

Institut für Experimentalphysik der Technischen Universität
Graz

&

Institut für Physik der Universität Graz

LABORÜBUNGEN 2: ELEKTRIZITÄT, MAGNETISMUS, OPTIK

Übungstitel: [Interferometer](#)

Betreuer:

Gruppennummer: [41](#)

Name: [Tanja Maier, Johannes Winkler](#)

Kennzahl: [033 678](#)

Matrikelnummer: [11778750, 00760897](#)

Datum: [13.11.2020](#)

WS [20](#)

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen und Grundlagen	3
3 Geräteliste	4
4 Beschreibung der Versuchsanordnung	4
5 Versuchsdurchführung und Messwerte	6
5.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster	6
5.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster	11
5.3 Teil 3: Bestimmung der Dicke der Polyacrylat-Schicht anhand des Interferenzmusters	11
5.4 Teil 4: Maximale Größe des Lichts für räumliche Kohärenz	12
6 Auswertung	12
6.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster	12
6.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster	13
6.3 Teil 3: Bestimmung der Dicke der Polyacrylat-Schicht anhand des Interferenzmusters	14
6.4 Teil 4: Maximale Größe des Lichts für räumliche Kohärenz	15
7 Diskussion	15
7.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster	15
7.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster	16
8 Zusammenfassung	16
9 Literaturverzeichnis	16

1 Aufgabenstellung

1. Demonstration und Erklärung des Einflusses der Größe einer Lichtquelle auf das Interferenzmuster eines Doppelspalt.
2. Demonstration und Erklärung des Einflusses der spektralen Breite des Lichtes einer räumlich kohärenten Lichtquelle auf das Interferenzmuster eines Doppelspalt.
3. Bestimmung der Dicke einer Kunststoffschicht mit dem Doppelspalt Interferenzmuster.
4. Bestimmung der Größe der Lichtquelle, bei der für Doppelspalten mit unterschiedlichem Spaltabstand das Licht noch räumlich kohärent ist.

2 Voraussetzungen und Grundlagen

Grundlage dieses Versuchs bietet die Wellennatur des Lichts. Licht kann als elektromagnetische Welle im sichtbaren Spektralbereich gesehen werden. Das von einer Quelle ausgesendete Licht kann dann mit einem Doppelspalt in mehrere Teilwellen aufgespalten werden. Wenn diese Teilwellen dann wieder aufeinandertreffen (z.B. durch Totalreflexion an einem Spiegel), so kommt es je nach Gang- bzw. Zeitunterschied entweder zur Auslöschung (destruktive Interferenz) oder Verstärkung (konstruktive Interferenz) der wieder vereinigten Welle. Wichtig ist dabei, dass die Welle sowohl zeitlich als auch räumlich kohärent (Amplitude und Phase sind also an jedem Punkt und zu jeder Zeit eindeutig definiert) ist. Dann gilt

$$\Delta s = d \cdot \sin \theta_n = n \cdot \lambda \quad n \in \mathbb{N}_0 \quad (1)$$

wobei der Gangunterschied der beiden Teilwellen n -ter Ordnung, d der Abstand der Spalten, θ_n der n -te Beugungswinkel, n die Ordnung des Interferenzmaximums und λ die Wellenlänge ist.

Die Interferenzmaxima werden außerdem mit einer Sammellinse erfasst und abgebildet. Für den Abstand b_n zwischen 0-tem und n -tem Maximum gilt folgender Zusammenhang

$$b_n = f_2 \cdot \tan \left(\arcsin \left(\frac{n \cdot \lambda}{d} \right) \right), \quad n \in \mathbb{N}_0 \quad (2)$$

wobei f_2 die Brennweite der Sammellinse nach dem Doppelspalt ist. Außerdem kann man noch den Kontrast K des Interferenzmusters bestimmen, welcher von der jeweiligen Intensität der Lichtquelle abhängt.

