

Praktikumsprotokoll

Laser A

André Schendel, Silas Kraus
Gruppe DO-20

22. Mai 2012

1 Brewsterwinkel

1.1 Demonstration

Wie erwartet war der Lichtpunkt an der Wand nur bei einem sehr schmalen Winkelbereich $\theta \approx 51^\circ$ zu sehen. Seltsamerweise kam es dabei jedoch auch auf die Orientierung der Scheibe an: Wenn die Scheibe im Winkel $-\theta_b$ gekippt war, wurde der Lichtstrahl nicht vollständig transmittiert. Offenbar war die Oberfläche der Glasscheibe fehlerbehaftet.

1.2 Messung von θ_b

Da sich das Intensitätsminimum des reflektierten Strahls an der Decke besser bestimmen ließ, wurde diese Methode gewählt. Unter dem Winkel $\theta = 58^\circ$ wurde das Minimum beobachtet. Damit ergibt sich für den Brechungsindex der Glasscheibe:

$$n \approx \tan \theta_b = 1.6$$

Der Brechungsindex ist also etwas höher als der von normalem Glas (≈ 1.5)

2 Beugung

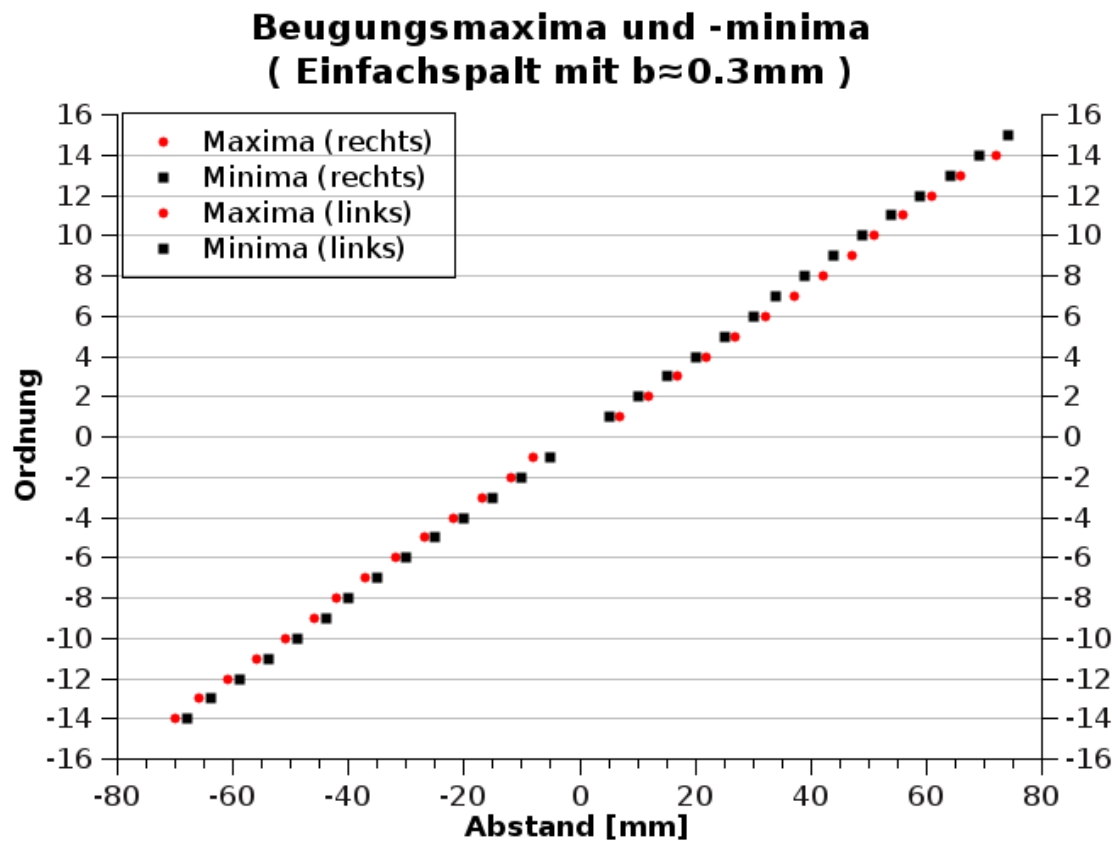
2.1 Spalt

Es wurde der Einfachspalt mit ungefähr 0.3mm gewählt. Er wurde im Abstand von 2.35m vom Schirm angebracht. Dann konnten mithilfe von Millimeterpapier die Minima und Maxima markiert und später in das Tabellenkalkulationsprogramm "Calc" eingelesen werden: Die Werte in den leeren Zellen waren nur undeutlich

