

Versuch 233/333 Fourieroptik

Frauendorfer Andreas

29.05.2022

1 Einleitung

1.1 Ziel des Versuches

In diesem Versuch untersuchen wir mit speziellen optischen Anordnungen Beugungsfiguren von Einzel- und Doppelspalt, insbesondere analysieren wir das Verhalten der Spaltbilder bei gezielter Manipulation in der Fourierebene.

2 Theorie

2.0.1 Fraunhofer Beugung

Fallen Lichtstrahlen parallel auf einen Spalt, dessen Länge groß gegen über der Breit ist (sodass die Beugung nur in y-Richtung geschieht), dann spricht man von der Fraunhofer Beugung. Verwendet man monochromatisches Licht, lässt sich die Amplitude, mit der jedes Teilchen direkt im Spalt angeregt wird so beschreiben:

$$E(\text{Spalt}) = E(y) = E_0 e^{i\omega t} \quad (1)$$

Alle Lichtstrahlen, die in demselben Winkel α in der Betrachtungsebene aufkommen würden, werden durch eine Linse auf einen Punkt projiziert und interferieren somit. Die Intensitätsverteilung ist damit:

$$E_\infty(\alpha) = \int_{-\frac{d}{2}}^{+\frac{d}{2}} E_0 e^{i(\omega t - kl)} dy \quad (2)$$

Wobei $k = 2\pi/\lambda$ der Betrag des Wellenvektors ist. Dabei steht l für die Weglänge

$$l = R + y \sin\alpha \quad (3)$$

Diese wird in das erwähnte Integral eingesetzt. Ausführung des Integrals ergibt:

$$E_{\infty}(\alpha) = E_0 e^{i(\omega t - kR)} \frac{e^{-iks \sin \alpha \, d/2} - e^{iks \sin \alpha \, d/2}}{-ik \sin \alpha} \quad (4)$$

$$= E_0 e^{i(\omega t - kR)} \frac{\sin(\pi d \sin \alpha / \lambda)}{\pi \sin \alpha / \lambda} \quad (5)$$

$$= E_0 e^{i(\omega t - kR)} \frac{\sin x}{x} d \quad (6)$$

mit $x := \frac{d}{\lambda} \pi \sin \alpha$. Dabei haben wir $e^{i\delta} = \cos \delta \pm i \sin \delta$ benutzt. Die Intensität ist proportional zu dem Quadrat der Amplitude.

$$I_{\infty} \propto \frac{\sin^2(x)}{x^2} d^2 \propto I_0 \frac{\sin^2(x)}{x^2} \quad (7)$$

mit $I_0 \propto d^2$ als Ausgangsintensität.

2.0.2 Fourierzerlegung der Rechecksfunktion

Betrachten wir eine Spaltfunktion mit Spaltbreite d :

$$f(x) = \begin{cases} 1, & |y| \leq d/2 \\ 0, & |y| > d/2 \end{cases} \quad (8)$$

Die Fouriertransformierte davon ist:

$$F(k_y) = d \operatorname{sinc}\left(k_y \frac{d}{2}\right) \quad (9)$$

mit diesen Nullstellen:

$$k_{y,n} = \frac{2\pi n}{d} \quad (10)$$

Das sind die Minima der Intensitätsverteilung.

Aus Symmetriegründen ergibt sich die Rücktransformation zu:

$$f(y) = \frac{d}{\pi} \int_0^{k_{y,n}} dk_y \operatorname{sinc}\left(\frac{k_y d}{2}\right) \cos(k_y y) \quad (11)$$

Der Doppelspalt wird dabei angenähert durch eine Überlagerung zweier Einzelspalte mit einem Mittlere Spaltabstand g . Die Intensität des Doppelspalts ist dann:

$$I = 4d^2 \cos^2\left(k_y \frac{g}{2}\right) \operatorname{sinc}^2\left(k_y \frac{g}{2}\right) \quad (12)$$

2.1 Versuchsaufbau

- Singlemode Glasfaser-gekoppelter Diodenlaser mit regelbarer Stromversorgung und Justieroptik für einen Parallelstrahl
- Ein Satz Beugungsobjekte: Spalte, Doppelspalt, Gitter, Kreuzgitter, Spalt mit gaussförmigem Transmissionsprofil
- Verschiedene sphärische und Zylinder-Linsen
- Strahlteiler

Abbildung 2: Versuchsaufbau: Zeilenkamera mit Zylinderlinse.

- Graufilter
- Spiegel
- Verschiedene Fest-Reiter
- Feinjustierbare Verschiebereiter
- Symmetrisch öffnender Analyserspalt
- Verschiedene schmale Metallstreifen als Modenblende
- SCCD-Zeilenkamera mit PC und Monitor zur Aufnahme von Beugungsbildern und "Objektbildern", sowie Drucker

Messprotokoll Fourieroptik

Singlemode Glasfaser-gekoppelter Diodenlaser mit regelbarer Stromversorgung und Justieroptik für einen Parallelstrahl

- Ein Satz Beugungsobjekte: Spalte, Doppelspalt, Gitter, Kreuzgitter, Spalt mit gaußförmigem Transmissionsprofil
- Verschiedene sphärische und Zylinder-Linsen
- Strahlteiler
- Graufilter
- Spiegel
- Verschiedene Fest-Reiter
- Feinjustierbare Verschiebereiter
- Symmetrisch öffnender Analyserspalt
- Verschiedene schmale Metallstreifen als Modenblende
- SCCD-Zeilenkamera mit PC und Monitor zur Aufnahme von Beugungsbildern und "Objektbildern", sowie Drucker

Untergrundmessung $I_1 = 21 \text{ } \mu\text{m}^2$

Untergrundmessung $I_2 = 20 \text{ } \mu\text{m}^2$

Einzelspalt

1. Maxima:

Ordnung: einzelomax = np.array([-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3])

Lage in px: lagemax = np.array([922, 1016, 1120, 1272, 1417, 1530, 1633]) Intensität in px: $I_1 = \text{np.array}([28, 37, 85, 950, 85, 37, 27])$

lagefehler: 5 px Intensitätsfehler: 2 px

2. Minima:
Ordnung: einzelomin = np.array([-3, -2, -1, 1, 2, 3])

Lage in px: lagemin = np.array([961, 1063, 1164, 1378, 1479, 1580]) Intensität in px: $I_1 = \text{np.array}([24, 25, 27, 32, 27, 27])$

3. Eichung der Abszisse

ganze Spaltbreite in mm: sp = np.array([1, 2, 3, 4])

Fehler Spaltbreite: 0.01 mm

links Position 1 in px: p1px = np.array([913, 712, 499, 293])

rechts Position 2 in px: p2px = np.array([1585, 1690, 1780, 1798])

Fehler px: 10 px

Doppelspalt: B

1. Maxima:

Ordnung: doppelomax = np.array([-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5])

Ordnung: doppelomin = np.array([-5, -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4, 5])

lage in px: lagemax = np.array([1045, 1098, 1131, 1186, 1219, 1261, 1300, 1336, 1391, 1424, 1477])

Intensität in px: $I_1 = \text{np.array}([29, 41, 72, 72, 618, 900, 624, 75, 69, 41, 32])$

2. Minima:

Lage in px: lagemin = np.array([1076, 1113, 1175, 1195, 1239, 1281, 1325, 1365, 1409, 1453])

Intensität in px: = np.array([24, 24, 30, 44, 38, 33, 35, 26, 23, 23])

3. Eichung der Abszisse

ganze Spaltbreite in mm: sp = np.array([2, 3, 4, 5]) #ist schon mal 2 genommen

Fehler Spaltbreite: 0.01 mm

links Position 1 in px: p1px = np.array([961, 672, 511, 338])

rechts Position 2 in px: p2px = np.array([2085, 2239, 2408, 2124])

Fehler px: 10 px

3. Das Objektbild als Fouriersynthese

Untergrundmessung U_3 =

1 Maximum: Lage: 1093 l_{fmax0} = 396 #nicht sicher

2 Maxima fourieromax = np.array([-1, 1])

Lage -1: 1058 Intensität 1 : 590

Lage 1: 1126 Intensität 2: 560

Minimum 0: Lage: 1091 Intensität: 471

3 Maxima: Lage -1: 1141 Intensität -1: 541

Lage 0 : 1095 Intensität 0: 523

Lage 1: 1038 Intensität 1: 590

Minima 2: Lage -1: 1069 Intensität 1: 470

Lage 1: 1117 Intensität 1: 480

Abstände zwischen Maxima: numabs = np.array([]) #15 Maxima absmax = np.array([14, 13, 11, 5, 8, 5, 6, 6, 3, 7, 6, 10, 6, 15, 12])

Fehler: 5 px

Gesamtabstand: 221 px Bildweite: 8.5 cm

4. Fouriersynthese Doppelspalt

Breite der Einzelspalte:

links: 171 rechts: 178 Abstand dazwischen: 398

Brennweite Linse f: 80 mm Bildweite b: 8.5 cm Gegenstandsweite: 70cm

Rechtecksfunktionen werden zur Gaußkurve bei Spaltöffnung: 0.15 mm Rechteckfunktionen werden zu plateauartiger Funktion bei Spaltöffnung: 0.0

Tutor: Robert Gilke

Abbildung 1: Versuchsaufbau

3 Auswertung

3.1 Quantitative Beobachtungen am Einzelspalt

3.1.1 Eichung der Abszisse

Um eine Messgrundlage für den Versuch zu legen Eichen wir die Abstände der Maxima, in diesem Fall beim Doppelspalt:

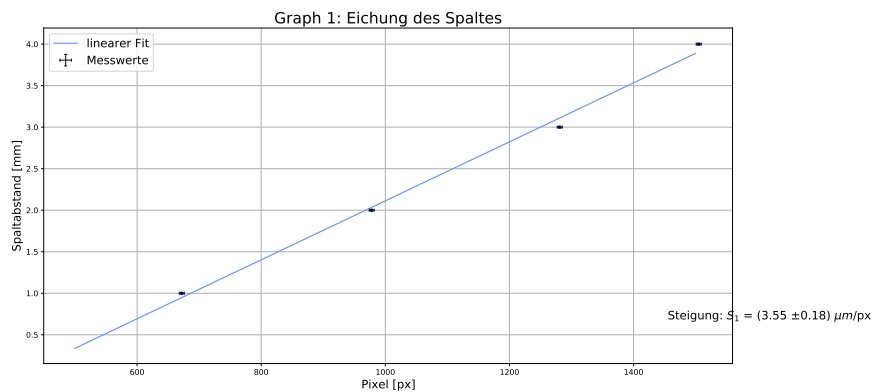


Diagramm 1: Eichung der Abszisse

Der Umrechnungsfaktor ist dabei die Steigung der Geraden: $S_{2,eich} = (3,55 \pm 0,18) \mu m$

3.1.2 Beugungsstrukturen und Spaltbreite

Lage der Beugungsmaxima

Wir tragen die Lage der gemessenen Minima gegen ihre Beugungsordnung auf und bestimmen anhand der daraus entstehenden Geraden die Beugungsordnungen der gemessenen Maxima. Die Berechnung wurde mit Python durchgeführt.

