

Auswertung P2-17 – Laser Optik A

Michael Prim & Tobias Volkenandt

12. Juni 2006

Vorbemerkung

Wir haben zu diesem Versuch eine Fehlerrechnung durchgeführt. Die verwendeten Verfahren befinden sich, der Lesbarkeit der Auswertung willen, im Anhang. Bei den einzelnen Experimenten sind die Messergebnisse natürlich zusammen mit den Ergebnissen der Fehlerrechnung dargestellt.

Aufgabe 1 – Brewsterwinkel

Gemeinsam mit den anderen Gruppen führten wir die Beobachtungen des Brewsterwinkels durch. Anschließend montierten wir die Glasplatte vor dem Laser und führten nun Messungen des Brewsterwinkels durch, unter welchem wir ein Minimum der Reflexion an der Zimmerdecke beobachten konnten.

Winkel [°]
59,0
59,0
58,5
58,0
58,5
58,5

Tabelle 1: Messwerte Brewsterwinkel

Wir berechneten hieraus mit dem arithmetischen Mittelwert den Brewsterwinkel $\Theta_B = 58,58^\circ$ und dessen Standardabweichung $\Delta\Theta_{Bstat} = 0,15^\circ$. Weiterhin veranschlagten wir einen systematischen Ablesefehler von $\Delta\Theta_{Bsys} = 0,5^\circ$, was einem halben Skalenteil entspricht.

→ Brewsterwinkel $\Theta_B = 58,583^\circ \pm 0,154^\circ \pm 0,500^\circ$

Für den Brewsterwinkel gilt weiterhin $\frac{n_{Glas}}{n_{Luft}} = \tan \Theta_B$, wobei wir den Brechungsindex von

Luft mit 1 genähert haben. Somit lässt sich der Brechungsindex von Glas bestimmen, wobei dessen Fehler mit der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung, angewendet auf obige Formel, ermittelt wurde.

$$\Delta n_{Glas} = \sqrt{\left(\frac{1}{\cos^2 \Theta_B}\right)^2 \cdot (\Delta\Theta_B)^2}$$

→ Brechungsindex $n_{Glas} = 1,637 \pm 0,010 \pm 0,032$

Aufgabe 2.1 – Bestimmung der Spaltbreite eines Einzelspaltes

Wir ermittelten nun für beide Einzelspalte anhand des Beugungsbildes die Spaltbreite d .

Hierzu befestigten wir die Einzelspalte jeweils im Abstand $y = 2,06m$ vom Schirm entfernt im Strahlengang des Lasers. Wir veranschlagen hierbei einen systematischen Fehler für die Abstandsbestimmung von $\Delta y = 0,5mm = 0,0005m$, was wieder einem halben Skalenteil entspricht.

Der Laser hatte die Wellenlänge $\lambda = 632nm$. Dessen Fehler wir im Weiteren nicht berücksichtigen werden, da er verschwindend gering ist gegenüber den Fehlern des Abstandes zum Schirm und der Abstände auf dem Schirm.

Letztere Abstände x bezeichnen den Entfernung von Beugungsminimum bzw. -maximum zum zentralen Hauptmaximum 0. Ordnung. Hierbei gehen wir von einem systematischen Fehler von $\Delta x = 1mm = 0,001m$ aus. Dieser setzt sich zusammen aus einem halben Skalenteil des Millimeterpapiers, welches den Schirm darstellte, sowie der Schwierigkeit im Halbdunkel des Versuchsraumes möglichst exakte Striche zur Markierung im Zentrum der Beugungsminima und -maxima zu ziehen.