$$K = \frac{I_{0,\max} - I_{1,\min}}{I_{0,\max} + I_{1,\min}} = \left| \frac{\sin \left(\frac{\pi \cdot d \cdot 2 \cdot w}{\lambda \cdot f_1} \right)}{\frac{\pi \cdot d \cdot 2 \cdot w}{\lambda \cdot f_1}} \right| \quad (3)$$

wobei I die Intensität, f_1 die Brennweite der Sammellinse vor dem Doppelspalt und w der Durchmesser der Spaltblende ist (wird als *Größe* der Lichtquelle gesehen). Außerdem wird bei diesem Experiment auch eine Probe mit Polyacrylat verwendet, welche eine zusätzliche Phasenverschiebung am Doppelspalt bewirkt. Diese Phasenverschiebung kann beschrieben werden durch

$$\Delta s_0 = \Delta s + t \cdot (n_1 - n_2) = d \cdot \sin(\theta) \cdot t \cdot (n_1 - n_2) \quad (4)$$

wobei t die Dicke der Probe, n_1 der Brechungsindex der Probe und n_2 der Brechungsindex der Umgebung (hier: Luft, also $n_2 = 1$) ist.

3 Geräteliste

Tabelle 1: Liste der verwendeten Geräte

Abk.	Bezeichnung	Typ	Gerätenummer	Unsicherheit
S	Spaltblende			
L1	Sammellinse 1	$f_1 = 300$ mm		$\Delta f_1 = 0.5$ mm
L2	Sammellinse 2	$f_2 = 150$ mm		$\Delta f_2 = 0.5$ mm
L3	Sammellinse 3	$f_3 = 40$ mm		$\Delta f_3 = 0.5$ mm
L4	Sammellinse 4	$f_4 = 30$ mm		$\Delta f_4 = 0.5$ mm
DS1	Doppelspalt	$d_1 = 0.43$ mm		
DS2	Doppelspalt	$d_2 = 0.23$ mm		
DS3	Doppelspalt	$d_3 = 0.13$ mm		
B	Lochblenden und Irisblende	$d_1 = 2$ mm $d_2 = 3$ mm $d_3 = 6$ mm		$\Delta d = 0.1$ mm
F	Filterrad für LEDs			
K	Kamera			

4 Beschreibung der Versuchsanordnung

Der Versuchsaufbau ist maßstabsgetreu in Grafik 1 dargestellt.

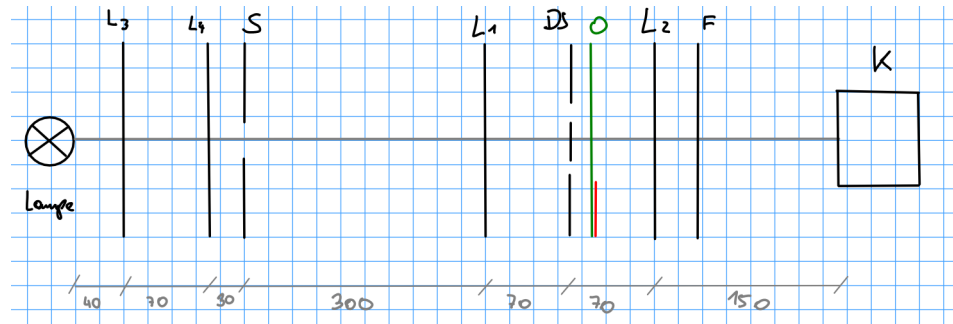


Abbildung 1: Versuchsaufbau. L_1, L_2, L_3, L_4 Linsen, S Spaltblende, DS Doppelspalt, F Filtrerrad, O Substrat mit Polyacrylat-Schicht, K Kamera. Maßstab 1:20

Die von der Lampe ausgehenden Lichtstrahlen werden in L_3 parallelisiert, da der Abstand zur Lampe genau die Brennweite von L_3 ist. In L_4 wird der Strahl auf den Spalt fokussiert. Die einstellbare Spaltblende liegt exakt im Brennpunkt von L_1 und L_4 , daher werden die ausgehenden Strahlen in L_1 wieder parallelisiert. Danach trifft das Licht auf den Doppelspalt, wo Beugung stattfindet. Danach dringt das Licht durch das Substrat, dass teilweise mit einer Schicht Polyacrylat versehen ist. Das Beugungsmuster wird von L_2 auf eine Kamera umgeleitet, die sich genau im Brennpunkt von L_2 befindet. Zwischen L_2 und der Kamera ist zusätzlich noch ein Filtrerrad, welches wo man wahlweise einen Bandpass (633 nm) oder einen Langpass dazwischen schalten kann. Grafik 2 zeigt den Strahlengang im Interferometer.