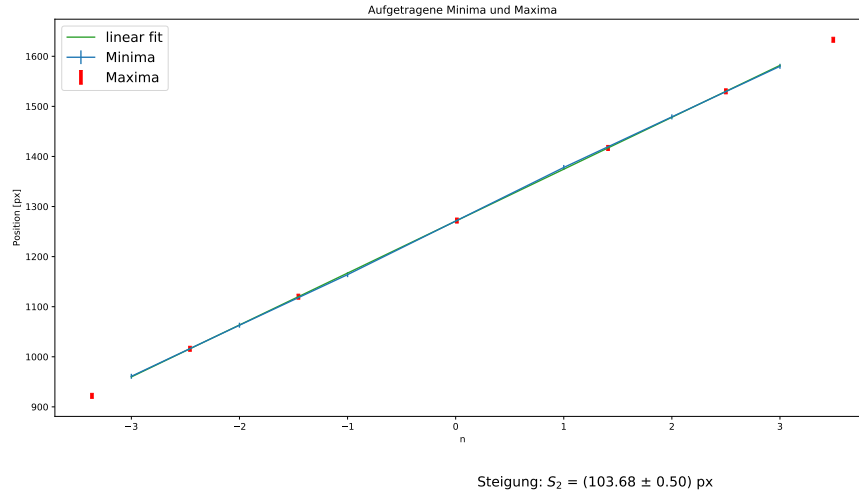


Diagramm 2: Lage der Minima und Maxima gegen die Beugungsordnung

Die Minima (blau) liegen zwar zwischen den Maxima (rot), jedoch ergeben sich anschaulich Abweichungen. Normalerweise sollten die Maxima genau in der Mitte der Minima liegen, was sich zumindest in 75% geplotteten Fälle tun. Erstaunlich ist, dass die Werte der Minima sehr genau auf einer Geraden liegen, weshalb eine Abweichung der Maxima senkrecht zur Gerade vernachlässigt werden kann. Der Fehler wird deshalb nur von n abhängig gemacht und zu ca. $0,2n$ abgeschätzt.

Bestimmung der Spaltbreite

Die Spaltbreite d lässt sich wie folgt berechnen:

$$d = \frac{n\lambda}{\sin(\alpha)} = \frac{n\lambda f}{x_{min}} = \frac{\lambda f}{S_{2,eich}} \quad (13)$$

Mit einer Brennweite $f = 80 \pm 1mm$, der Wellenlänge des grünen Lasers $\lambda = 635nm$ und $S_{2,eich} = (3,55 \pm 0,18)\mu m$ ergibt sich für die Spaltbreite d :

$$d = (140 \pm 2)\mu m \quad (14)$$

wobei der Fehler anhand Gauß'scher Fehlerfortpflanzung wie folgt bestimmt wurde:

$$\Delta d = d \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta f}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta S_{2,eich}}{S_{2,eich}}\right)^2} \quad (15)$$

3.1.3 Intensitätsverhältnisse

Wir ziehen die Untergrundmessung von unseren gemessenen Intensitäten ab und bestimmen den Quotienten:

$$V = \left(\frac{I_0}{I_n} \right) \quad (16)$$

Der Fehler setzt sich dabei aus dem Fehler der Untergrundmessung und dem Fehler beim Ablesen der Intensität zusammen:

$$\Delta V = V \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta I_{0,korr}}{I_{0,korr}} \right)^2 + \left(\frac{\Delta I_0}{I_0} \right)^2} \quad (17)$$

Daraus ergeben sich folgende Werte:

	gemessene
Ordnung	Intensitätsverhältnisse
0	$1 \pm 0,004$
1	$0,0688 \pm 0,003$
2	$0,0172 \pm 0,003$
3	$0,0064 \pm 0,003$

Tabelle 1: Intensitätsverhältnisse

3.2 Beugungsstruktur des Doppelspalts

3.2.1 Vergleich der Beugungsstruktur des Doppelspalts und Einzelspalts

Wir übernehmen aus dem 4. Aufgabenteil den Spaltabstand $d = (398 \pm 5)$ px und berechnen für die Spaltbreite b den Mittelwert des rechten und linken Spalts:

$$b = \frac{(171 \pm 5) \text{ px} + (178 \pm 5) \text{ px}}{2} = (174,5 \pm 4) \text{ px} \quad (18)$$

Der Fehler berechnet sich nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung. Für das Verhältnis ν von Spaltabstand und Spaltbreite gilt dann:

$$\nu = \frac{d}{b} = 2,28 \pm 0,08 \quad (19)$$

Auch hier ergibt sich der Fehler anhand der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung wie folgt:

$$\Delta\nu = \nu \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b}{b}\right)^2} \quad (20)$$

Anhand dieses Werts lässt sich nun ein Bild der zu erwartenden Beugungsstruktur berechnen.

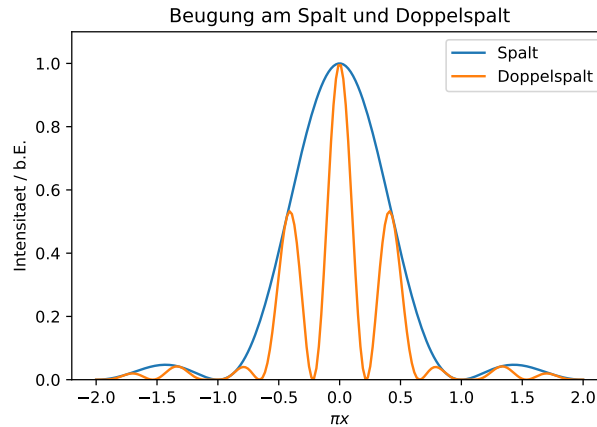


Diagramm 3: Beugung am Einzelspalt und Doppelspalt

Die Beugungsfunktion des Einzelspalts stellt eine Einhüllende des Doppelspalts dar. Die Nullstellen der Spaltfunktion bei $\pm n\pi$ sind auch Minima der der Doppelspaltfunktion.

Die Intensität der Spaltfunktion kann beschrieben werden als:

$$I(x) = \frac{\sin(x)^2}{x^2} \quad (21)$$

während für die Doppelspaltfunktion gilt:

$$I(x) = \frac{\sin(x)^2}{x^2} \cos(vx)^2 \quad (22)$$

Die Doppelspaltfunktion hat also nicht nur die Nullstellen der Spaltfunktion bei $x = \pm n\pi$, sondern auch bei $x = \frac{\pi}{2v} \pm \frac{n\pi}{v}$. Deshalb entspricht das 1. Minimum der Spaltfunktion dem 3. Minimum der Doppelspaltfunktion.

3.2.2 Intensitäten des Doppelspalts

Wir führen analog die Berechnungen zu 3.1.3 durch und erhalten für

$$I_{Neben,-1}^{DS} = 1,472 \pm 0,008 \text{ und für}$$

$$I_{Neben,+1}^{DS} = 1,457 \pm 0,008.$$

3.3 Fouriersynthese am Einzelspalt

3.3.1 Berechnung der Spaltweite

Wir berechnen erneut die Spaltweite des Einzelspalts d_2 , allerdings aus Brennweite und Bildweite der Linse. Dafür benötigen wir die Linsengleichung:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g} \quad (23)$$

und die Beziehung:

$$\frac{b}{g} = \frac{B}{G} \quad (24)$$

Stellt man diese beiden Gleichungen um, erhält man für die Spaltweite:

$$d = \frac{B}{\frac{b}{f} - 1} = 268 \pm 22 \mu m \quad (25)$$

mit dem Fehler:

$$\Delta d = \sqrt{\left(\frac{\Delta B}{\frac{b}{f} - 1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta b B f}{(f - b)^2}\right)^2} = 22 \mu m \quad (26)$$

3.3.2 Vergleich theoretischer und experimenteller Objektbilder

Wir vergleichen die ersten drei spezifischen Einstellungen des Analysierpalts der theoretischen Objektbilder mit den experimentellen unter folgenden Aspekten:

1. Zahl und Lage der Maxima
2. Intensitäten der Maxima und Minima

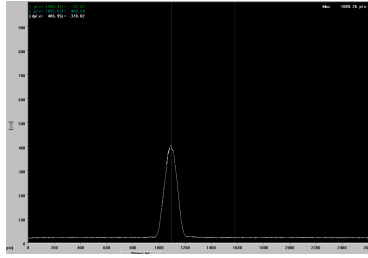


Abbildung 2: 0. Ordnung

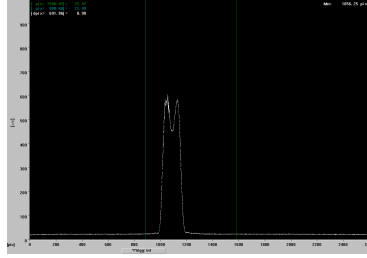


Abbildung 3: 1. Ordnung

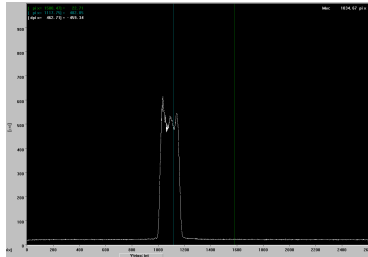


Abbildung 4: 2. Ordnung

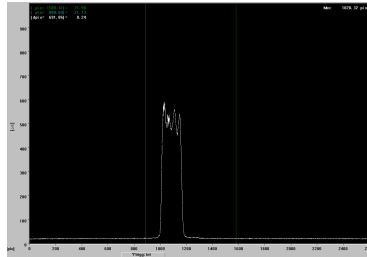


Abbildung 5: 3. Ordnung

Experimentelle Objektbilder

Mit jeder Beugungsordnung muss theoretisch ein Maximum mehr vorhanden sein, was sich in den experimentellen Objektbildern widerspiegelt.