Weiterhin gelten zur Bestimmung der Spaltbreite die beiden folgenden Beziehungen, welche in der Vorbereitung hergeleitet wurden:

$$d = n \cdot \lambda \cdot \frac{y}{x} \quad \leftarrow \text{für Beugungsminima}$$

$$d = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \cdot \frac{y}{x} \quad \leftarrow \text{für Beugungsmaxima}$$

Für den Fehler der Spaltbreite verwenden wir wieder die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung, wobei wie oben bereits erwähnt, der Fehler der Wellenlänge vernachlässigt wurde. Dieser wird auch in allen Folgenden Aufgaben nicht weiter betrachtet.

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{n\lambda}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{n\lambda y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2} \quad \leftarrow \text{für Beugungsminima}$$

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{(n+\frac{1}{2})\lambda}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{(n+\frac{1}{2})\lambda y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2} \quad \leftarrow \text{für Beugungsmaxima}$$

Die entsprechenden Messwerte und berechneten Größen sind für beiden Spalte auf den nächsten Seiten dargestellt.

Ordnung n	x [mm]	x [m]	d [m]	Δd [m]
-7	49	0,049	0,0001862	3,80076E-06
-6	43	0,043	0,0001819	4,23031E-06
-5	36	0,036	0,0001811	5,02939E-06
-4	29	0,029	0,0001798	6,20024E-06
-3	21	0,021	0,0001862	8,86792E-06
-2	14	0,014	0,0001862	1,33018E-05
-1	7	0,007	0,0001862	2,66035E-05
1	7	0,007	0,0001862	2,66035E-05
2	15	0,015	0,0001738	1,15873E-05
3	22	0,022	0,0001778	8,08008E-06
4	29	0,029	0,0001798	6,20024E-06
5	36	0,036	0,0001811	5,02939E-06
6	43	0,043	0,0001819	4,23031E-06
7	50	0,050	0,0001825	3,65026E-06

Tabelle 2: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsminima beim $\sim 0,2\text{mm}$ Einzelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	d [m]	Δd [m]
-7	54	0,054	0,0001811	3,35309E-06
-6	46	0,046	0,0001842	4,00459E-06
-5	39	0,039	0,0001838	4,71397E-06
-4	32	0,032	0,0001833	5,72874E-06
-3	25	0,025	0,0001825	7,30012E-06
-2	18	0,018	0,0001811	1,00585E-05
-1	11	0,011	0,0001778	1,61600E-05
1	11	0,011	0,0001778	1,61600E-05
2	19	0,019	0,0001715	9,02758E-06
3	26	0,026	0,0001755	6,74938E-06
4	33	0,033	0,0001778	5,38682E-06
5	40	0,040	0,0001792	4,48123E-06
6	47	0,047	0,0001803	3,83601E-06
7	54	0,054	0,0001811	3,35309E-06

Tabelle 3: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsmaxima beim $\sim 0,2\text{mm}$ Einzelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	d [m]	Δd [m]
-7	30	0,030	0,0003042	1,01391E-05
-6	26	0,026	0,0003008	1,15704E-05
-5	22	0,022	0,0002963	1,34668E-05
-4	18	0,018	0,0002897	1,60936E-05
-3	14	0,014	0,0002793	1,99527E-05
-2	9	0,009	0,0002897	3,21869E-05
-1	5	0,005	0,0002607	5,21428E-05
1	5	0,005	0,0002607	5,21428E-05
2	10	0,010	0,0002607	2,60714E-05
3	15	0,015	0,0002607	1,73810E-05
4	19	0,019	0,0002744	1,44441E-05
5	24	0,024	0,0002716	1,13159E-05
6	28	0,028	0,0002793	9,97652E-06
7	32	0,032	0,0002852	8,91138E-06

