

Fakultät für Physik der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Fortgeschrittenenpraktikum I in Experimentalphysik - Kurs P3A

Blockpraktikum vom 01. bis 31. März 2021

Name:	Yundong Sun	Gruppe:	14
-------	-------------	---------	----

Datum	Versuch		Punkte	Testat
	1	Mikroskopie@Home Mikroskopie mit dem Foldscope		
10 MAR 2021	2	BEU - Beugung		
2. MAR 2021	3	LAS - Lasersicherheit		
	4A	INP - Interferenzphänomene		
	4B	MIN - Michelson-Interferometer		
	4D	FPI - Fabry-Pérot-Interferometer		
4 MAR 2021	4E	MZI - Mach-Zehnder-Interferometer		
	5B	LLA - c-Messung/Lambertscher Strahler		
	5C	POL - Polarisation		
	5D	SPG - Spektrogoniometer		
8 MAR 2021	5E	FFR - Fresnelsches Gesetz der Reflexion		

Unterschrift der/des
Studierenden:

Bitte bewahren Sie Ihre Hefte nach dem Praktikum auf.

8

zariert
elrand

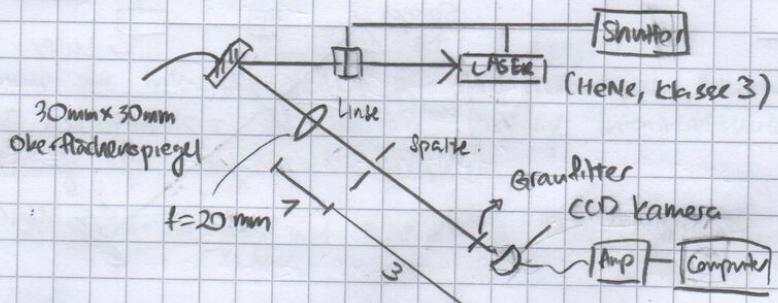
<Vorprofordl>

Teilversuch 0: Aufbau des Versuchs

Versuchsziel: Versuch aufbauen.

Messmethode: keine

Skizze:



Durchführung

- ① Aufbau erfolgt wie Skizze. Strahlentfernung soll bei 130 mm liegen.
- ② Beugungsobjekt so platzieren, sodass die Abstand zwischen Beugungsobjekt und Linse (Beugungsobjekt und CCD) liegt bei 1:3
- ③ Um ~~eine~~ asymmetrisches Beugungsbild zu ~~erhalten~~ vermeiden, stelle sicher, dass Linse nicht zur Strahlergang verkippt ist.
- ④ Graufilter vor CCD setzen, um ~~die~~ eine Intensität im Messbereich der CCD Kamera zu erhalten. Bei richtige Justierung muss mindestens ein Graufilter mit Abschwächungsfaktor von 1,6 Rasterordnung platzen sein.
- ⑤ Als Sanity Check: schirm verkratzt vor der Kamera setzen, um das Bild zu befrachten.
- ⑥ Bei der Justierung soll das linigene Modus (256 Pixels) verwendet werden.

bei einer Messung jedoch das genüge Modus (1024 pixels)

Optionale Fragen

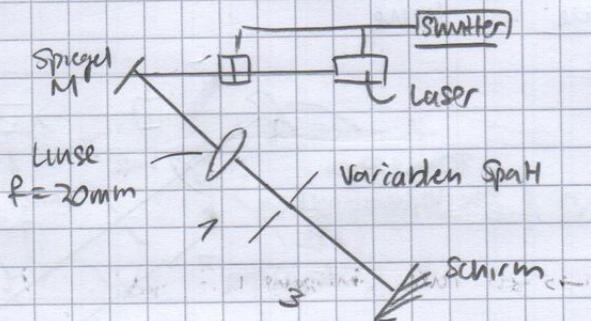
- ① Warum ist 1:3 Abstand zulässig? warum notwendig?
 - CCD hat begrenzte Auflösung. Linse muss Beugungsmuster ausdehnen?
- ② Warum ist die Messung bei 1024 pixels besser, obwohl sie viel schlechter aussieht bzw. verrauschter ist?
 - Mit 1024 pixels hat man mehr Auflösung und somit sieht man auch mehr Geräusch?
- ③ Wie kann man am Beugungsbild erkennen, ob ein Beugungsobjekt senkrecht zum Laserstrahl steht? Verkippe den Spalt ~~zum~~ zum Laserlicht, um das zu untersuchen.
 - Intensität soll linksrechts und oben/unten symmetrisch sein?

Teilversuch 1: Fraunhofer-Breugung am variablen Spalt Entfernungspunkt

Versuchsziel: Qualitative Untersuchung der Fraunhofer-Breugung am variablen Entfernungspunkt

Messmethode: Schirm

Skizze:



Durchführung:

- ① Baue Aufbau wie Skizze um.
- ② Der von der Linse aufgeweitete Laserstrahl symmetrisch auf die vertikalen, geschlossenen Spaltseitenenden richten.
- ③ Spaltbreite variieren und Intensitätsprofil beobachten.

Geplante Auswertung:

- Beobachtungen anhand folgender Gleichung erklären:

$$x_n = n \cdot \frac{r \lambda}{b}, \quad n \in \mathbb{Z} \quad \text{für } a \gg x$$

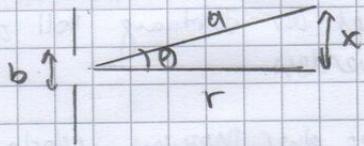
↑
Abstand von zentral Maxima zu Minima.

b: Spaltbreite.

r: Abstand von Spalt zu Schirm.

λ : Wellenlänge des Lichtes.

Nähungsweise: Minima äquidistant.