Wir müssen für Die Lage der "Wiggels" unsere Maximalagen von px in y/d umrechnen:

$$Lage[y/d] = \frac{|Lage[px] - 1093px|}{221px} \quad (27)$$

(211 ± 5) px ist B, die Breite der Spaltfunktion, $M = (1094 \pm 5)$ px ist der Mittelwert der Lage der Extrema der 0. Ordnung.

Der Fehler berechnet sich über Gauß'sche Fehlerfortpflanzung zu:

$$\Delta Lage[y/d] = \sqrt{\left(\frac{|Lage[px] - 1094px| \Delta B}{B^2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta Lage[px]}{B}\right)^2 + \left(\frac{\Delta M}{B}\right)^2} \quad (28)$$

Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zu sehen:

Ordnung	Extremwert	$Lage_{messung}$	$Lage_{theoretisch}$	σ -Abweichung
0.	0. Max	$0,005 \pm 0,01$	0	0,5
1.	-1. Max	$-0,213 \pm 0,004$	-0,25	9,25
	0. Min	$0,005 \pm 0,01$	0	0,5
	1. Max	$0,253 \pm 0,005$	0,25	0,6

Tabelle 3: Vergleich der Lage der Minima/Maxima zur Lage der 0. Ordnung

Mehr Ordnungen waren leider aufgrund der schlechten Bildqualität nach Absprache nicht möglich aufzulösen. Die hohe Abweichung beim Maximum -1 ist auf die Asymmetrie unseres Bildes zurückzuführen und die gezackte Kurve, die keine genaue Maximumbestimmung zulässt.

3.3.3 Vergleich der theoretischen mit experimentellen Intensitäten

Die Intensität der 0. Ordnung ergibt sich zu:

$$I_0 = \tilde{I}_0 - u \quad (29)$$

wobei u die Untergrundintensität bezeichnet. Der Fehler berechnet sich zu:

$$\Delta I_0 = \sqrt{(\Delta \tilde{I}_0)^2 + (\Delta u)^2} \quad (30)$$

Die Intensitätsverhältnisse V werden dann wie folgt berechnet, wobei n die Ordnung beschreibt:

$$V = \left(\frac{I_0}{I_n} \right) \quad (31)$$

mit dem Fehler:

$$\Delta V = V \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta I_0}{I_0}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I_n}{I_n}\right)^2} \quad (32)$$

Auch hier sind die Berechnungen im Pythonskript ersichtlich und die Ergebnisse sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Ordnung	Extremwert	Intensität _{messung}	Intensität _{theoretisch}	σ -Abweichung
0.	0. Max	$1,169 \pm 0,054$	1	0,4
1.	-1. Max	$0,771 \pm 0,036$	0,91	3,5
	0. Min	$0,974 \pm 0,045$	0,59	8,6
	1. Max	$0,814 \pm 0,038$	0,91	2,6
2.	-1. Max	$0,771 \pm 0,036$	0,89	3,4
	-1. Min	$0,977 \pm 0,045$	0,62	8,0
	0. Max	$0,874 \pm 0,04$	0,82	1,35
	1. Min	$0,955 \pm 0,044$	0,62	7,7
	1. Max	$0,843 \pm 0,039$	0,89	1,2

Tabelle 4: Vergleich der Intensitäten zur gemittelten 0. Ordnung

Der experimentelle Wert für das Maximum 0. Ordnung steigt, je mehr Ordnungen zugelassen werden. Das liegt daran, dass auch die Nebenfrequenzen zum Hauptmaximum beitragen, wenn sie zugeschaltet werden. Für die Verhältnisbestimmung wurde ein Mittelwert der beiden Werte für das Hauptmaximum gewählt, weshalb zum Beispiel das erste Verhältnis in der Tabelle des Hauptmaximums mit der durchschnittlichen Intensität des Hauptmaximums nicht intuitiverweise 1 ist, sondern größer als 1.

Die Bestimmung der Intensität war ein sehr ungenau, weshalb dafür ein sehr großer Fehler angenommen werden musste. Trotzdem kann aufgrund der großen Sigma-Abweichungen in systematischer Fehler sehr gut möglich sein.

3.4 Fouriersynthese Doppelspalt

3.4.1 Bestimmung der Spaltbreite und Spaltabstand

Da wir interessanterweise eine unterschiedliche Spaltgröße für die beiden Spalte berechnet haben, rechnen wir im folgenden mit den Mittelwert B:

$$B = \frac{(171 \pm 5) \text{ px} + (178 \pm 5) \text{ px}}{2} = (174,5 \pm 3,5) \text{ px} \quad (33)$$

Analog zum Einzelspalt berechnet sich die Spaltbreite d zu:

$$d = (0,253 \pm 0,007) \text{ mm} \quad (34)$$

Der Spaltmittenabstand g berechnet sich analog zur Spaltbreite zu:

$$g = (0,578 \pm 0,008) \text{ mm} \quad (35)$$

3.4.2 Berechnung der modifizierten Spaltbilder

theoretische Werte

Wir betrachten im folgenden zwei Spezialfälle, zum einen den, bei dem die obere Integrationsgrenze dem 1. Spaltminimum entspricht und zum anderen den Grenzfall an dem die Doppelspaltstruktur nicht mehr erkennbar ist. Wir nehmen hierfür die Gaußglocke als angestrebte Form des Bildes.

Es gilt für die obere Integrationsgrenze k_y :

$$k_y = \frac{2n\pi}{d} \quad (36)$$

mit dem Fehler:

$$\Delta k_y = k_y \sqrt{\left(\frac{\Delta d}{d}\right)^2 + \left(\frac{\Delta n}{n}\right)^2} \quad (37)$$

Im ersten Fall ist $n = 1$, somit folgt:

$$k_{y,theo}^a = \frac{2 \cdot 1 \cdot \pi}{0,253 \text{ mm}} = (24,8 \pm 0,7) \frac{1}{\text{mm}} \quad (38)$$

Für den zweiten Fall haben wir n durch variieren zu $n = 0,16 \pm 0,003$ bestimmt. Somit erhalten wir als theoretischen Wert:

$$k_{y,theo}^b = \frac{2 \cdot 0,16 \cdot \pi}{0,253 \text{ mm}} = (3,97 \pm 0,20) \frac{1}{\text{mm}} \quad (39)$$

experimentelle Werte

Die obere Integrationsgrenze k_y lässt sich für beide Fälle auch bestimmen über:

$$k_y = \frac{2p\pi}{f\lambda} \quad (40)$$

mit dem Fehler:

$$\Delta k_y = k_y \frac{\Delta p}{p} \quad (41)$$

wobei p die Spaltöffnung bezeichnet.

Da wir die Spaltbreite für Fall 1 vergessen hatten aufzuschreiben, wird als gute Übung versucht, einen der Theorie entsprechenden Experimentelle Wert anzunehmen.

$$p_1 = (0,22 \pm 0,01)mm \quad (42)$$

Aus dem Messprotokoll können die Werte für Fall 2 entnommen werden:

$$p_2 = (0,15 \pm 0,01)mm \quad (43)$$

Damit ergibt sich:

$$k_{y,ex}^a = \frac{0,44mm * \pi}{80mm * 635 * 10^{-6}mm} = (27,2 \pm 1,2) \frac{1}{mm} \quad (44)$$

$$k_{y,ex}^b = \frac{0,3mm * \pi}{80mm * 635 * 10^{-6}mm} = 18,55 \pm 0,7 \frac{1}{mm} \quad (45)$$

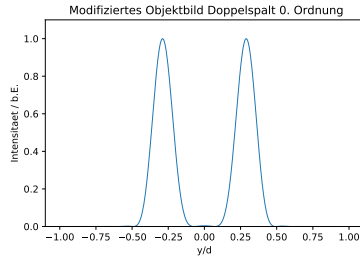


Abbildung 6: theo. Objektbild
0. Ordnung

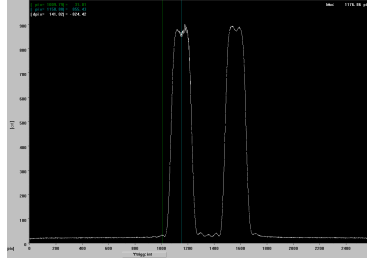


Abbildung 7: exp. Objektbild 0.
Ordnung

Auch hier stimmt die Anzahl der Maxima überein.

Um das theoretische Bild für den fast geschlossenen Spalt zu finden variieren wir die zugelassene Ordnung n kleiner 1, bis wir eine Kurve finden, die mit der folgenden bis auf Normierung vergleichbar ist.

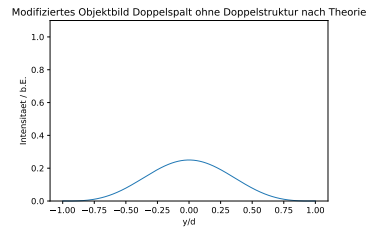


Abbildung 8: theo. Objektbild
Plateau

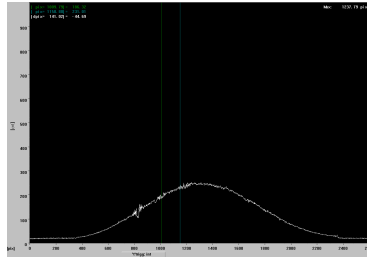


Abbildung 9: exp. Objektbild
Plateau

Im Anschluss vergleichen wir die experimentell bestimmten Werte mit den theoretischen in folgender Tabelle.