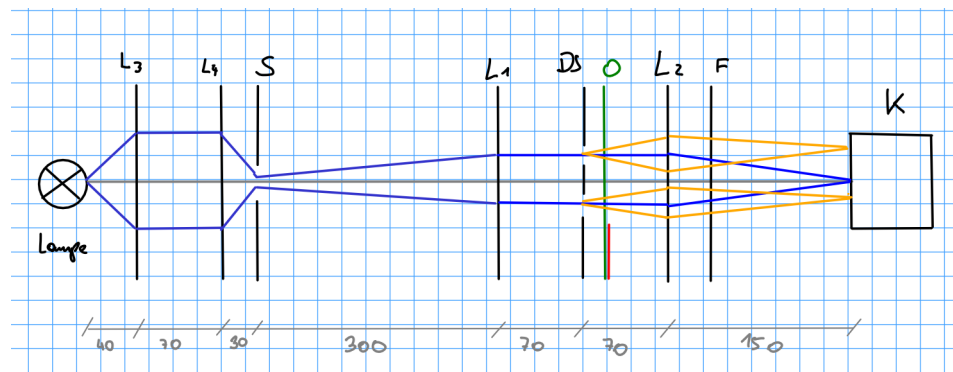


Abbildung 2: Strahlengang im Interferometer. Die Strahlen sind in blau eingezeichnet, die 1. Beugungsordnung in orange. Maßstab 1:20

5 Versuchsdurchführung und Messwerte

Die Versuchsergebnisse werden von der Kamera aufgenommen. Diese wird mit einem Computer und der Software *IC Capture* gesteuert.

5.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster

Bei einer großen Lichtquelle kann räumliche Kohärenz auftreten. Daraus resultiert ein schwächerer Kontrast. Die Größe der Lichtquelle wird durch die verstellbare Spaltblende realisiert. Für diesen Versuch wurde monochromatisches Licht verwendet. Dann wurde der 633 nm Bandpassfilter in den Strahlengang gedreht und der Doppelspalt mit $d_2 = 0.23$ mm in den Strahlengang geschoben. Dann wurden 6 geeignete Größen der Lichtquelle gewählt, um den Verlauf des Kontrastes gemäß im Bereich $0 < 2 \cdot w < 1.5 \cdot \lambda \cdot f_1/d$ darstellen zu können. Dafür wurde zunächst die Spaltbreite des Kontrast-Minimums bestimmt. Beim Wert 0 der Mikrometerschraube war der Spalt jedoch noch nicht ganz geschlossen, sodass mit einer negativen Spaltbreite $A = (-0.23 \pm 0.06)$ mm begonnen wurde, um den Spalt auch ganz geschlossen zu halten. Die ersten Bilder wurden dann bei dem Ablesewert $A = 0$ mm durchgeführt, sodass dieser unter Berücksichtigung des Offsets eigentlich bei 0.23 mm ist. Für die gewählten Größen der Lichtquelle wurde jeweils ein Foto des Beugungsmusters aufgenommen und zusätzlich werden die Grauwerte mit dem Programm ImageJ grafisch dargestellt. Der Kontrast kann nun mit Formel 3 berechnet werden.

Die Aufnahmen der Interferenzmuster und die grafische Darstellung der Grauwerte sind im folgenden aufgelistet.

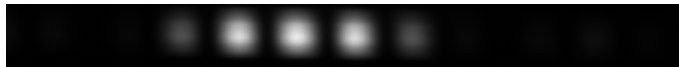


Abbildung 3: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.23 \pm 0.06)$ mm

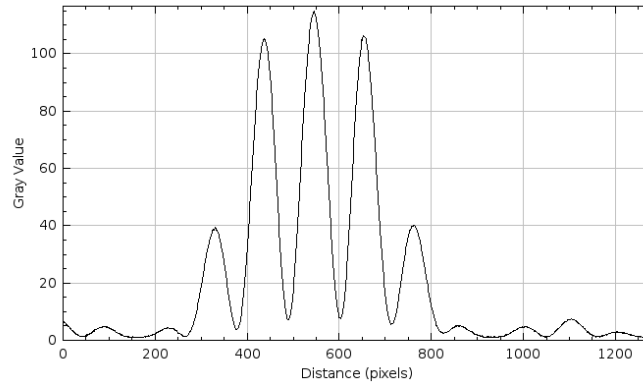


Abbildung 4: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.23 \pm 0.06)$ mm.