Tabelle 1: Abstände der Maxima und Minima (links und rechts) von der 0. Ordnung

Ordnung	Max(re) [mm]	Min(re) [mm]	Max(li) [mm]	Min(li) [mm]
1	7	5	-8	-5
2	11	10	-13	-10
3	16	15	-18	-15
4	21	20	-23	-20
5	26	25	-28	-25
6	31	30	-32	-30
7	36	34	-37	-35
8	41	40	-42	-40
9	46	45	-47	-45
10	51	50		
11	56			
12	61			

zu erkennen und wurden deshalb nicht gemessen.



Eingesetzt in die Formeln für die Spaltbreite:

$$b = \frac{n \cdot \lambda \cdot d}{x_{\min}} \quad \text{bzw.} \quad b = \frac{(n + \frac{1}{2}) \cdot \lambda \cdot d}{x_{\max}}$$

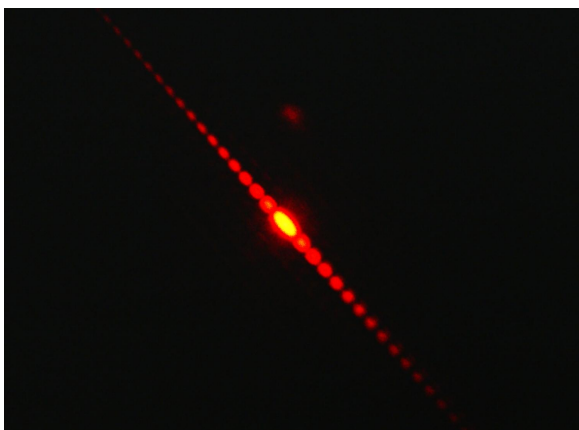
Ergibt sich dann eine gemittelte Spaltbreite von

$$b = 0.302\text{mm}$$

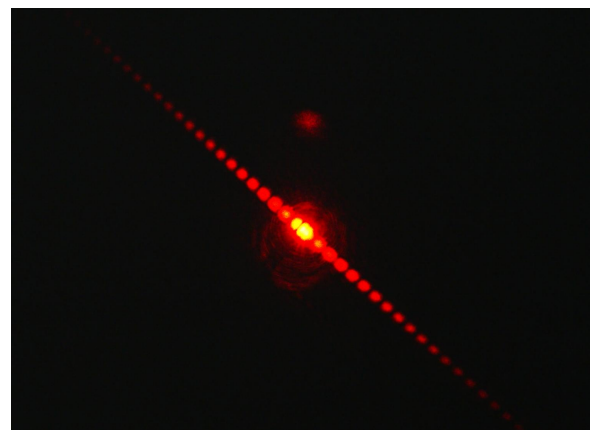
, ein Wert, der also sehr gut mit der angegebenen Breite von $\sim 0.3\text{mm}$ übereinstimmt.

2.2 Babinet: Steg und Spalt

Die Beugungsbilder eines Spaltes und eines gleichbreiten Steges sollten verglichen werden. Wie erwartet stimmen die Interferenzmuster qualitativ sehr gut überein:



(a) Beugungsbild eines Einfachspaltes ($b=0.3\text{mm}$)



(b) Beugungsbild eines Steges ($b=0.3\text{mm}$)

Tabelle 2: Messergebnisse für Spalt und Steg (Jeweils in [mm])

Steg					Spalt				
Ordnung	Max(r)	Min(r)	Max(l)	Min(l)	Ordnung	Max(r)	Min(r)	Max(l)	Min(l)
1	6	3	7	5	1	8	5	7	5
2	10	8	11	10	2	13	10	12	10
3	14	12	16	14	3	18	15	17	16
4	19	16	20	18	4	23	20	23	20
5	23	21	24	23	5	28	25	28	26
6	27	25	29	27	6	33	29	33	31
7	31	29	33	31	7	38	35		
8	36	34	37	35					
9	40	38	42	40					

Obwohl die Beugungsbilder qualitativ sehr ähnlich sind, ergab die Berechnung der Spalt- bzw. Stegbreite jedoch unterschiedliche Werte:

$$b_{Steg} = 0.35mm \quad b_{Spalt} = 0.3mm$$

Vermutlich waren die Teile nicht exakt gleich groß, da dieser Versuch eigentlich nur als Demonstrationsversuch ohne exakte Messung gedacht war.