Fall 1: experimenteller Wert [1/mm]	Fall 1: theoretischer Wert [1/mm]	σ -Abweichung
$27,2 \pm 1,2$	$24,8 \pm 0,7$	$1,8\sigma$
Fall 2: experimenteller Wert [1/mm]	Fall 2: theoretischer Wert [1/mm]	σ -Abweichung
$18,55 \pm 0,7$	$3,97 \pm 0,20$	20σ

Tabelle 5: Vergleich der Ergebnisse

Die extreme Abweichung bei der Bestimmung der Integrationsgrenze für den Gaußfit kann davon kommen, dass die Gaußkurve kein gutes Kriterium ist, um die Integrationsgrenze zu bestimmen. Denn für den menschlichen Betrachter sehen viele Kurven Gaußartig aus, da die variable Standardabweichung viele verschiedene Breiten zulässt.

Man hätte eventuell eine Plateauartige Funktion als Auflösungskriterium verwendet sollen.

4 Diskussion

In diesem Versuch haben wir Beugungsstrukturen am Einzel und am Doppelspalt untersucht und mit theoretischen Werten verglichen, falls Kenntnis dieser Werte vorhanden war. Außerdem haben wir das Konzept der Fouriersynthese genauer kennengelernt.

Zuerst nahmen wir eine Eichung vor, wobei sich ein Umrechnungsfaktor von

$$S_{2,eich} = (3,55 \pm 0,18)\mu m \quad (46)$$

ergab. Wir mussten die Eichung mehrmals durchführen, da es experimentelle Probleme bei der Durchführung gab. Letztendlich ist der Eichfaktor passabel. Dann haben wir die Lage der Minima und Maxima verglichen (siehe Diagramm 2). Vor allem das Konzept der Zuordnung der Maxima zur Fitgerade der Minima erschien uns dabei lehrreich, auch wenn die Anleitung dazu dürftig ausfiel. Anschließend berechneten wir die Intensitätsverhältnisse, wobei das Maximum 0. Ordnung im Zähler gewählt wurde (siehe Tabelle 2). Man hätte den Quotienten auch invertieren können.

Dann wurden die Intensitäten des Doppelspalts berechnet, wobei wir als wichtigste Ergebnisse für die Intensitäten der ersten Nebenmaxima erhielten:

$$I_{Neben,-1}^{DS} = 1,472 \pm 0,008 \quad (47)$$

$$I_{Neben,+1}^{DS} = 1,457 \pm 0,008. \quad (48)$$

Dann wandten wir uns der Fouriersynthese am Einzelspalt zu.

Die Spaltweite hier wurde optisch zu $d = 268 \pm 22\mu m$ bestimmt. Die Lage der Nebenmaxima konnte nur auf einer Seite gut bestimmt werden, dies kann an eventueller einseitiger Verschmutzung der Kamera oder an Lichtverschmutzung liegen.

Dann wurde wiederum die Intensitäten der Nebenmaxima und Minima mit dem Maximum 0. Ordnung ins Verhältnis gesetzt.

Die theoretischen Werte dafür ergaben sich aus einer Reihe an Plots mit der Funktion quad (siehe Python Skript). Daraus konnten entsprechende Intensitätswerte für die Nebenextrema bestimmt werden. (siehe Tabelle 4). Das Hauptmaximum 0. Ordnung ist dabei sehr klein ausgefallen, wahrscheinlich weil wir für eine bessere Auflösung die Eingangsleistung reduzierten oder weil nicht genügend Licht durch den Analyserspalt gelassen wurde. Insgesamt waren vor allem die Abweichung der gemessenen Minima-Werte signifikant unterschiedlich zu den theoretischen Werten. Da die Wiggles sehr steil waren, konnte das Minimum auch sehr schlecht mit dem Cursor bestimmt werden. Falls wir die Eingangsintensität des Maximums 0. Ordnung für unser Verhältnis runtergedreht haben, kann auch das eine Fehlerquelle darstellen.

Der Doppelspalt mit zwei unterschiedlich großen Einzelspalten wurde benutzt um die verschiedenen Fourierfrequenzen auszutesten und die Detailgenauigkeit des Bildes zu studieren (siehe Tabelle 5) Fall 1, bei dem das 1. Spaltminimum als Integrationsgrenze (Öffnungsweite des Analyserspals) festgesetzt wurde,

gilt theoretisch:

$$k_{y,theo}^a = (24,8 \pm 0,7) \frac{1}{mm} \quad (49)$$

Experimentell wurde ein Wert erfunden, der eine passable sigma-Abweichung erzeugen wird, da wir vergessen hatten, die entsprechende Spaltbreite zu notieren. Dies kann als Übung gesehen werden, um ein Gefühl für physikalische Größen zu bekommen. Damit ergibt sich:

$$k_{y,ex}^a = (27,2 \pm 1,2) \frac{1}{mm} \quad (50)$$

Für den zweiten Fall, war die Bedingung an die projizierte Funktion gestellt. Wir wählten verhängnisvollerweise die Gaußglocke als Form des Signals, an dem der Doppelspalt nicht mehr auflösbar ist. Wir erhielten einen theoretischen Wert durch ausprobieren in Python von:

$$k_{y,theo}^b = (3,97 \pm 0,20) \frac{1}{mm} \quad (51)$$

und beobachteten einen Wert von:

$$k_{y,ex}^b = 18,55 \pm 0,7 \frac{1}{mm} \quad (52)$$

Diese Werte für den Zweiten Fall liegen äußerst signifikant auseinander. Erklärungsversuch hierfür ist, das es schwierig ist, zu erkennen, ab wann eine Glockenkurve wirklich die Form einer Gaußkurve annimmt oder das der Fehler für die Analyserspaltbreite bei Weitem zu klein gewählt wurde.

Insgesamt können wir damit zufrieden sein, so ein mathematisch mächtiges Konzept wie die Fourieranalyse in einer realen Situation gesehen zu haben, zumal viele Forschungsgebiete sich mit optischen Systemen beschäftigen.

Messprotokoll Fourieroptik

Singlemode Glasfaser-gekoppelter Diodenlaser mit regelbarer Stromversorgung und Justieroptik für einen Parallelstrahl

- Ein Satz Beugungsobjekte: Spalte, Doppelspalt, Gitter, Kreuzgitter, Spalt mit gaussförmigem Transmissionsprofil
- Verschiedene sphärische und Zylinder-Linsen
- Strahlteiler
- Graufilter
- Spiegel
- Verschiedene Fest-Reiter
- Feinjustierbare Verschiebereiter
- Symmetrisch öffnender Analyserspalt
- Verschiedene schmale Metallstreifen als Modenblende
- SCCD-Zeilenkamera mit PC und Monitor zur Aufnahme von Beugungsbildern und "Objektbildern", sowie Drucker

```

1  Untergrundmessung I_1 = 21 \pm 2
2  Untergrundmessung I_2 = 20 \pm 2
3
4  ## Einzelspalt
5  1. Maxima:
6  Ordnung: einzelomax = np.array([-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3])
7  Lage in px: lagemax = np.array([922, 1016, 1120, 1272, 1417, 1530, 1633])
8  Intensität in px: I_1 = np.array([28, 37, 85, 950, 85, 37, 27])
9
10 lagefehler: 5 px
11 Intensitätsfehler: 2 px
12 2. Minima:
13 Ordnung: einzelomin = np.array([-3, -2, -1, 1, 2, 3])
14
15 Lage in px: lagemin = np.array([961, 1063, 1164, 1378, 1479, 1580])
16 Intensität in px: I_1 = np.array([24, 25, 27, 32, 27, 27])
17
18 3. Eichung der Abszisse
19
20 ganze Spaltbreite in mm: sp = np.array([1, 2, 3, 4])
21 Fehler Spaltbreite: 0.01 mm
22
23 links Position 1 in px: p1px = np.array([913, 712, 499, 293])
24 rechts Position 2 in px: p2px = np.array([1585, 1690, 1780, 1798])
25 Fehler px: 10 px
26
27
28 ## Doppelspalt: B
29
30 1. Maxima:
31 Ordnung: doppelomax = np.array([-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5])
32 Ordnung: doppelomin = np.array([-5, -4, -3, -2, -1, 1, 2, 3, 4, 5])
33
34
35 lage in px: lagemax = np.array([1045, 1098, 1131, 1186, 1219, 1261, 1300, 1336, 1391,
    1424, 1477])

```

```

36 Intensität in px: I_1 = np.array([29, 41, 72, 72, 618, 900, 624, 75, 69, 41, 32].)
37
38 2. Minima:
39 Lage in px: lagemin = np.array([1076, 1113, 1175, 1195, 1239, 1281, 1325, 1365,
1409, 1453].)
40 Intensität in px: = np.array([24, 24, 30, 44, 38, 33, 35, 26, 23, 23].)
41
42
43 3. Eichung der Abszisse
44
45 ganze Spaltbreite in mm: sp = np.array([2, 3, 4, 5].) #ist schon mal 2 genommen
46 Fehler Spaltbreite: 0.01 mm
47
48
49 links Position 1 in px: p1px = np.array([961, 672, 511, 338].)
50 rechts Position 2 in px: p2px = np.array([2085, 2239, 2408, 2124].)
51 Fehler px: 10 px
52
53 ## 3. Das Objektbild als Fouriersynthese
54
55 Untergrundmessung U_3 =
56
57 1 Maximum:
58 Lage: 1093
59 lfmax0 = 396
60 #nicht sicher
61
62 2 Maxima
63 fourieromax = np.array([-1, 1].)
64 Lage -1: 1058 Intensität 1 : 590
65 Lage 1: 1126 Intensität 2: 560
66
67
68 Minimum 0:
69 Lage: 1091
70 Intensität: 471
71
72 3 Maxima:
73 Lage -1: 1141 Intensität -1: 541
74 Lage 0 : 1095 Intensität 0: 523
75 Lage 1: 1038 Intensität 1: 590
76
77 Minima 2:
78 Lage -1: 1069 Intensität 1: 470
79 Lage 1: 1117 Intensität 1: 480
80
81
82 Abstände zwischen Maxima:
83 numabs = np.array([_].) #15 Maxima
84 absmax = np.array([14, 13, 11, 5, 8, 5, 6, 6, 3, 7, 6, 10, 6, 15, 12].)
85
86 Fehler: 5 px
87
88 Gesamtabstand: 221 px
89 Bildweite: 8.5 cm
90
91 ## 4. Fouriersynthese Doppelspalt
92
93 Breite der Einzelspalte:
94 links: 171
95 rechts: 178