Tabelle 4: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsminima beim $\sim 0,3\text{mm}$ Einzelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	d [m]	Δd [m]
-7	33	0,033	0,0002963	8,97803E -06
-6	28	0,028	0,0003026	1,08079E -05
-5	24	0,024	0,0002987	1,24475E -05
-4	20	0,020	0,0002933	1,46653E -05
-3	15	0,015	0,0003042	2,02779E -05
-2	11	0,011	0,0002963	2,69333E -05
-1	7	0,007	0,0002793	3,99052E -05
1	8	0,008	0,0002444	3,05524E -05
2	12	0,012	0,0002716	2,26315E -05
3	17	0,017	0,0002684	1,57873E -05
4	21	0,021	0,0002793	1,33019E -05
5	26	0,026	0,0002758	1,06062E -05
6	29	0,029	0,0002922	1,00754E -05
7	34	0,034	0,0002876	8,45769E -06

Tabelle 5: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsmaxima beim $\sim 0,3\text{mm}$ Einzelspalt

Die Werte für d und Δd , die für Beugungsminima und –maxima getrennt berechnet wurden, lassen sich nun für jeden Spalt zusammenfassen, so dass wir aus diesen 28 Messwerten samt zugehörigen Fehlern die mittlere Spaltbreite ermitteln können.

Hierbei verwendeten wir das Verfahren des gewichteten Mittelwertes, welches sich anbietet, da sich der systematische Fehler Δx bei den Werten niedriger Ordnung wesentlich deutlicher bemerkbar macht, als bei jenen höherer Ordnung. Im Gegensatz zur Messung des Brewsterwinkels in Aufgabe 1, wo stets derselbe Wert mehrmals gemessen wurde.

Man erkennt dies insbesondere deutlich bei den Messungen des $\sim 0,2\text{mm}$ Spaltes, wo Δd für niedrige Ordnungen um eine ganze Größenordnung von jenen höherer Ordnung abweicht.

Wir verzichten an dieser Stelle auf eine Darstellung der ermittelten Gewichte und Zwischengrößen beim Verfahren des gewichteten Mittelwertes, da dies nur weitere Zahlenkolonnen wären, welche keine große Aussagekraft besitzen. Relevant ist deren Ergebnis.

Wir ermittelten die folgenden Werte:

$$d_{\sim 0,2\text{mm Spalt}} = 0,1815\text{mm} \pm 0,0010\text{mm}$$

$$d_{\sim 0,3\text{mm Spalt}} = 0,2874\text{mm} \pm 0,0026\text{mm}$$

Beide Werte liegen leicht unter dem angegebenen Referenzwert, entsprechen jedoch der erwarteten Größe.

Aufgabe 2.2 – Vergleich Beugungsfigur Einzelspalt und Steg

Wir überprüften in dieser Teilaufgabe das Babinet'sche Theorem anhand eines dünnen Steges und eines gleich breiten Einzelspaltes. Hierzu konnten wir das Beugungsbild, welches durch den Steg erzeugt wurde mit den markierten Maxima und Minima eines Einzelspaltes aus der letzten Aufgabe vergleichen.

Wir stellten eine Übereinstimmung des Beugungsbildes fest.

Aufgabe 2.3 – Vergleich Beugungsfigur Kreisscheibe und Kreisöffnung

Wie in der letzten Aufgabe führten wir einen Vergleich zweier komplementärer Beugungsobjekte durch. Diesmal jedoch ohne Vergleich mit zuvor gesetzten Markierungen, sondern rein optisch. Wobei wir auch hier die Gültigkeit des Babinet'schen Theorems bestätigen konnten.

Interessant ist vor allem, warum im Zentrum des Beugungsbildes der Kreisscheibe kein Schatten zu sehen ist, sondern ein heller Fleck. Im Gegensatz zur Kreisöffnung wo das Licht zentral transmittieren kann, würde man bei der Scheibe eine dunkle Stelle erwarten.

Dieser gegenteilige lässt sich dadurch erklären, dass an den Kanten der Kreisscheibe auch Licht zum Kreiszentrum hin gebeugt wird und nicht nur nach außen. Diese Strahlen interferieren im Zentrum des Schirmes konstruktiv, da sie alle denselben Abstand zum Rand der Kreisscheibe haben und somit denselben Gangunterschied. Dadurch entsteht im Zentrum der sehr helle, Poisson'sche Fleck.