2.3 Babinet: Lochblende und Scheibe

Der Vergleich zwischen 3 jeweils gleich großen Lochblenden und Scheiben erwies sich als schwierig. Seltsamerweise zeigte sich an unserem Versuchsaufbau keinerlei Beugungsmuster, sondern nur diffuse Flecken, verursacht durch die Folie, auf die die Kreisscheibe aufgebracht war. Erst am Ende des Praktikums konnte die Tutorin uns am Tisch der Nachbargruppe kurz ein schwaches Interferenzbild zeigen. Es waren in beiden Fällen konzentrische Ringe zu sehen, vergleichbar mit diesen (entnommen aus Musterprotokoll Fischer, King, 2011, Seite 6):

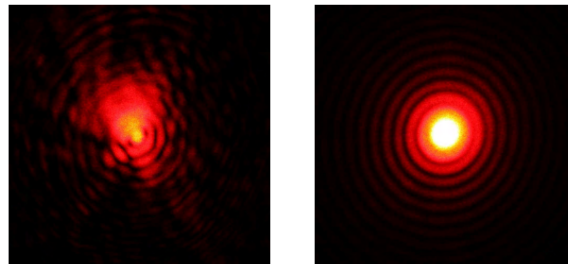


Abbildung 1: Beugungsmuster einer Kreisscheibe (links) und Lochblende (rechts)

2.4 Haar

Der Durchmesser eines Haares sollte mithilfe einer Mikrometerschraube und durch Vermessung des Beugungsmusters berechnet werden. Es wurden ein Kopfhaar und ein Barthaar verwendet:

Tabelle 3: Messergebnisse für Durchmesser zweier Haare (jeweils in mm)

Kopfhaar				Barthaar			
Max (l)	Min (l)	Max (r)	Min (r)	Max (l)	Min (l)	Max (r)	Min (r)
-32	-23	31	21	-4	-2	4	2
-54	-44	52	42	-10	-7	12	8
	-66	73	63	-18	-14	18	15
		96	85	-24	-22		

Daraus ergab sich jeweils die Dicke des Haares:

$$d_{Kopf} = 59\mu m \quad d_{Bart} = 196\mu m$$

Die Messungen mit der Millimeterschraube ergaben:

$$b_{Kopf} = 40\mu m \quad b_{Bart} = 150\mu m$$

Es zeigt sich also, dass die Millimeterschraube geringere Werte ergab als das Interferenzbild. Vermutlich wurden die Haare durch die mechanische Belastung der Schraube zusammengedrückt. Außerdem waren die Haare an verschiedenen Stellen unterschiedlich dick und es war schwer, sie so in den Halterahmen einzuspannen, dass der Lichtstrahl genau an der Stelle gebeugt wurde, an dem auch die Schraube maß. Schließlich war besonders das Kopfhaar so dünn, dass das Beugungsmuster Maxima von beachtlicher Breite aufwies (etwa 2cm), sodass sich deren Lage nicht wirklich exakt bestimmen ließ.

3 Beugung an Mehrfachspalten und Gittern

3.1 Spaltbreite und Spaltmittenabstand eines Doppelspalts

In Aufgabenteil 3.1 sollte zuerst die Spaltbreite und der Spaltmittenabstand eines Doppelspaltes bestimmt werden. Dafür sollte der Doppelspalt mit den Abmessungen 0,25/0,5 mm (Spaltbreite/-abstand) verwendet werden. Da sich das Interferenzmuster der beiden Spalte und das Beugungsmuster jedes einzelnen Spaltes nicht gleichzeitig erkennen ließen, wurde zunächst ein Spalt abgedeckt, um faktisch einen Einfachspalt zu erhalten und daraus die Spaltbreite zu bestimmen. Aufgrund der Bauweise war es allerdings sehr schwierig, nur einen Spalt zu beleuchten und keine Beugungseffekte von der Kante der Abdeckung zu erhalten. Deswegen war es auch nur möglich, ein einziges deutliches Maximum und ein Minimum aufzunehmen.

Mit den beiden Formel

$$b = \frac{n \cdot d \cdot \lambda}{x_B^{min}}$$

und

$$b = \frac{(n + \frac{1}{2}) \cdot d \cdot \lambda}{x_B^{max}}$$

Abbildung 2: Messerwerte für Minima und Maxima der Einhüllenden eines Doppelspalts (Jeweils in [mm])

Einhüllende	Messung (Abstand zum 0.Max in mm)	
Ordnung	Max(r)	Min(r)
1	43	27

ergibt sich bei einem Abstand d zwischen Spalt und Schirm von 2.26m eine Breite b von 0,053mm für die Messung des Maximums beziehungsweise 0,050mm für das Minimum.

