mm} \quad (3.7)$$

berechnet werden kann.

Die statistischen Fehler auf die Dicke des Einzelspaltes und den Spaltabstand berechnen sich aus den Fehlern der Steigung der Regressionsgeraden und dem Fehler der Wellenlänge des Lasers:

$$\sigma_d = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial \lambda} \cdot \sigma_\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2} = 0,02 \text{ mm} \quad (3.8)$$

$$\sigma_b = \sqrt{\left(\frac{\partial b}{\partial \lambda} \cdot \sigma_\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial b}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2} = 0,11 \text{ mm} . \quad (3.9)$$

Der systematisch Fehler berechnet sich aus dem Fehler für den Abstand zwischen Schirm und Gitter:

$$\Delta_d = \sqrt{\left(\frac{\lambda \cdot \Delta_l}{m}\right)^2} = 0,014 \text{ mm} \quad (3.10)$$

$$\Delta_b = \sqrt{\left(\frac{\lambda \cdot \Delta_l}{m}\right)^2} = 0,027 \text{ mm} . \quad (3.11)$$

Der Spaltabstand berechnet sich somit zu

$$b = 0,8 \text{ mm} \pm 0,11 \text{ mm} + \pm 0,027 \text{ mm} \quad (3.12)$$

und die Spaltbreite zu

$$d = 0,36 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm} \pm \pm 0,014 \text{ mm} . \quad (3.13)$$

Der Wert für den Spaltabstand hat von dem auf dem Gitter angegebenen Wert von 0,75 mm eine Abweichung von 6,6 %. Der Wert für die Spaltbreite hat von dem auf dem Gitter angegebenen Wert von 0,25 mm eine Abweichung von 44 %. Die größere Abweichung des Wertes für die Spaltbreite lässt sich darüber erklären, dass es präziser ist, auf dem Millimeterpapier die Positionen der Maxima des Doppelspalts zu markieren als die Positionen der Minima des Einzelspalts, da die Maxima viel kleinere Punkte sind und die Mitte dieser Punkte einfacher zu treffen ist. Daher ist der Toleranzbereich für die Breite des Einzelspalts eigentlich viel größer zu wählen als in der Fehlerbetrachtung angenommen, weil die Ungenauigkeiten der Bestimmung der Positionen der Minima nicht in die Fehlerbetrachtung aufgenommen wurde.

3.2 Wechsel von Doppelspalt auf Dreifachspalt

Nun wird der Doppelspalt durch einen Dreifachspalt ersetzt, wodurch ein Interferenzmuster mit Haupt- und Nebenmaxima entsteht. Zur besseren Übersicht ist in Abbildung 3.3 das Interferenzmuster eines Doppelspalts und direkt daneben in Abbildung 3.4 das Interferenzmuster eines Dreifachspalts zu sehen. Mit zunehmender Spaltanzahl erhöht sich die Anzahl an Nebenmaxima zwischen den Hauptmaxima. Bei der Verwendung eines Dreifachspalts ist zwischen den Hauptmaxima ein Nebenmaximum zu erwarten. Dies kommt dadurch zustande, dass an den Stellen mit Nebenmaxima zwei Lichtstrahlen miteinander maximal destruktiv interferieren und der dritte übrig bleibt. Aufgrund der Kamera-Qualität sind die Beugungsbilder von Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4 nicht gut unterscheidbar.