Wir veranschaulichten uns das nach-Innen-beugen an einem Objekt noch anhand einer Kante. Auch dort war Licht im, nach klassischer Betrachtung, verdeckten Bereich des Schirmes zu erkennen.

Wir hätten die Ergebnisse dieses und des vorhergehenden Versuchs gerne der Anschaulichkeit wegen fotografiert, doch konnte unsere Kamera die Interferenzbilder nicht genügend auflösen.

Aufgabe 2.4 – Bestimmung des Haardurchmessers aus der Beugungsfigur

Da wir die Beugung am Haar als Beugung am Steg betrachten können, haben wir nun die Möglichkeit die Dicke des Haares nach dem Babinet'schen Theorem analog zu Aufgabe 2.1 zu ermitteln.

Die Bezeichnungen der Größen wurden beibehalten, wobei der Abstand zwischen Haar-Schirm $y = 1,763m$ beträgt und wir den Fehler $\Delta y = 1mm = 0,001m$ ansetzen, da die Anbringung des Haares ein wenig trickreich war und keinesfalls so gut mittig auf eine Halterung justiert war, wie dies bei den Fassungen für die Beugungsobjekte der Fall ist.

Nach dem Babinetschen Theorem gilt analog zum Einzelspalt für die Minima:

$$d = n \cdot \lambda \cdot \frac{y}{x} \quad \text{und} \quad \Delta d = \sqrt{\left(\frac{n\lambda}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{n\lambda y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2}$$

Die Maxima ziehen wir nicht zur Bestimmung heran, da diese sehr breit auf dem Schirm waren und deren Mitte daher nur schwer zu bestimmen war. Die Minima waren wesentlich besser zu markieren.

Ordnung n	x [mm]	x [m]	d [m]	Δd [m]
-3	80	0,080	0,0000418	5,23488E -07
-2	54	0,054	0,0000413	7,65535E -07
-1	26	0,026	0,0000429	1,65051E -06
1	27	0,027	0,0000413	1,53053E -06
2	55	0,055	0,0000406	7,37963E -07
3	79	0,079	0,0000424	5,36811E -07

Wir verwendeten wiederum das Verfahren des gewichteten Mittelwertes und ermittelten für den Durchmesser des Haares:

$$d_{\text{Haar}} = 0,0417\text{mm} \pm 0,0003\text{mm}$$

Wir verglichen dieses Ergebnis noch mit der Messung durch eine Mikrometerschraube, wodurch wir folgenden Wert ermittelten:

$$d_{\text{Haar,Schraube}} = 0,030\text{mm} \pm 0,005\text{mm}$$

Dieser liegt leicht unter dem durch das Beugungsexperiment ermittelten Wert, was vermutlich darauf zurückzuführen ist, dass mit der Mikrometerschraube das Haar leicht gedrückt werden kann, ehe die Schraube einrastet und eine weitere Drehung nicht mehr zulässt.

Aufgabe 3.1 – Bestimmung von Spaltbreite und Spaltabstand eines Doppelspaltes

Prinzipiell wurde auch in dieser Aufgabe dasselbe Verfahren wie in Aufgabe 2.1 angewandt. Der Abstand Schirm-Doppelspalt betrug $y = 2,06\text{m}$ und wir veranschlagten hierbei einen systematischen Fehler für die Abstandsbestimmung von $\Delta y = 0,5\text{mm} = 0,0005\text{m}$, was wieder einem halben Skalenteil entspricht.

Zur Bestimmung von Spaltbreite b und Spaltabstand a verwenden wir jedoch nur die Minima des Beugungsbildes. Wir müssen hierbei insbesondere noch zwischen Haupt- und Nebenminima unterscheiden.