```

```

96 Abstand dazwischen: 398
97
98 Brennweite Linse f: 80 mm
99 Bildweite b: 8.5 cm
100 Gegenstandsweite: 70cm
101
102 Rechtecksfunktionen werden zur Gaußkurve bei Spaltöffnung: 0.15 mm
103 Rechteckfunktionen werden zu plateauartiger Funktion bei Spaltöffnung: 0.0
104
105
106 Tutor: Robert Gilke
107
108
109

```

In [129]:

```

1 #untergrund
2 U_1 = 21
3 U_2 = 20
4 d_U = 2
5

```

In [2]:

```

1 #%matplotlib inline #Grafikausgabe
2 import matplotlib.pyplot as plt
3 import numpy as np
4 from scipy.optimize import curve_fit
5 %matplotlib qt5
6 #verwendet Jens
7
8
9 import pylab as py
10 from scipy.odr import *
11 from scipy import signal
12 from scipy.integrate import quad
13 import matplotlib.mlab as mlab
14 from scipy.stats import norm
15 %matplotlib inline

```

In [3]:

```

1 def beugung_spalt(x):
2     return np.sinc(x)**2
3 def beugung_doppelspalt(x):
4     return np.sinc(x)**2*np.cos(np.pi*v*x)**2
5 def doppelspalt(k,y):
6     return d/np.pi*np.cos(k*g/2)*np.sin(k*d/2)/(k*d/2)*np.cos(y*k)
7 def gerade(x,m,c):
8     return m*x+c
9 def umkehr(y,m,c):
10    return (y-c)/m
11 def del_umkehr(y,m,c,del_y,del_m,del_c):
12    return np.sqrt((del_y/m)**2+(del_c/m)**2+(y-c)*del_m/(m)**2)**2)
13 def spalt(k):
14    return d/np.pi*np.sin(k*d/2)/(k*d/2)*np.cos(y*k)
15
16

```

In [4]:



```
1 o = np.array([-5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5])
2 print(o)
```

```
[-5 -4 -3 -2 -1  0  1  2  3  4  5]
```

In []:



```
1
```

Type *Markdown* and LaTeX: α^2

In [5]:

```

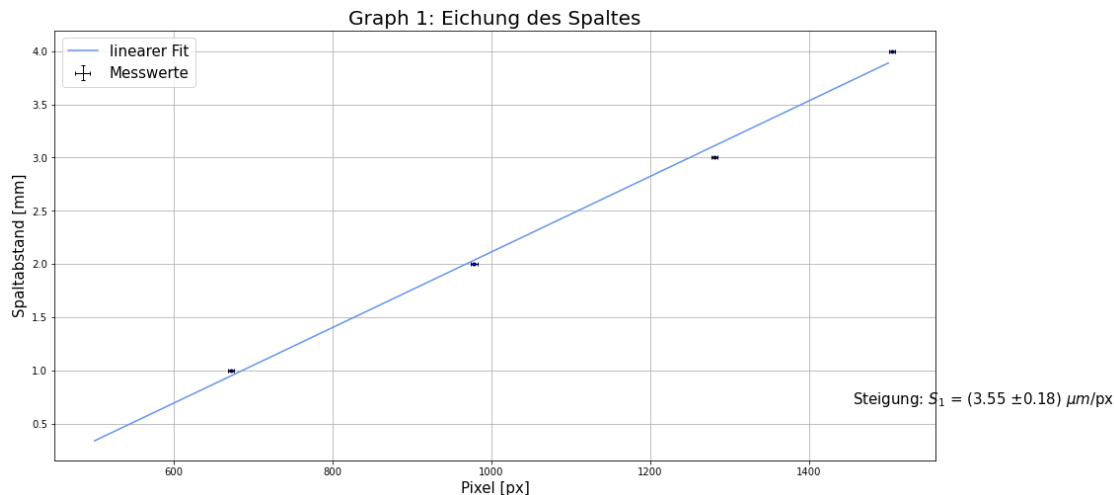
1 sb = np.array([1, 2,3, 4])
2 px = np.array([1585, 1690, 1780, 1798]) - np.array([913, 712, 499, 293 ])
3 x_1 = np.linspace(500, 1500, 10)
4
5 popt1, pcov1 = curve_fit(gerade, px, sb)
6 del_s1 = np.sqrt(np.diag(pcov1))[0]
7
8 plot1 = plt.figure(figsize = (16,8))
9 plot1 = plt.xlabel('Pixel [px]',size = 15)
10 plot1 = plt.ylabel('Spaltabstand [mm]' ,size = 15)
11
12 plot1 = plt.plot(px, sb , color = 'blue', lw=0,marker = ".")
13 plot1 = plt.plot (x_1, gerade(x_1, popt1[0], popt1[1]), color = 'cornflowerblue', label
14 plot1 = plt.errorbar(px, sb ,xerr= 4, yerr= 0.01,ecolor = 'black',capsize =2,fmt= 'none')
15 plot1 = plt.title("Graph 1: Eichung des Spaltes", size = 20)
16 plot1 = plt.text(1455, 0.68, (f"Steigung: $S_1$ = ({popt1[0]*10**3:.2f} $\pm$ {del_s1*10
17 plot1 = plt.grid(True, which= 'both')
18 plot1 = plt.legend(prop={'size': 15})
19 Eichung = popt1[0]*10**(3)
20 print(Eichung)
21 print(del_s1*10**(3))
22 plt.savefig('233.1.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')
23
24 #fehler x angenommen als 4
25 print(px)

```

```

3.551060753662627
0.17786931785871124
[ 672  978 1281 1505]

```



Beugungsstrukturen und Spaltbreite einzelspalt

In [6]:



```
1 #1. Maxima
2 nmax = np.array([ -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3])
3 lagemax = np.array([922, 1016, 1120, 1272, 1417, 1530, 1633  ])
4 I_1 = np.array([28, 37, 85, 950, 85, 37, 27])
5
6 #2. Minima:
7 nmin = np.array([ -3, -2, -1, 1, 2, 3])
8 lagemin = np.array([961, 1063, 1164, 1378,1479, 1580])
9 I_1 = np.array([24, 25, 27, 32, 27, 27])
10
11 #3. Eichung der Abszisse
12
13 #ganze Spaltbreite in mm: sp = np.array([1,2,3, 4])
14 #Fehler Spaltbreite: 0.01 mm
15
16 #Links Position 1 in px: p1px = np.array([913, 712, 499, 293  ])
17 #rechts Position 2 in px: p2px = np.array([1585, 1690, 1780, 1798])
18 #Fehler px: 10 px
```


In [7]:

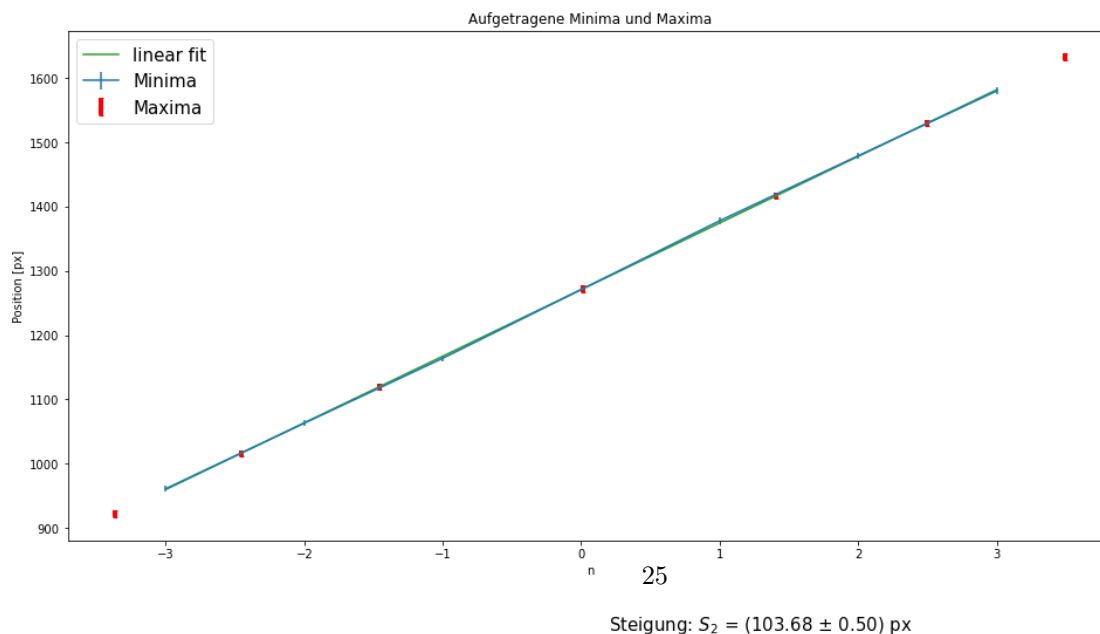
```

1 popt2, pcov2 = curve_fit(gerade, nmin, lagemin)
2
3
4 plot3 = plt.figure(figsize = (16,8))
5 plot3 = plt.xlabel('n')
6 plot3 = plt.ylabel('Position [px]')
7
8 #Minima
9 plot3 = plt.errorbar(nmin, lagemin, yerr = 5, label = "Minima")
10
11 #Maxima
12 plot3 = plt.errorbar(umkehr(lagemax,popt2[0],popt2[1]), lagemax, yerr= 5, ecolord='red')
13
14 plot3 = plt.plot(nmax,gerade(nmax,popt2[0],popt2[1]), label = "linear fit") #ist eigen
15
16 plot3 = plt.title("Aufgetragene Minima und Maxima")
17 plot3 = plt.text(0.2, 740, (f"Steigung: $S_2$ = ({popt2[0]:.2f} $\pm$ {np.sqrt(np.diag
18
19 plot3 = plt.legend(prop={'size': 15})
20
21 S2 = -popt2[0] * Eichung * 10**3 # mm
22 dS2 = np.sqrt(np.diag(pcov2))[0] * Eichung * 1000 # mm
23 plt.savefig('233.2 MinMax.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')
24
25 print(S2)
26 print(popt2)
27
28 exp1 = umkehr(lagemax,popt2[0],popt2[1])
29 del_exp1 = del_umkehr(lagemax,popt2[0],popt2[1],5,del_s1,0)
30