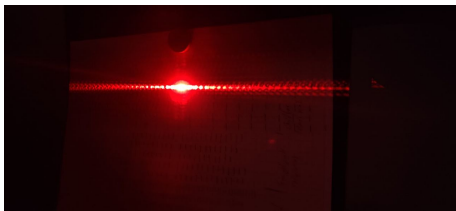


Abbildung 3.3: Beugungsbild Doppelspalt

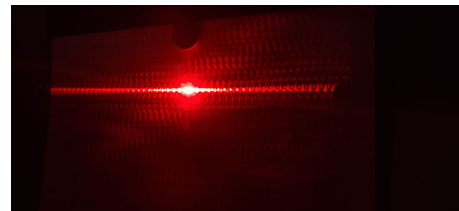


Abbildung 3.4: Beugungsbild Dreifachspalt

3.3 Bestimmen der Gitterkonstante eines Strichgitters

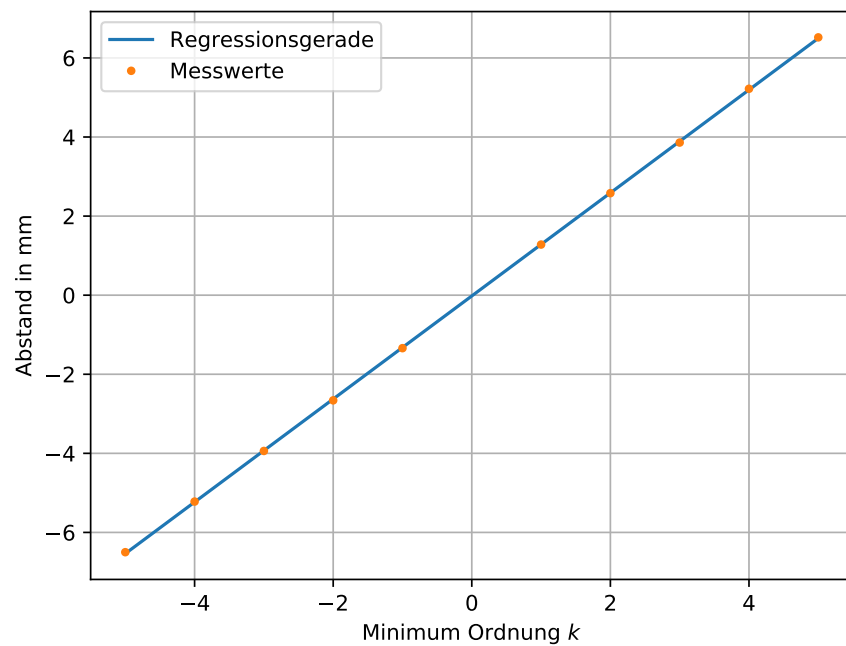
Im weiteren Verlauf des Versuchs wurde der Doppelspalt durch ein optisches Gitter ersetzt, dessen Gitterkonstante zu bestimmen ist. Die Gitterkonstante ist die Anzahl an Gitterstäben die pro Längeneinheit vorhanden sind. Dabei gilt für die Maxima des Gitters der Zusammenhang

$$\frac{1}{g} = \frac{n \cdot l \cdot \lambda}{x} = \frac{\lambda \cdot l}{m} . \quad (3.14)$$

Die Konstante m lässt sich über eine Regression der Messwerte bestimmen. Für die Maxima des Gitters wurden die in Tabelle 3.3 zu sehenden Abstände gemessen. In Abbildung 3.5 sind ein Plot der Messwerte und eine lineare Regression zu sehen.

Tabelle 3.3: Positionen der Maxima des Doppelspalts in cm

	y_{-5}	y_{-4}	y_{-3}	y_{-2}	y_{-1}	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5
1.	-6,5	-5,2	-3,9	-2,6	-1,3	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5
2.	-6,6	-5,3	-4,0	-2,7	-1,4	1,2	2,5	3,8	5,2	6,5
3.	-6,5	-5,2	-3,9	-2,7	-1,3	1,3	2,6	3,9	5,3	6,6
4.	-6,5	-5,2	-4,0	-2,7	-1,4	1,3	2,6	3,8	5,2	6,5
5.	-6,4	-5,2	-3,9	-2,6	-1,3	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5
μ	-6,5	-5,22	-3,94	-2,66	-1,34	1,28	2,58	3,86	5,22	6,52
σ	0,004	0,0016	0,0024	0,0024	0,0024	0,0016	0,0016	0,0024	0,0016	0,0016

**Abbildung 3.5:** Positionen der Gitter-Maxima und lineare Regression

Aus der Regression folgt ein Wert für

$$m = (1,31 \pm 0,09) \text{ mm} \quad (3.15)$$

und daraus ein Wert für die Gitterkonstante von

$$g = 0,0149 \frac{1}{\text{cm}}, . \quad (3.16)$$

Ein Vergleich mit dem auf dem Gitter benannten Wert für die Gitterkonstante von $\frac{1}{100 \text{ cm}}$ zeigt, dass eine Abweichung von 49 % vorliegt.

Der statistische Fehler für die Gitterkonstante folgt aus dem Fehler auf die Steigung der Regressionsgeraden und dem Fehler auf die Wellenlänge von $\sigma_\lambda = 1 \text{ nm}$:

$$\sigma_g = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial \lambda} \cdot \sigma_\lambda\right)^2 + \left(\frac{\partial d}{\partial m} \cdot \sigma_m\right)^2} = 0,045 \text{ mm}. \quad (3.17)$$

Der Systematische Fehler berechnet sich über die Gaussche Fehlerfortpflanzung aus dem Fehler auf den Abstand zwischen Schirm und Linse:

$$\Delta_g = \sqrt{\left(\frac{m \cdot \Delta_l}{\lambda \cdot l^2}\right)^2} \quad (3.18)$$

$$= 0,6 \text{ mm} . \quad (3.19)$$

Es ergibt sich ein Wert für das Gitter von

$$g = 0,015 \text{ mm} \pm 0,045 \text{ mm} \pm 0,6 \text{ mm} . \quad (3.20)$$

3.4 Beugungsbild von Kreuz- und Wabengitter

In diesem Versuchsteil geht es um die Betrachtung der Beugungsbilder eines Kreuz- (Abbildung 3.7) und eines Wabengitters (Abbildung 3.6). Wie aus den Namen hervorgeht ist das Beugungsbild kreuz- bzw. wabenförmig.