Es gelten die folgenden Beziehungen für Spaltabstand und Spaltbreite beim Doppelspalt, welche auch in der Vorbereitung hergeleitet wurden.

$$b = n \cdot \lambda \cdot \frac{y}{x} \quad \leftarrow \text{Nur Hauptminima verwenden!}$$

$$a = \left(n + \frac{1}{2} \right) \cdot \lambda \cdot \frac{y}{x} \quad \leftarrow \text{Nur Nebenminima verwenden!}$$

Da am Schirm direkt nicht ersichtlich war, welche Minima Haupt- und welche Nebenminima waren, ermittelten wir zunächst theoretische Werte für die Abstände der Haupt- und Nebenminima entsprechender Ordnung und verglichen diese anschließend mit unseren Messwerten um die Markierungen den möglichst richtigen Ordnungen zuzuordnen.

Hier konnten wir bei der Auswertung feststellen, dass manchmal Haupt- und Nebenminima derart nah beieinander lagen, dass eine Unterscheidung am Schirm nicht möglich gewesen wäre.

Soweit wir die Minima klar einer Ordnung zuordnen konnten, finden sich die zugehörigen Messwerte im Folgenden mit den daraus berechneten Werten und deren Fehler. Auch hier wurde wieder die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung verwendet:

$$\Delta b = \sqrt{\left(\frac{nI}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{nI y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2}$$

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{(n+\frac{1}{2})I}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{(n+\frac{1}{2})I y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2}$$

Die leeren Tabellenfelder gehören zu den Minima, die nicht zuordenbar waren.

Ordnung n	x [mm]	x [m]	b [m]	Δb [m]
-5	26	0,026	0,000250686	9,64197E -06
-4	21	0,021	0,000248299	1,18239E -05
-3	16	0,016	0,000244419	1,52763E -05
-2	10	0,01	0,000260714	2,60714E -05
-1	5	0,005	0,000260714	5,21428E -05
1	5	0,005	0,000260714	5,21428E -05
2	10	0,01	0,000260714	2,60714E -05
3	16	0,016	0,000244419	1,52763E -05
4	21	0,021	0,000248299	1,18239E -05
5	26	0,026	0,000250686	9,64197E -06

Tabelle 7: Messwerte und berechnete Größen für Beugungshauptminima beim 0,25/0,5 Doppelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	a [m]	Δa [m]
-10	28	0,028	0,000488838	1,74589E -05
-9				
-8	22	0,022	0,000503651	2,28936E -05
-7				
-6	17	0,017	0,000498423	2,93193E -05
-5				
-4	12	0,012	0,000488838	4,07367E -05
-3				
-2	6	0,006	0,000543153	9,05257E -05
-1				
1				
2	7	0,007	0,00046556	6,65087E -05
3				
4	12	0,012	0,000488838	4,07367E -05
5				
6	18	0,018	0,000470733	2,61521E -05
7				
8	23	0,023	0,000481753	2,09461E -05
9				
10	28	0,028	0,000488838	1,74589E -05

Tabelle 8: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsnebenminima beim 0,25/0,5 Doppelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	b [m]	Δb [m]
-6	31	0,031	0,00025230	8,13905E-06
-5	25	0,025	0,00026071	1,04287E-05
-4				
-3	15	0,015	0,00026071	1,73810E-05
-2				
-1	6	0,006	0,00021726	3,62103E-05
1	6	0,006	0,00021726	3,62103E-05
2				
3	15	0,015	0,00026071	1,73810E-05
4				
5	26	0,026	0,00025069	9,64197E-06
6	31	0,031	0,00025230	8,13905E-06

Tabelle 9: Messwerte und berechnete Größen für Beugungshauptminima beim 0,25/0,75 Doppelspalt