```

-368168.9060531361

[103.67857144 1270.83333333]



Ermittlung Spaltbreite

In [8]:

```

1 print(Eichung)
2 print(S2)
3
4 f= 80.0 #mm
5 del_f = 1.0
6 lamb = 635*10**(-3) #in mu
7 d = lamb*f/(S2)*10**6 #in mu
8 del_d = d * np.sqrt((del_f/f)**2 + (del_s1/Eichung)**2)
9
10 #S2 entspricht anscheindnen nicht Eichung
11 print(del_d)

```

```

3.551060753662627
-368168.9060531361
-1.7247656921964465

```

Type *Markdown* and LaTeX: α^2

In []:

1

In [24]:

```

1 I_1_max = np.array([ 950, 85, 37, 27])
2 I_1_min = np.array([24, 25, 27, 32, 27, 27])
3
4 U_1 = 21 #untergrund
5 d_U = 2 #abgelesen aus program
6
7 d_I = 2 #abgelesen aus programm
8

```

In [25]:

```

1 I_1_korr = I_1_max - U_1
2 d_I_1_korr = np.sqrt(d_U**2 + d_I**2)
3
4 I_0 = 950 - U_1 #siehe array mitte I_1_max
5 print(I_0)
6 V = I_1_korr/ I_0
7
8 d_V = V*np.sqrt((d_I_1_korr/I_1_korr)**2+(d_I_1_korr/I_0)**2)
9 print(V)
10 print(d_V)

```

```

929
[1.          0.06889128 0.01722282 0.00645856]
[0.00430571 0.00305181 0.00304504 0.00304466]

```

In [28]:



```
1  
2  
3 b = (171 + 178) / 2 #gemittelt  
4 g = 398  
5 v = g/b  
6 print(v)
```

2.28080229226361

In []:



```
1
```

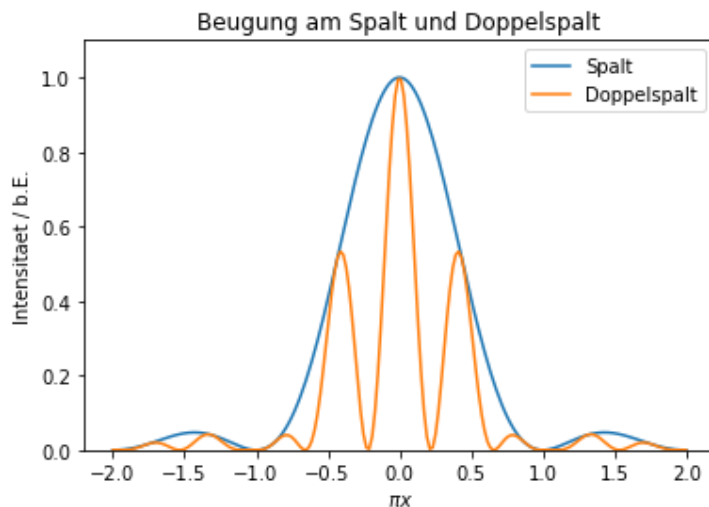
In [31]:

```

1  #Diagramm mit spalt und doppelspalt, kommt dann in kapitel Doppelspalt
2
3  #Beugungsfunktion Spalt
4  def beugung_spalt(x):
5      return np.sinc(x)**2
6
7  #Beugungsfunktion Doppelspalt
8  def beugung_doppelspalt(x):
9      return np.sinc(x)**2*np.cos(np.pi*v*x)**2
10
11
12  #Anzahl a der Nebenmaxima die dargestellt werden sollen:
13  a=1
14  #Verhaeltnis Spaltabstand zu Spaltbreite:
15
16  x=np.linspace(-(a+1),a+1,200)
17  plt.plot(x,beugung_spalt(x),label='Spalt')
18  plt.plot(x,beugung_doppelspalt(x),label='Doppelspalt')
19  plt.xlabel('$\pi x$')
20  plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
21  plt.title('Beugung am Spalt und Doppelspalt')
22  plt.ylim((0,1.1))
23  plt.legend()
24  plt.savefig("Beugung_spalt_doppelspalt.pdf", format="pdf")
25  print(v)

```

2.28080229226361



In []:

1

Aufgabe 2: intensitätsvergleich erster nebenmaxima

In [40]:

```

1
2 I2korr = 900 - U_1
3 I2neben = np.array([618, 624]) - U_1
4
5 dI2korr = np.sqrt(d_U**2 + d_I**2)
6
7 V2 = I2korr/I2neben
8 dV2 = V2 * np.sqrt((dI2korr/I2neben)**2 + (dI2korr/I2korr)**2)
9 print(I2korr)
10 print(I2neben)
11 print(V2)
12 print(dV2)

```

879

[597 603]

[1.47236181 1.45771144]

[0.00843243 0.00829177]

In []:

1

In [46]:

```

1 B=221 #(Pixel)Spaltgröße "abgelesen" 165 im Bild!!
2 err_B=15
3 f=80 #Brennweite
4 b=850 #Bildweite
5 err_b=1 #kleiner als 1 Promill also vernachlässigbar
6 G=B/((b/f)-1)
7 err_G=err_B/((b/f)-1)
8 print(G) #Spaltweite
9 print(err_G)
10
11

```

22.961038961038962

1.5584415584415585

In [47]:

```

1 G_real=14*G #mal 14
2 err_G_real=14*err_G
3 print('Spaltbreite G:', G_real)
4 print('Fehler:', err_G_real)

```

Spaltbreite G: 321.4545454545455

Fehler: 21.81818181818182

Theoretische Maxima/Minima lagen

In [49]:



```

1 d=1 #Spaltbreite auf 1 setzen
2 Y=np.linspace(-1,1,201)*d #y-Werte
3
4 plt.figure(figsize=(14,16))
5 #Iterative Berechnung des resultierenden Objektbildes der einzelnen Beugungsordnungen
6 for j in range(1,5):
7     n=j
8     f_modifiziert=[]
9     for i in range(len(Y)):
10         y = Y[i]
11         result, error = quad(spalt, 0, 2*np.pi*n/d)
12         f_modifiziert.append(result**2)
13     if j==1: #Kurve auf das Maximum der 0.Ordnung normieren
14         norm = np.max(f_modifiziert)
15         f_modifiziert = f_modifiziert/norm
16
17     plt.subplot(3,2,j)
18     plt.plot(Y,f_modifiziert)
19     plt.xlabel("y / d")
20     plt.ylabel("Intensität [Counts]")
21     plt.title("Graph "+str(5+j-1)+": modifiziertes Objektbild Spalt "+str(j-1)+". Ordnung")
22     plt.ylim((0,1.1))
23     #Maxima und Minima('find peaks'):
24     f_modifiziert2 = - f_modifiziert
25     minima = signal.find_peaks(f_modifiziert2, prominence = 0.1)
26     maxima = signal.find_peaks(f_modifiziert, prominence = 0.1)
27     #Lage und Intensität der Extrema:
28     minimap = np.zeros((2, minima[0].size), dtype = float)
29     maximap = np.zeros((2,maxima[0].size), dtype = float)
30     minimap[0] = np.round(f_modifiziert[minima[0]],4)
31     minimap[1] = minima[0]/100 -1
32     maximap[0] = np.round(f_modifiziert[maxima[0]],4)
33     maximap[1] = maxima[0]/100 -1
34     print("Zulassung der "+str(j-1)+". Ordnung:")
35     print("Minima:\n"+ str(minimap))
36     print("Maxima:\n"+ str(maximap))
37 plt.savefig('233.4.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')

```

Zulassung der 0. Ordnung:

Minima:

[]

Maxima:

[[1.]
[0.]]

Zulassung der 1. Ordnung:

Minima:

[[0.5864]
[0.]]

Maxima:

[[0.9066 0.9066]
[-0.25 0.25]]

Zulassung der 2. Ordnung:

Minima:

[[0.6176 0.6176]
[-0.17 0.17]]

Maxima:

[[0.8854 0.8178 0.8854]
[-0.33 0. 0.33]]