Diese Werte können allerdings nicht stimmen, da sie bedeuten würden, dass der Spalt nur $\frac{1}{5}$ mal so breit sei wie er angegeben ist. Zurückzuführen ist dies höchstwahrscheinlich auf die Beugungseffekte, die entstanden, als man versuchte, einen Spalt mit einem Blatt Papier abzudecken.

Im Anschluss daran wurde dann das Interferenzmuster des nicht abgedeckten Doppelspalts aufgenommen. Aus den Abständen zwischen der n-ten Ordnung eines Maximums beziehungsweise Minimums kann über

$$l = \frac{(n + \frac{1}{2}) \cdot d \cdot \lambda}{x_I^{min}}$$

und

$$l = \frac{n \cdot d \cdot \lambda}{x_I^{max}}$$

der Spaltmittenabstand l bestimmt werden.

Abbildung 3: Messerwerte für die Abstände der Minima und Maxima zum nullten Maximum des Interferenzmusters eines Strichgitters (Jeweils in [mm])

Doppelspalt	1. Messung (Abstand zum 0. Max in mm)			
	Max(r)	Min(r)	Max(l)	Min(l)
1	8	5	7	5
2	14	11	12	10
3	18	16	17	15
4	23	21	23	20
5	29	26	28	26
6	34	31	33	31
7	39	36	38	36
8	44	41	43	41
9	49	46	48	46

Damit ergibt sich

Abbildung 4: Messerergebnisse für den Spaltmittenabstand

errechneter Spaltmittenabstand in mm				
n	Max (rechts)	Min (rechts)	Max (links)	Min (links)
1	0.17877	0.14301	0.20430	0.14301
2	0.20430	0.19502	0.23835	0.21452
3	0.23835	0.22346	0.25238	0.23835
4	0.24872	0.23835	0.24872	0.25027
5	0.24657	0.24752	0.25538	0.24752
6	0.25238	0.25373	0.26002	0.25373
7	0.25669	0.25822	0.26344	0.25822
8	0.26002	0.26161	0.26607	0.26161
9	0.26268	0.26426	0.26815	0.26426
gemittelt :	0.23872	0.23169	0.25076	0.23683
gemittelt ohne				
n=1 und n=2 :	0.25220	0.24959	0.25917	0.25342

Nach dieser Messung ist der Spaltmittenabstand also nur halb so breit wie er eigentlich sein sollte. Verglichen mit den Messergebnissen des Musterprotokolls muss allerdings auch gesagt werden, dass die hier gemessenen Abständen zwischen den Minima und Maxima des Interferenzmusters deutlich größer sind als die Daten im Musterprotokoll, und dass bei sonst fast identischen Voraussetzungen. Es ist nicht klar, wie diese Tatsache zu erklären ist.

3.2 Veränderungen des Interferenzmusters beim Übergang von einem Doppelspalt mit kleinem Spaltmittenabstand zu einem mit größerem und beim Wechsel vom Doppel- zum Dreifachspalt

Wie erwartet und auch schon in der Praktikumsvorbereitung geschrieben, bestätigten sich die Vorhersagen für die Interferenzmuster beim Übergang zu einem Doppelspalt mit größerem Spaltmittenabstand und beim Wechsel zum Dreifachspalt.

Bei größerem Spaltmittenabstand rückten die Minima und Maxima enger zusammen. Beim Dreifachspalt wurden die einzelnen Minima und Maxima schärfer und es traten Nebenmaxima auf.

3.3 Bestimmung der Gitterkonstanten eines Strichgitters

Als nächstes sollte die Gitterkonstante eines Strichgitters bestimmt werden. Für die Berechnung der Gitterkonstante eines Gitters kann die selbe Formel für die Maxima verwendet werden wie für den Doppelspalt, bei den Minima gilt:

$$g = \frac{1}{l} = \frac{x^{\min}}{(n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda \cdot d}$$

Es besteht nur ein Unterschied in der Schärfe der Minima und Maxima und dem Auftreten von mehr Nebenmaxima im Gegensatz zu Doppel- beziehungsweise Dreifachspalt. Für die Messwerte

Abbildung 5: Messerwerte für die Abstände der Minima und Maxima zum nullten Maximum des Interferenzmusters eines Strichgitters (Jeweils in [mm])