Ordnung n	x [mm]	x [m]	a [m]	Δa [m]
-16	29	0,029	0,00074169	2,5576E-05
-15				
-14				
-13	23	0,023	0,00076514	3,32674E-05
-12				
-11	20	0,02	0,00074955	3,74780E-05
-10				
-9	17	0,017	0,00072846	4,28512E-05
-8				
-7				
-6	11	0,011	0,00077029	7,00266E-05
-5	9	0,009	0,00079662	8,85141E-05
-4				
-3				
-2	4	0,004	0,00081473	0,000203683
-1				
1				
2	3	0,003	0,00108631	0,000362102
3				
4				
5	9	0,009	0,00079662	8,85141E-05
6	11	0,011	0,00077029	7,00266E-05
7				
8				
9	17	0,017	0,00072846	4,28512E-05
10				
11	20	0,02	0,00074955	3,74708E-05
12				
13	23	0,023	0,00076514	3,32674E-05
14				
15				
16	28	0,028	0,00076817	2,74354E-05

Tabelle 10: Messwerte und berechnete Größen für Beugungsnebenminima beim 0,25/0,75 Doppelspalt

Wie zuvor, konnten wir mit dem Verfahren des gewichteten Mittelwertes nun die entsprechenden Größen bestimmen:

$$b_{0,25/0,5} = 0,2496\text{mm} \pm 0,0046\text{mm}$$

$$b_{0,25/0,75} = 0,2534\text{mm} \pm 0,0041\text{mm}$$

$$a_{0,25/0,5} = 0,4887\text{mm} \pm 0,0082\text{mm}$$

$$a_{0,25/0,75} = 0,7550\text{mm} \pm 0,0113\text{mm}$$

Auch hier liegen die Werte für Spaltabstand a und Spaltbreite b wieder sehr nahe an den Referenzwerten. Teilweise sind diese guten Werte sicherlich auf unser Auswahlverfahren der Minima anhand theoretischer Werte zurückzuführen, womit große Ausreißer in den Messdaten quasi ausgeschlossen sind.

Aufgabe 3.2 – Vergleich von Doppelspalt und Dreifachspalt

Ein Vergleich der verschiedenen Doppelspalte, fand bereits bei der letzten Aufgabe statt. Ein Blick auf die Tabellen zeigt deutlich, dass bei kleinerem Spaltabstand die Maxima weiter auseinander rücken.

Bei der Verwendung des Dreifachspaltes, wurden die Hauptmaxima schärfer und die Nebenmaxima sind etwas besser zu erkennen.

Aufgrund der Lichtverhältnisse versagte unsere Digitalkamera auch bei diesem Versuch dabei, die Beobachtungen fotografisch zu dokumentieren.

Aufgabe 3.3 – Bestimmung der Gitterkonstante eines Strichgitters

Alle äußeren Einstellungen ($y, \Delta y, \Delta x, l$) sind bei diesem Versuch dieselben wie in Versuch 3.1. Es gilt die folgende Beziehung für die Gitterkonstante g bei Betrachtung der Hauptmaxima, welche in der Vorbereitung hergeleitet wurde:

$$g = n \cdot l \cdot \frac{y}{x}$$

Für den Fehler der Gitterkonstante verwenden wir wieder die Gauß'sche Fehlerfortpflanzung.

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{nl}{x}\right)^2 \cdot (\Delta y)^2 + \left(\frac{nl y}{x^2}\right)^2 \cdot (\Delta x)^2}$$

Ordnung n	x [mm]	x [m]	g [m]	Δg [m]
-10	124	0,124	0,0001051	8,48178E -07
-9	112	0,112	0,0001048	9,35622E -07
-8	100	0,100	0,0001043	1,04316E -06
-7	87	0,087	0,0001049	1,20584E -06
-6	74	0,074	0,0001057	1,42854E -06
-5	62	0,062	0,0001051	1,69578E -06
-4	49	0,049	0,0001064	2,17186E -06
-3	37	0,037	0,0001057	2,85673E -06
-2	25	0,025	0,0001043	4,17149E -06
-1	13	0,013	0,0001003	7,71346E -06
1	13	0,013	0,0001003	7,71346E -06
2	26	0,026	0,0001003	3,85679E -06
3	28	0,028	0,0001397	4,98826E -06
4	50	0,050	0,0001043	2,08586E -06
5	63	0,063	0,0001035	1,64238E -06
6	75	0,075	0,0001043	1,39070E -06
7	87	0,087	0,0001049	1,20584E -06
8	100	0,100	0,0001043	1,04316E -06
9	112	0,112	0,0001048	9,35622E -07
10	124	0,124	0,0001051	8,48178E -07