Abbildung 5: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.48 \pm 0.06)$ mm

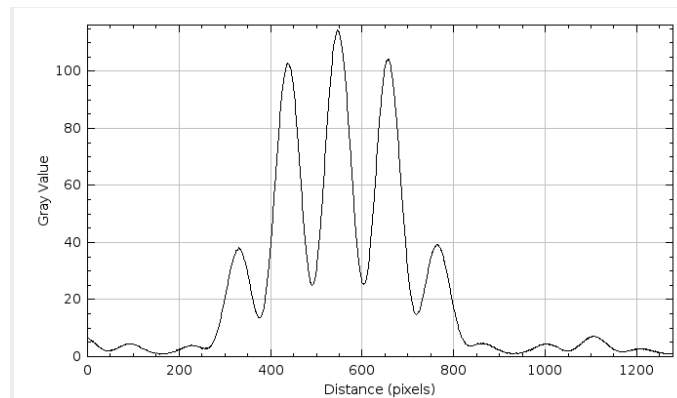


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.48 \pm 0.06)$ mm.

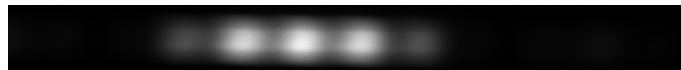


Abbildung 7: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.73 \pm 0.06)$ mm

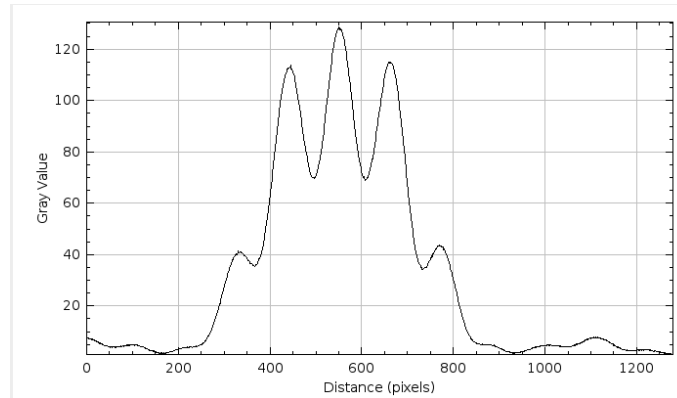


Abbildung 8: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.73 \pm 0.06)$ mm.



Abbildung 9: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.97 \pm 0.06)$ mm

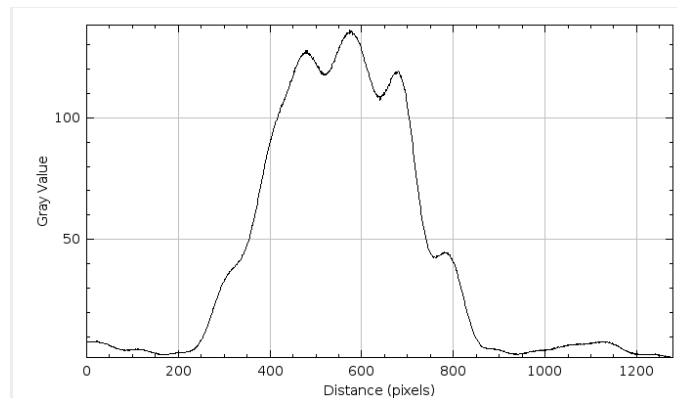


Abbildung 10: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (0.97 \pm 0.06)$ mm.