30

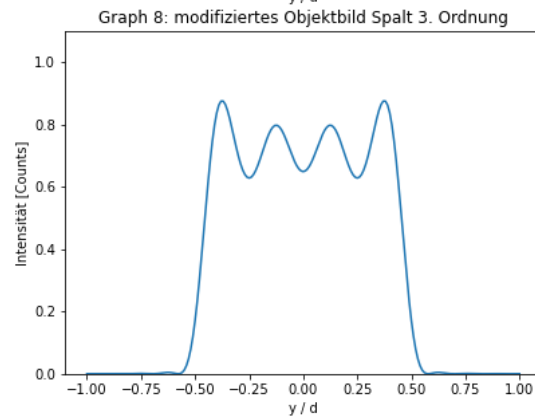
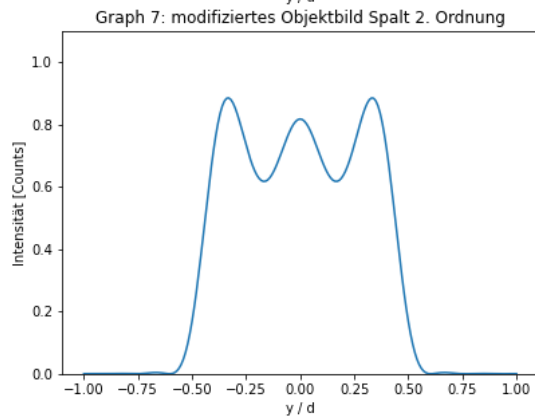
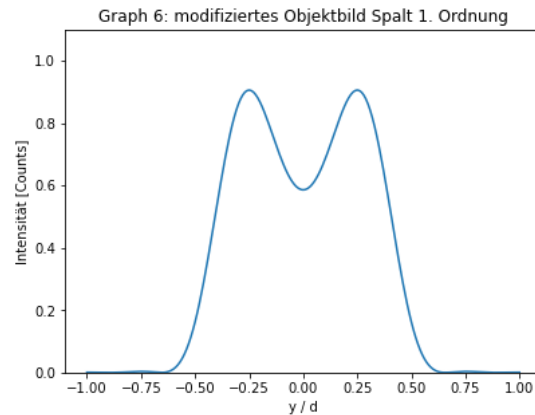
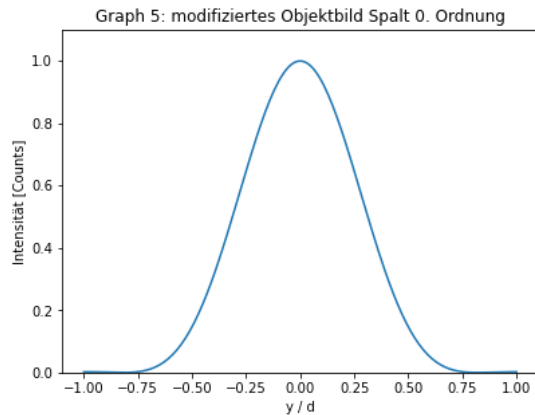
Zulassung der 3. Ordnung:

Minima:

```
[[ 0.6284  0.6492  0.6284]
 [-0.25   0.      0.25  ]]
```

Maxima:

```
[[ 0.8753  0.7974  0.7974  0.8753]
 [-0.37   -0.12   0.12   0.37  ]]
```



In []:



```
1 #Mittlewert der Maxium ungerader ordnung:
2 Lage: 1094 f
```

```
1 Messwerte = np.array([1093,1141,1095,1038])
2 Messung = np.array([396,590,471,560,590,470,523, 480, 541]) - unt
```

In [67]:



```

1 Messwerte = np.array([1093,1141,1095,1038])
2 del_Messwerte = 4 #px
3 Wert = np.absolute(Messwerte-1094)/221
4 del_Wert = np.sqrt(4/(2*221*np.absolute(Messwerte-1094))**2+(4*np.absolute(Messwerte-1094))**2)
5 count,count2,count3 = 1,1,1
6 local_count,local_count2, local_count3 = -2,-1,-1
7 for i in range(0,4):
8     if i == 0:
9         print('Ordnung 0: 1. Maximum', np.round(Wert[i],3), '+/-', np.round(del_Wert[i],3))
10    if i > 0 and i<4:
11        if count%2 == 1:
12            local_count += 1
13            print('Ordnung 1: ' + str(local_count) + '. Maximum', np.round(Wert[i],3),
14                local_count += 1
15

```

```

Ordnung 0: 1. Maximum 0.005 +/- 0.01
Ordnung 1: -1. Maximum 0.213 +/- 0.004
Ordnung 1: 1. Maximum 0.005 +/- 0.01
Ordnung 1: 3. Maximum 0.253 +/- 0.005

```


In [82]:



```

1  unt = 21 # Untergrundintensität
2  del_unt = 2
3  I0 = (396+ 523)/2 - unt
4  print(I0)
5  del_I0 = np.sqrt(20**2+2**2)
6  Messung = np.array([396,590,471,560,590,470,523, 480, 541]) - unt
7  del_Messung = np.sqrt(2**2+2**2)
8  Verhältnis = I0/Messung
9  del_Verhältnis = Verhältnis * np.sqrt((del_Messung/Messung)**2 + (del_I0/I0)**2)
10 count,count2,count3 = 1,1,1
11 local_count,local_count2, local_count3 = -2,-1,-1
12 for i in range(0,9):
13     if i == 0:
14         print('Ordnung 0: 0. Maximum Intensität:', np.round(Verhältnis[i],3),'+/-', np.
15     if i > 0 and i<4:
16         if count%2 == 1:
17             local_count += 1
18             print('Ordnung 1: ' + str(local_count) + '. Maximum Intensität', np.round(V
19             local_count += 1
20         if count%2 == 0:
21             print('Ordnung 1: 0. Minimum Intensität:', np.round(Verhältnis[i],3), '+/-
22             count += 1
23     if i > 3 and i<9:
24         if count2%2 == 1:
25             print('Ordnung 2: ' + str(local_count2) + ' Maximum Intensität:',np.round(V
26             local_count2 +=1
27
28 #Ja, im ergebnis ausgeprintenten stimmen die indizi zuordnungen der Maxima nicht ganz,

```

438.5

```

Ordnung 0: 0. Maximum Intensität: 1.169 +/- 0.054
Ordnung 1: -1. Maximum Intensität 0.771 +/- 0.036
Ordnung 1: 0. Minimum Intensität: 0.974 +/- 0.045
Ordnung 1: 1. Maximum Intensität 0.814 +/- 0.038
Ordnung 2: -1 Maximum Intensität: 0.771 +/- 0.036
Ordnung 2: 0 Maximum Intensität: 0.977 +/- 0.045
Ordnung 2: 1 Maximum Intensität: 0.874 +/- 0.04
Ordnung 2: 2 Maximum Intensität: 0.955 +/- 0.044
Ordnung 2: 3 Maximum Intensität: 0.843 +/- 0.039

```

In [83]:



```

1
2
3 ## 4. Fouriersynthese Doppelspalt
4
5 Breite der Einzelspalte:
6 links: 171
7 rechts: 178
8 Abstand dazwischen: 398
9
10 Brennweite Linse f: 80 mm
11 Bildweite b: 8.5 cm
12 Gegenstandsweite: 70cm
13
14 Rechtecksfunktionen werden zur Gaußkurve bei Spaltöffnung: 0.15 mm nicht n!!!

```

File "<ipython-input-83-aee3d913ce07>", line 3

Breite der Einzelspalte:

^

SyntaxError: invalid syntax

4. Fouriersynthese Doppelspalt

In [86]:



```

1 B=174.5
2 Delta_B=5
3 b=850 #Bildweite in
4 delta_b=2 #müsst eauch vernachlässig bar sein doer?
5
6 f=80
7 G=B/((b/f)-1)
8 delta_G=np.sqrt((Delta_B/((b/f)-1))**2+(((B/f)*delta_b)/(((b/f)-1)**2))**2)
9 scale=14 #skalieren
10 G_real=scale*G
11 delta_G_real=scale*delta_G
12 print('Spaltbreite:', G_real)s
13 print('Fehler:', delta_G_real)
14 spaltbreite=G_real
15 delta_spaltbreite=delta_G_real

```

Spaltbreite: 253.81818181818184

Fehler: 7.302547246373823

In [105]:



```
1
2 # Berechnung für den Spaltmittenabstand
3 B=398
4 Delta_B=5
5 b=850
6 delta_b=2 # vernachlässigbar klein
7 f=80
8 G=B/((b/f)-1)
9 delta_G=(Delta_B/((b/f)-1))
10 G_real=14*G
11 delta_G_real=scale*delta_G
12 print('Spaltmittenabstand:', G_real)
13 print('Fehler:', delta_G_real)    #G?
```

Spaltmittenabstand: 578.9090909090909

Fehler: 7.272727272727272

Modifiziertes Objektbild

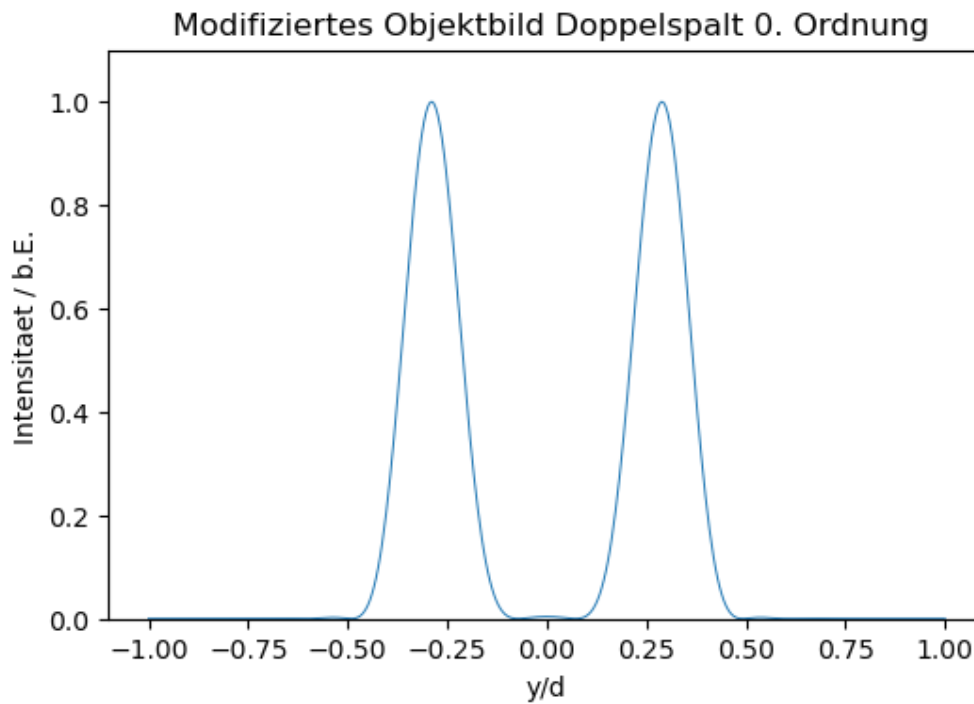
In [106]:



```

1 d=0.252
2 g=2.28*d
3 n=1
4 Y=np.linspace(-1,1,400)
5 f_modifiziert=[]
6 for i in range(len(Y)):
7     y=Y[i]
8     result, error = quad(doppelspalt, 0, 2*np.pi*n/d, args=(y,))
9     f_modifiziert.append(result**2)
10 f_modifiziert=f_modifiziert/np.max(f_modifiziert)
11 fig=plt.figure(dpi=100)
12 plt.plot(Y, f_modifiziert, linewidth=0.7)
13 plt.xlabel('y/d')
14 plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
15 plt.title(' Modifiziertes Objektbild Doppelspalt 0. Ordnung')
16 plt.ylim((0,1.1))
17 plt.savefig('233.5.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')