Tabelle 11: Messwerte und berechnete Größen für Beugungshauptmaxima beim 100/cm Strichgitter

Mit dem bekannten Verfahren des gewichteten Mittelwertes bestimmten wir hieraus die Gitterkonstante g .

$$g_{100/cm} = 0,1080mm \pm 0,0018mm \quad \text{dies entspricht 108 Strichen pro cm}$$

Auch hier ist unser gemessener Wert, wieder relativ nahe am Referenzwert.

Aufgabe 3.4 – Vergleich von Kreuz- und Wabengitter

Ohne weitere Messungen vorzunehmen beobachteten wir die Beugungsbilder von Gittern mit Kreuz- und Wabenmuster. Der auffälligste unterschied zum Strichgitter der Aufgabe zuvor ist natürlich, dass sich das Beugungsmuster nun auf 2 Dimensionen erstreckt. Da diese Gitter im Grunde Überlagerungen von Strichgittern sind, ist es leicht ersichtlich, dass sich deren Beugungsmuster ebenfalls überlagern. Demnach verteilen sich die Intensitätsmaxima beim Kreuzgitter auch nach oben und unten, sowie beim Wabengitter eben schräg nach links und rechts. Wir hielten die qualitativen Ergebnisse dieses Versuchs so gut es ging mit der Digitalkamera fest. Anhand der folgenden Bilder kann man die Muster der entsprechenden Gitter recht gut vergleichen. Um Druckertinte zu sparen und gleichzeitig die Erkennlichkeit der Bilder zu steigern geben wir diese als Negativbilder wieder.

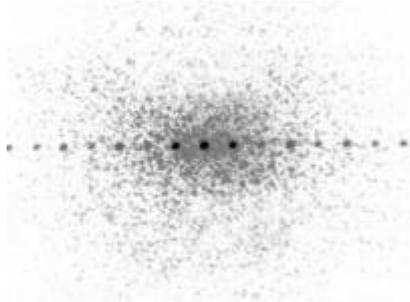


Bild 1: Strichgitter

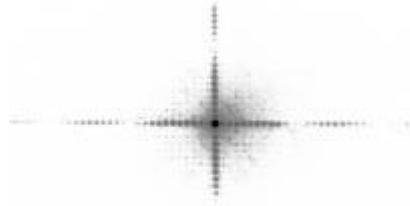


Bild 2: Kreuzgitter

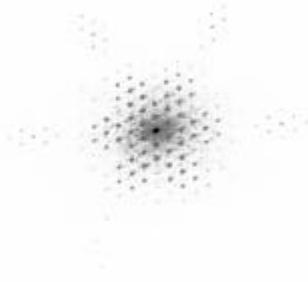


Bild 3: Wabengitter

Aufgabe 4 – Abbildung nicht selbst leuchtender Gegenstände

Die letzten beiden Anschauungsversuche führten wir zusammen mit den anderen Gruppen und mit der Hilfe des Betreuers durch. Zuerst wollten wir das Abbildungsverhalten von nicht selbst leuchtenden Objekten näher untersuchen. Wir bauten dazu den in der Aufgabenstellung beschriebenen Versuchsaufbau mit Gitter, Linsen und Ordnungsblende auf. Durch Verschieben der Beugungsordnungsblende konnten wir am Bild verschiedene Effekte beobachten.