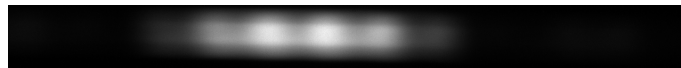


Abbildung 11: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (1.23 \pm 0.06)$ mm

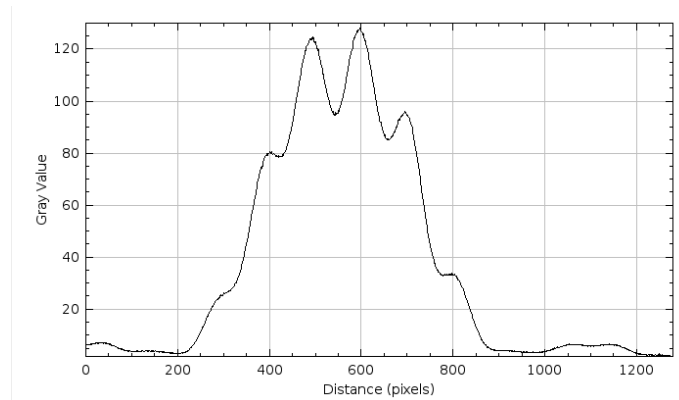


Abbildung 12: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (1.23 \pm 0.06)$ mm.

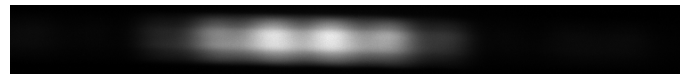


Abbildung 13: Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (1.45 \pm 0.06)$ mm

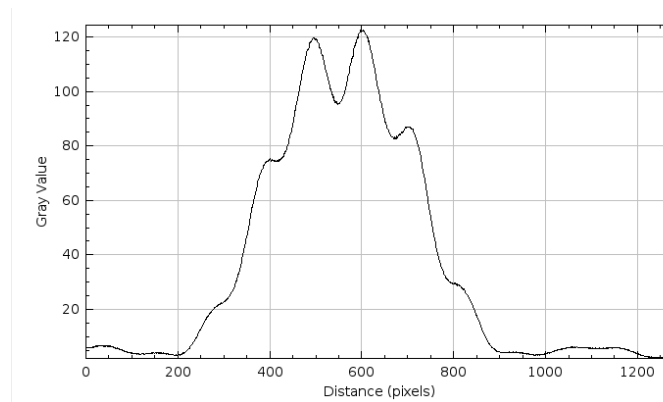


Abbildung 14: Grafische Darstellung der Intensitäten beim Interferenzmuster für $2 \cdot w \approx (1.45 \pm 0.06)$ mm.

Tabelle 2: Beugungsextremum 0. Ordnung, bezeichnet als I_0 , Beugungsextrema 1. Ordnung I_{-1} links von I_0 und I_{+1} rechts von I_0 . Die 0. Ordnung ist bei den ersten Messungen ein Maximum, wird aber später zu Minimum wegen Nullstelle im Kontrast.

$2 \cdot w / \text{ mm}$	I_0	I_{-1}	I_{+1}	\bar{I}_1
0.23	114.891	7.118	7.597	7.358
0.48	114.552	24.817	25.261	25.039
0.73	128.655	69.862	69.026	69.444
0.97	135.926	117.512	107.198	112.355
1.23	94.551	124.517	128.076	126.297
1.45	95.355	119.835	122.570	121.202

5.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster

Beim zweiten Versuch ist diesmal das Licht räumlich kohärent, dafür variiert die spektrale Breite (und damit die zeitliche Kohärenz). Die Theorie sagt, dass die 0. Beugungsordnung mit der höchsten Intensität dargestellt wird und die Intensität nach außen hin nachlässt. Es wurde die Spaltblende so eingestellt, dass das Licht mit 0.43 mm Spaltabstand räumlich gut kohärent ist. Danach wurde ein Beugungsbild mit dem 633 nm Bandpassfilter, mit dem Langpassfilter und ohne Filter aufgenommen.