```



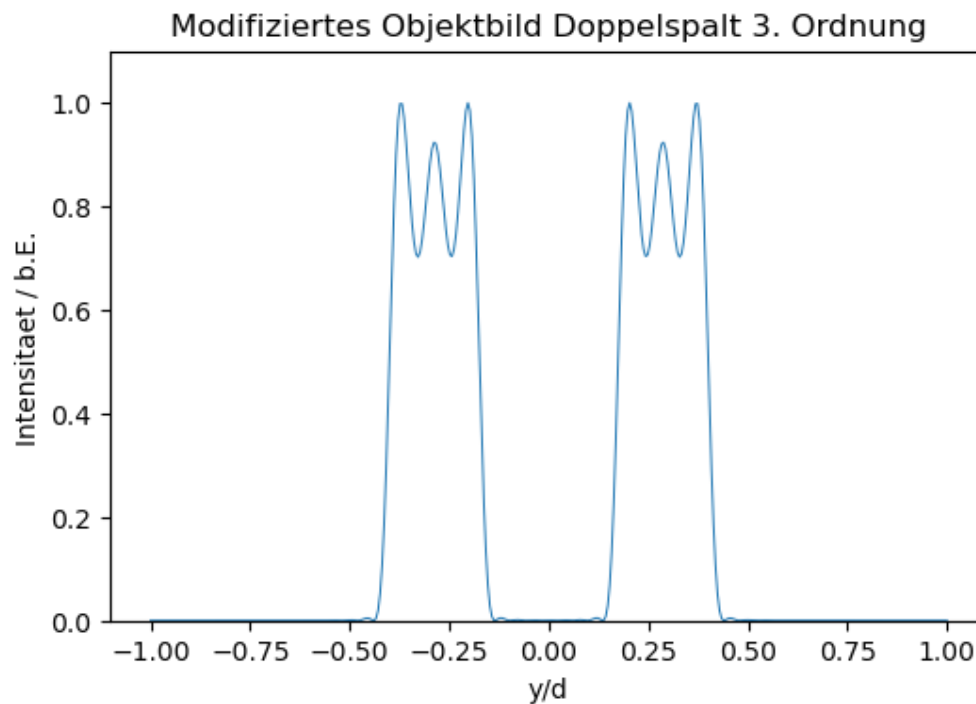
In [107]:



```

1 d=0.252
2 g=2.28*d
3 n=3
4 Y=np.linspace(-1,1,400)
5 f_modifiziert=[]
6 for i in range(len(Y)):
7     y=Y[i]
8     result, error = quad(doppelspalt, 0, 2*np.pi*n/d, args=(y,))
9     f_modifiziert.append(result**2)
10
11 f_modifiziert=f_modifiziert/np.max(f_modifiziert)
12 fig=plt.figure(dpi=100)
13 plt.plot(Y, f_modifiziert, linewidth=0.7)
14 plt.xlabel('y/d')
15 plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
16 plt.title('Modifiziertes Objektbild Doppelspalt 3. Ordnung')
17 plt.ylim((0,1.1))
18 plt.savefig('233.6.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')

```



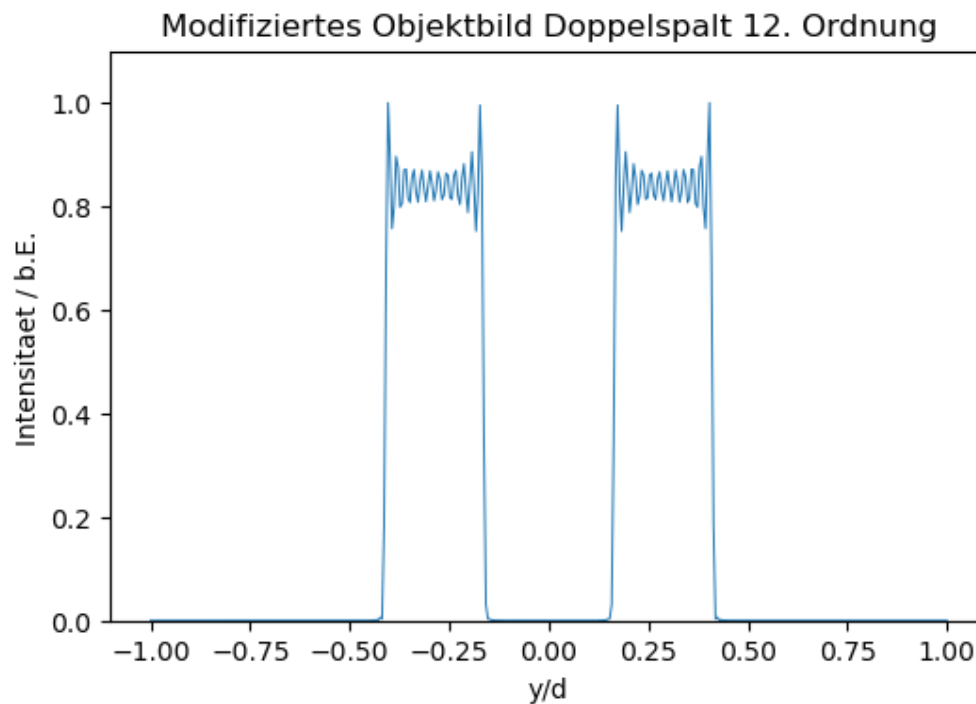
In [108]:



```

1 d=0.252
2 g=2.28*d
3 n=12
4 Y=np.linspace(-1,1,400)
5 f_modifiziert=[]
6 for i in range(len(Y)):
7     y=Y[i]
8     result, error = quad(doppelspalt, 0, 2*np.pi*n/d, args=(y,))
9     f_modifiziert.append(result**2)
10 f_modifiziert=f_modifiziert/np.max(f_modifiziert)
11 fig=plt.figure(dpi=100)
12 plt.plot(Y, f_modifiziert, linewidth=0.7)
13 plt.xlabel('y/d')
14 plt.ylabel('Intensitaet / b.E.')
15 plt.title('Modifiziertes Objektbild Doppelspalt 12. Ordnung')
16 plt.ylim((0,1.1))
17 plt.savefig('233.7.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')

```



In [127]:



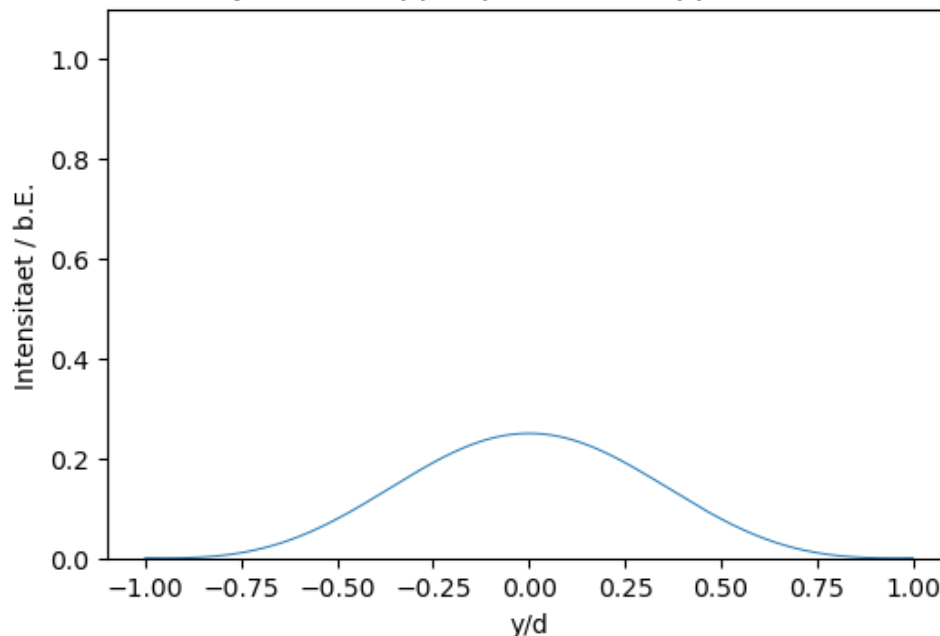
```

1 d=0.252
2 g=2.28*d
3 n=0.16# 0.16 dann ist das eine gaußkurve im experiment bei 0.15 mm
4         #bei 0.29 wird plateau draus in der theorie, aber in der praxis haben wir kein
5         # wir nehmen als experimentell bestimmt struktural die gaußglocke
6         #n=1 obere grenze fest
7         #für gaußglocke finden wir die obere grenze heraus
8
9 Y=np.linspace(-1,1,400)
10 f_modifiziert=[]
11 for i in range(len(Y)):
12     y=Y[i]
13     result, error = quad(doppelspalt, 0, 2*np.pi*n/d, args=(y,))
14     f_modifiziert.append(result**2)
15 f_modifiziert=f_modifiziert/(4*np.max(f_modifiziert))
16 fig=plt.figure(dpi=100)
17 plt.plot(Y, f_modifiziert, linewidth=0.7)
18 plt.xlabel('y/d')
19 plt.ylabel('Intensität / b.E.')
20 plt.title('Modifiziertes Objektbild Doppelspalt ohne Doppelstruktur nach Theorie')
21 plt.ylim((0,1.1))
22 plt.savefig('233.8.pdf', format='PDF', bbox_inches='tight')
23 print('n wurde abgeschätzt auf n=',n, 'mit einem Fehler von 0.002' )

```

n wurde abgeschätzt auf $n = 0.16$ mit einem Fehler von 0.002

Modifiziertes Objektbild Doppelspalt ohne Doppelstruktur nach Theorie



In []: ▶

1

In []: ▶

1