Ordnung	Maxima [mm]	Minima[mm]	Maxima [mm]	Minima [mm]
1	11	5	11	5
2	22	17	22	18
3	34	28	34	28
4	45	40	45	39
5	56	50	56	51
6	68	61	68	62
7	79	73	80	74
8	90	85	90	84
9	101	96	102	96
10	113	107	113	108

ergibt sich damit eine Gitterkonstante von

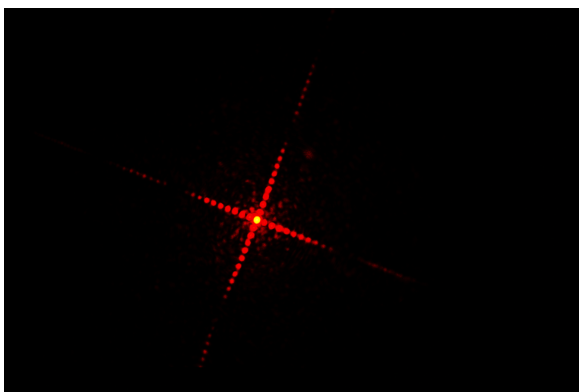
Abbildung 6: Messergebnisse für die Gitterkonstante (Jeweils in [1/mm])

Max (l)	Min (l)	Max(r)	Min (r)	
7.69	6.99	7.69	6.99	
7.69	7.92	7.69	8.39	
7.92	7.83	7.92	7.83	
7.87	7.99	7.87	7.79	
7.83	7.77	7.83	7.92	
7.92	7.76	7.92	7.88	
7.89	7.85	7.99	7.96	
7.87	7.92	7.87	7.83	
7.85	7.90	7.92	7.90	
7.90	7.88	7.90	7.95	
7.84	7.78	7.86	7.85	gemittelt
			7.83	gemittelt_ges

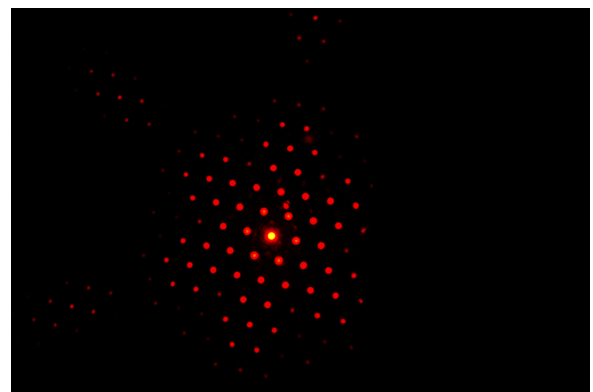
Damit ergibt sich eine Abweichung von 21,7% von der angegebenen Gitterkonstante. Verglichen mit den Werten des Musterprotokolls ergibt sich allerdings einer sehr gute Übereinstimmung. Da zwei unabhängige Messungen nahezu das selbe Ergebnis erzielten, führt das zu der Schlussfolgerung, dass nicht die Messung ungenau war, sondern die Fertigungsgenauigkeit miserabel ist.

3.4 Kreuz- und Wabengitter

Als nächstes sollten die Interferenzmuster eines Kreuz- und eines Wabengitters beobachtet werden.



(a) Interferenzmuster eines Kreuzgitters



(b) Interferenzmuster eines Wabengitters

Wie auf den Bildern zu sehen ist, können Lichtstrahlen auch in zwei Dimensionen gleichzeitig interferieren, sodass zum Beispiel die oben zu sehenden Interferenzmuster entstehen.

4 Abbésche Abbildungstheorie

Wie in der Vorbereitung beschrieben, wurde das Beugungsmuster eines Strichgitters durch eine Lochblende eingengt, bis nur noch die 0. Ordnung durchgelassen wurde. In diesem Fall war kein Beugungsmuster mehr zu erkennen. Erst bei größeren Öffnungen wurde das Muster wieder erkennbar. Leider wurde es versäumt, Bilder der Versuchsbeobachtungen zu erstellen, damit die gefundenen Ergebnisse noch besser veranschaulicht werden können.

5 Holographie

Für die Demonstration der Holographie wurde ein Weißlichthologramm verwendet. Der dreidimensionale Effekt war deutlich zu sehen. Das Bild war innerhalb eines Winkels von etwa $\pm 45^\circ$ zu sehen. Je nach Betrachtungswinkel erschien das Bild in einer anderen Farbe, da das Weißlichthologramm durch konstruktive Interferenz der jeweils passenden Wellenlänge entsteht. Durch Variation des Betrachtungswinkels ändert sich der Gangunterschied der Lichtstrahlen und damit auch das konstruktiv interferierende Spektrum.