Abbildung 15: Beugungsmuster mit Langpassfilter

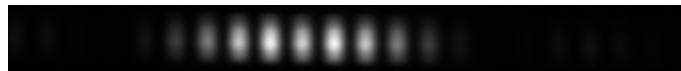


Abbildung 16: Beugungsmuster mit 633 nm-Bandpassfilter



Abbildung 17: Beugungsmuster ohne Filter

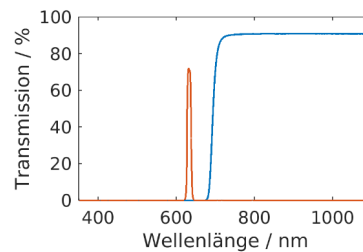


Abbildung 18: Transmissionsspektrum des Langpassfilters (blau) und des Bandpassfilters (orange). Quelle: [6]

5.3 Teil 3: Bestimmung der Dicke der Polyacrylat-Schicht anhand des Interferenzmusters

Hier wurde der vorderste Doppelspalt mit 0.43 mm Spaltabstand verwendet und alle Filter aus dem Strahlengang gedreht. Danach wurde die mit Polyacrylat überzogene Probe in den Strahlengang eingebracht und mit einer Jus-

tierschraube verschoben, sodass die Polyacrylat-Schicht nur einen der beiden Spalte abdeckt. Dann wurde das Bild des verschobenen und ein Bild des nicht verschobenen Beugungsmusters, sowie ein Bild ohne Polyacrylat als Referenzwert aufgenommen.

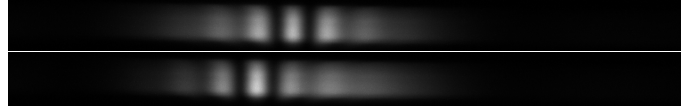


Abbildung 19: Darstellung des Beugungsmusters mit und ohne Verschiebung

5.4 Teil 4: Maximale Größe des Lichts für räumliche Kohärenz

In diesem Versuch wurde wieder monochromatisches Licht mit einem Bandpass von 633 nm verwendet. Für drei Doppelspalten ($d_1 = 0.43$ mm, $d_2 = 0.23$ mm und $d_3 = 0.13$ mm) wird die Blende so reguliert, dass der Kontrast gerade verschwindet. Die Werte werden an der μ m-Schraube abgelesen.

Tabelle 3: Ablesewerte der Mikrometerschraube. x_1 sind die Werte für den Spalte mit $d_1 = 0.43$ mm, x_2 für den Spalte mit $d_2 = 0.23$ mm und x_3 für den Spalt mit $d_3 = 0.13$ mm. Berechnung des Mittelwertes und der Standardabweichung.

Messung	x_1 / mm	x_2 / mm	x_3 / mm
1	0.325	0.695	1.740
2	0.315	0.722	1.865
3	0.322	0.715	1.900
4	0.318	0.725	1.655
\bar{x}_i	0.320	0.714	1.790
σ_i	0.004	0.014	0.113

6 Auswertung

6.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster

Gleichung (3) berechnet den Kontrast. Zusätzlich betrachten wir den Betrag des Kontrasts, da wir in der Messreihe eine Nullstelle des Kontrasts haben. Mit Fehlerrechnung ergibt sich

$$K = \left| \frac{I_{0,\max} - I_{1,\min}}{I_{0,\max} + I_{1,\min}} \right| \pm \left| \frac{2 \cdot I_{1,\min} \cdot \Delta I_{0,\max}}{(I_{0,\max} + I_{1,\min})^2} + \frac{2 \cdot I_{0,\max} \cdot \Delta I_{1,\min}}{(I_{0,\max} + I_{1,\min})^2} \right|$$

Tabelle 4: Berechnung des Kontrasts, Beugungsextremum 0. Ordnung I_0 , mittleres Beugungsextremum 1. Ordnung I_1 .

$2 \cdot w / \text{mm}$	I_0	I_1	K
0.23	114.891	7.358	0.880
0.48	114.552	25.039	0.641
0.73	128.655	69.444	0.299
0.97	135.926	112.355	0.095
1.23	94.551	126.297	0.144
1.45	95.355	121.202	0.119

Man kann nun den gemessenen Kontrast mit dem theoretischen Kontrast vergleichen. Dazu zeichnet die Kurve des theoretischen Kontrasts gemäß Gleichung (3).