Blendeten wir alle Ordnungen außer der 0. aus, so verschwamm das Beugungsbild zu einem aussagelosen Fleck. Öffneten wir die Blende, so dass 0. und 1. Ordnung durchgelassen wurden, konnten wir das bekannte Beugungsmuster des Gitters beobachten, welches wir erwartet hätten und auch zur Bestätigung ohne Blende reproduzierten. Beim Durchlassen von nur der 2. Ordnung wurde das Bild wieder undeutlich.

Der Versuch bestätigte uns anschaulich das Abbé'sche Theorem. Dieses besagt, dass zur korrekten Abbildung eines Objekts mindestens die ersten beiden Ordnungen betrachtet werden müssen. Blendet man Teile von diesen aus, so geht Information verloren und das Bild wird undeutlich.

Aufgabe 5 – Reproduktion eines Hologramms

Zu guter letzt führte uns der Betreuer die Reproduktion eines Hologramms vor. Zuerst beobachteten wir ein mit weißem Licht angestrahltes Hologramm, welches einen Oldtimer zeigte. Durch verändern des Blickwinkels überzeugten wir uns davon, dass das Bild tatsächlich dreidimensional war. Wir konnten beispielsweise den Unterboden des Autos betrachten.

Dabei fiel uns zusätzlich auf, dass das Bild je nach Blickwinkel in einer anderen Farbe erschien. Dieser Effekt entsteht dadurch, dass bei der Aufnahme des Hologramms das Objekt zur Speicherung der dreidimensionalen Information aus verschiedenen Richtungen beleuchtet werden muss. Hierfür wird Licht verschiedener Wellenlängen verwendet. Zur Reproduktion muss das Hologramm mit Licht derselben Wellenlänge bestrahlt werden, was in unserem Fall die weiße Lampe mit ihrem Lichtgemisch aus vielen Wellenlängen übernahm. Betrachtet man das Hologramm dann aus einer bestimmten Richtung, so hat es die Farbe mit der es aus dieser Richtung beleuchtet wurde. Ändert man die Blickrichtung, so ändert sich auch eventuell die Farbe, da diese Richtung womöglich anders belichtet worden ist.

Wir betrachteten noch ein zweites Hologramm, welches nur mit dem Laser angestrahlt wurde. Dabei konnten wir uns davon überzeugen, dass tatsächlich ein virtuelles und ein reelles Bild entstehen.

Zudem veranschaulichten wir uns durch Abdeckung den Fakt, dass jeder Strahl die Information des gesamten Hologramms trägt. Selbst bei Ausblendung eines Teils der Strahlen blieb das Bild als Ganzes erhalten.

Leider gelang es uns nicht dies fotografisch festzuhalten.

Anhang – Verwendete Verfahren zur Fehlerrechnung

Arithmetischer Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Standardabweichung:

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Standardabweichung vom Mittelwert:

$$s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}}$$

Gewichteter Mittelwert:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i x_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad \text{wobei die Gewichte } w_i = \frac{1}{(\Delta x_i)^2}$$

Fehler des Gewichteten Mittelwerts:

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}}$$

Gauss'sche Fehlerfortpflanzung:

Findet Anwendung, wenn die Unabhängigkeit der Messabweichungen gegeben ist.

$$\Delta q = \sqrt{\left(\frac{\partial q}{\partial x_1}\right)^2 \Delta x_1^2 + \left(\frac{\partial q}{\partial x_2}\right)^2 \Delta x_2^2 + \dots}$$

Arithmetische Fehlerfortpflanzung bzw. Größtfehlerabschätzung:

Findet Anwendung, wenn die Unabhängigkeit der Messabweichungen nicht gegeben ist.

$$\Delta q = \left| \frac{\partial q}{\partial x_1} \right| \Delta x_1 + \left| \frac{\partial q}{\partial x_2} \right| \Delta x_2 + \dots$$