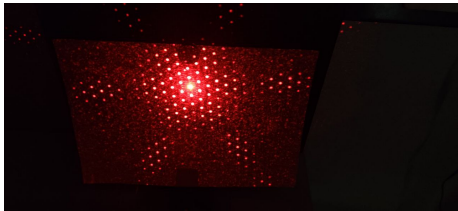


Abbildung 3.6: Beugungsbild Wabengitter

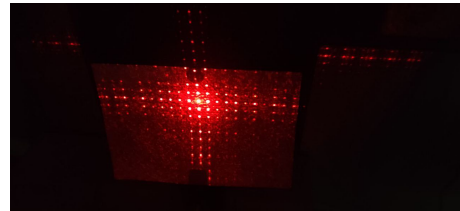


Abbildung 3.7: Beugungsbild Kreuzgitter

4. Abbildung nichtselbstleuchtender Gegenstände

In diesem Versuchsteil passiert ein Laserstrahl zunächst nur ein Kreuzgitter und danach eine Linse mit einer Brennweite von 15 cm. Hinter der Linse befindet sich eine Iris-Blende. Für unterschiedliche Öffnungsradien der Iris-Blende wurden die Interferenzmuster des Kreuzgitters auf einem Schirm fotografiert. Bei Abbildung 4.1 und Abbildung 4.2 handelt es sich um besagte Fotos.

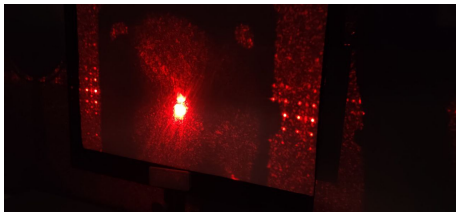


Abbildung 4.1: Iris-Blende wenig geöffnet

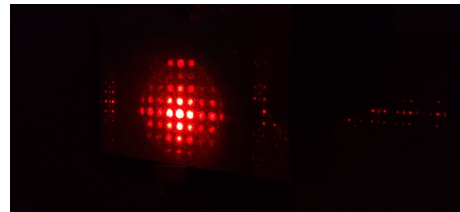


Abbildung 4.2: Iris-Blende weit geöffnet

Ein Verkleinern der Iris-Blende ermöglicht es, die Maxima höherer Ordnung heraus zu filtern. Dieses Verhalten lässt sich durch die Abbesche Theorie erklären, welche besagt, dass für die korrekte Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte alle Beugungsordnungen verantwortlich sind. Wenn die Iris-Blende beinahe geschlossen ist, kann nur das Maximum 0. Ordnung die Blende passieren. Erst nach einem Öffnen der Iris-Blende und somit einem Durchlassen der höheren Ordnungen werden die Maxima höherer Ordnung und somit auch die Gitter-Struktur erkennbar.

5. Holographie

In diesem Versuchsteil wurde ein vorher erstelltes Hologramm betrachtet. Ein solches Hologramm kann durch Verfahren wie z. B. der Transmissionsholographie hergestellt werden. Im Gegensatz zu klassischen Fotos enthalten Hologramme keine Informationen über die Farbe des Lichts aber dafür Informationen über die Phase. Um ein solches Hologramm herzustellen wird Laserlicht in Richtung eines Strahlteilers gerichtet. Einer der Strahlen wird von dem aufzunehmenden Objekt in Richtung des Films reflektiert. Der zweite Strahl erreicht den Film über einen Spiegel. Durch Interferenz der beiden Lichtstrahlen wird auf dem Film die Phaseninformation gespeichert. Um das Hologramm zu betrachten muss der entwickelte Film mit derselben wellenlänge wie bei der Herstellung bestrahlt werden. In Abbildung 5.1 und Abbildung 5.2 sind zwei Fotos des Hologramms aus unterschiedlichen Perspektiven zu sehen.



Abbildung 5.1: Hologramm
Bild 1

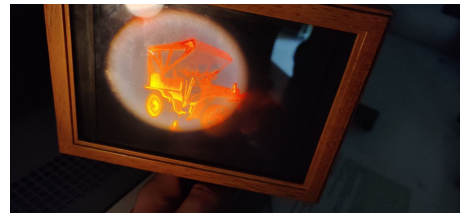


Abbildung 5.2: Hologramm
Bild 2

Literaturverzeichnis

- [Lei20] Leifiphysik: *Brewsterwinkel* — *Leifiphysik*. <https://www.leifiphysik.de/sites/default/files/medien/brewster-winkel.svg>, 2020. [Online; accessed 18-August-2020].
- [Wik20] Wikipedia: *Brechungsindex* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. <https://de.wikipedia.org/wiki/Brechungsindex>, 2020. [Online; accessed 18-August-2020].