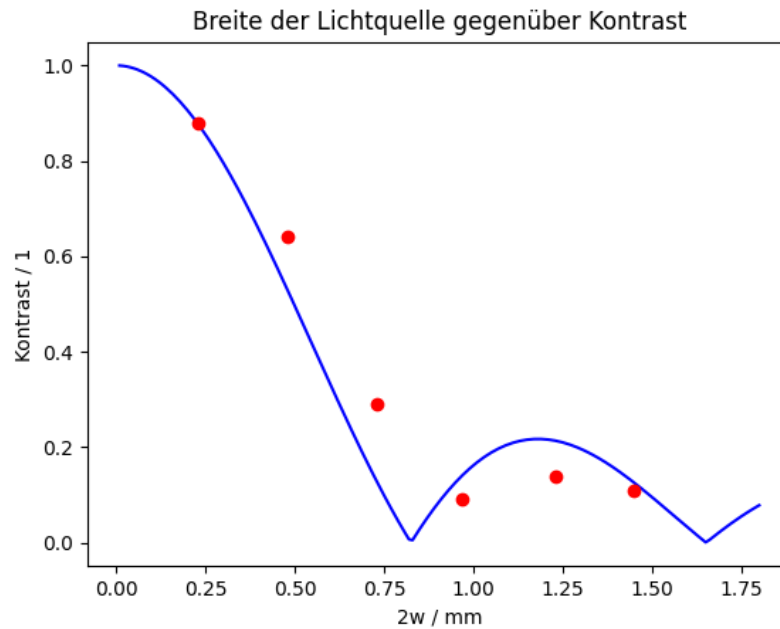


Abbildung 20: Kontrast abhängig von der Größe der Lichtquelle.

6.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster

Da das Beugungsbild beim Interferenzmuster ohne Filter nach außen hin unscharf wird, wird auch der Kontrast geringer. Das sieht man in Grafik 21. Zusätzlich sieht man, dass der Bandpass-Filter am wenigsten Frequenz durchlässt. Hier ist der Kontrast auch weiter außen noch größer. Grafisch erkennt man es, dass

das Interferenzmuster beim Bandpass-Filter nach außen hin am wenigsten verschwommen ist.

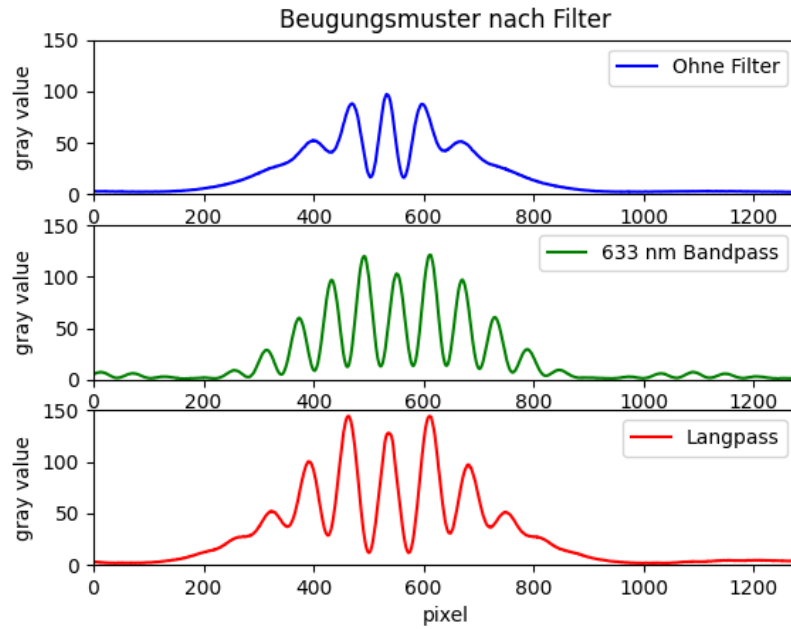


Abbildung 21: Darstellung der Intensitäten der Beugungsmaxima abhängig vom Filter.

6.3 Teil 3: Bestimmung der Dicke der Polyacrylat-Schicht anhand des Interferenzmusters

Es werden die beiden 0. Ordnungen verglichen. Ohne Polyacrylatschicht ist das gesuchte Maximum bei Pixel 534, während es ohne Polyacrylatschicht bei 467 ist. Als Unsicherheit werden 2 Pixel angenommen, da die unmittelbar benachbarten Grauwerte relativ ähnlich sind. Als Verschiebung ergibt sich

$$\delta = (67 \pm 4) \text{ pixel}$$

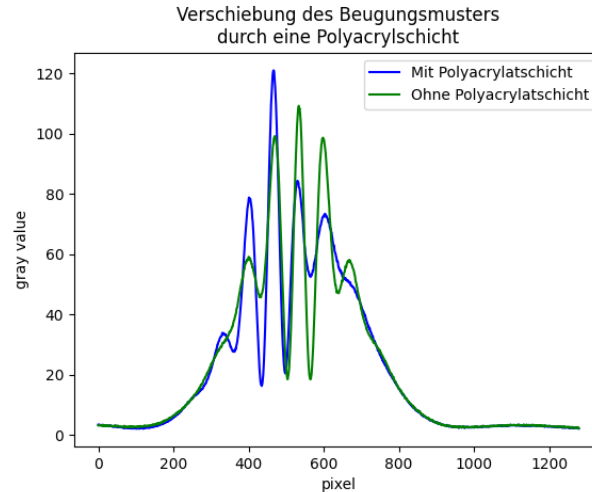


Abbildung 22: Darstellung des Beugungsmusters mit und ohne Verschiebung

6.4 Teil 4: Maximale Größe des Lichts für räumliche Kohärenz

7 Diskussion

7.1 Teil 1: Zusammenhang zwischen Größe der Lichtquelle und Interferenzmuster

Man sieht deutlich, dass der Kontrast zuerst mit Größe des Spaltes abnimmt. Nach einem Minimum steigt der Kontrast wieder. Der Kontrast selbst ist immer positiv, ändert sich aber mit der Größe der Lichtquelle. Der grafische Zusammenhang wird in Grafik 20 veranschaulicht.

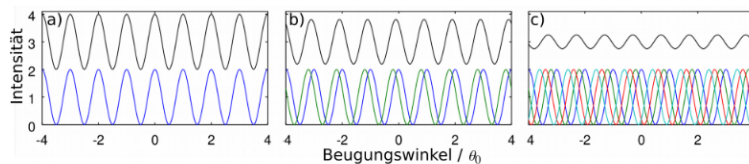


Abbildung 23: Theoretischer Hintergrund zu diesem Versuch: mehrere Wellen gleicher Wellenlänge (und unterschiedlicher Phasenverschiebung) überlagert lassen den Kontrast gleichmäßig abnehmen. Quelle: [6].

7.2 Teil 2: Zusammenhang zwischen spektraler Breite und Interferenzmuster

Dieser Versuch zeigt, dass bei verschiedenen Frequenzen der Kontrast des Beugungsbildes nach außen hin abnimmt, während bei einheitlicher Wellenlänge der Kontrast nach außen hin erhalten bleibt. Dies deckt sich mit der Theorie aus [6].

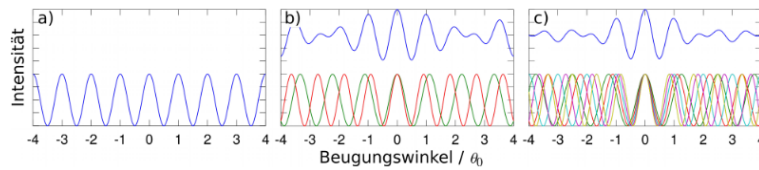


Abbildung 24: Theoretischer Hintergrund zu diesem Versuch: mehrere Wellen unterschiedlicher Wellenlänge überlagert lassen den Kontrast nach außen hin abnehmen. Quelle: [6].

8 Zusammenfassung

9 Literaturverzeichnis

- [1] <https://www.youtube.com/watch?v=oFJCEGcwUiQ>, 07.11.2020, 00:15 Uhr
- [2] <https://www.spektrum.de/lexikon/physik/abbesche-theorie/13>, 07.11.2020, 00:17 Uhr
- [3] https://www.univie.ac.at/mikroskopie/1_grundlagen/optik/opt_instrumente/7_abbe.htm, 07.11.2020, 00:24 Uhr
- [4] <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Rayleigh-Kriterium>, 07.11.2020, 00:26 Uhr
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=PZaUY45ce8k>, 07.11.2020, 00:27 Uhr
- [6] Unterlagen aus Moodle, H. Ditlbacher, bereitgestellt von der KF Universität Graz