Teilversuch 2: Übergang von Fraunhofer- zu Fresnel-Breugung

Versuchsziel: Quantitative Untersuchung des Übergangs von Fraunhofer- zu Fresnel-Breugung.

Messmethode: CCD

Skizze: wie im TV1, aber CCD statt Schirm bzw.
wie im TV0, aber variable Spalt.

Durchführung:

- ① Beobachtungsschirm von TV1 durch CCD-Kamera ersetzen.

- ② Den Spalt öffnen und ~~vergrößern~~ Spaltbreite vergrößern, bis ~~der~~ der Übergang zwischen Routhofer- und Fresnel-Beugung gut ~~beobachtet~~ ist.
- ③ Mittlests 3 aussagekräftige Intensitätsverteilung für den Übergang aufnehmen.
- ④ Die Änderung der Intensitätsverteilung im Fall Fresnel'scher Beugung beobachten. Mittlests 3 aussage kräftige Intensitätsverteilungen zur Erklärung dieses Verhaltens aufnehmen.
 ↳ zwischen Übergang und Fresnel 3 Schritte aufnehmen?

Geplante Auswertung:

- Wie lässt sich am Intensitätsverlauf die Anzahl der beteiligten Fresnel-Zonen bestimmen?
- Parallel Befeuung des Spalts annehmen und leite aus geometrischen Überlegungen die folgende Formel für den Radius R_m der m-ten Fresnelschen Zone ab:

$$R_m = \sqrt{m \cdot R \cdot \lambda}$$

Optional: Bruchlinie Abstand vom Spalt zu drehbarer Fernrohrsonde.
 (mit vom Spalt zum Schirm)
- Welche Spaltbreite ergibt sich sonst beim Aufspalten des Zentralmaximas des Routhoferschen Beugungsbildes in Q-Maxima, die durch ein Minima getrennt sind, die durch ein Maximum getrennt sind? Berechnen Sie diesen Wert. Ist er realistisch?

Teilvorach 3: Routhofer-Beugung am Einfallsspalt

Vorwissen: Die Breite b einer Einfallsspalte bestimmen.

Messmethode: CCD Kamera / MATLAB.

Skizze: Wie in Tho., mit Spalt der festen Breite $200\text{ }\mu\text{m} = 0,2\text{ mm}$.

Durchführung:

- ① Laserlicht auf den Spalt der festen Breite $0,2\text{ mm}$ ~~fest~~ justiert.
- ② Feststellen, dass Spalt senkrecht zum Laserstrahl steht. Der Laserstrahl trifft senkrecht auf, wenn der Strahl auf sich selbst (Punkt am Spiegel) reflektiert wird.
- ③ Ein möglichst symmetrisches Routhofer-Beugungsbild mit ausgedehnten Nebemaxima ~~aufnehmen~~ aufnehmen.

Auflösung: 2048 Pixel.

- ④ Abstand r zwischen CCD-Kamera und Spalt messen.
 Darauf $(18 \pm 2)\text{ mm}$ ~~aufkommen~~, um den Abstand von der Gehäuserrückseite abzuschneiden
 Der CCD Kamera ~~und~~ zum Sensor zu benennen.

(Vor Ort Auswertung)

- ⑤ Mit Video cam Messwerte abspeichern
- ⑥ MATLAB starten und in Bereich Camera Folder : in den Ordner mit den Messwerten wechseln.

- ⑦ tempat Daten importieren.

- ⑧ $dx = \frac{28}{2048} \text{ mm} = \text{Abstand zwischen 2 Messpunkten}$.

\Rightarrow MATLAB Kommando : $dx = 0.028/2048$

$$x = [dx/2 : dx : 0.028]$$

Mittel von
1. Pixel

↑ ↑ ↑
Anfangswert delta letzter Wert

- ⑨ Curve Fitting Toolbox mit dem Befehl `fitool` aufrufen.

- ⑩ Fit Parameter in 'Fit Options' feststellen.

- Formel : $I(x) = a \cdot \left(\frac{\sin(\frac{\pi b}{\lambda r}(x-d))}{\frac{\pi b}{\lambda r}(x-d)} \right)^2 + c$ via `abs(c,d)`.

- Startwerte soll ungefähr die tatsächlichen Werte entsprechen.

- Wenn Fit nicht konvergiert, kann Rauschbereich / Sensitivität ohne einen großen Verlust in Genauigkeit ausgeschlossen werden.

Geplante Auswertung

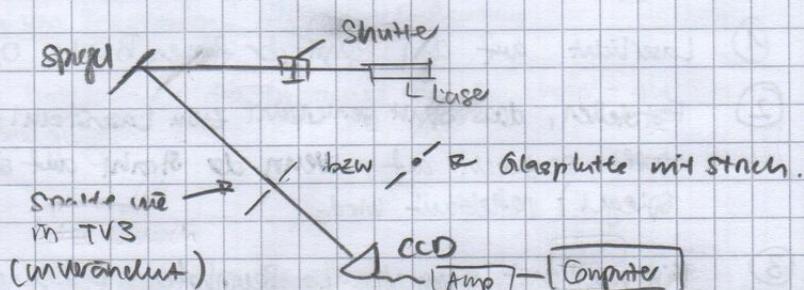
- Diskussion des Ergebnisses : mögliche Ursachen für Messunsicherheiten bei der Bestimmung der Spaltbreite

Teilversuch 4 : Babinet'sches Theorem

Versuchsziel : Qualitative Bestätigung des Babinet'schen Theorems.

Messmethode : CCD-Kamera .

Skizze :



wie TV3 aber ohne Linse

Durchführung.

- ① Entferne die Linse vom Versuchsaufbau.
- ② Nur ~~die~~ einer der der Bereiche neben dem Hauptmaximum aufnehmen \Rightarrow \uparrow Genauigkeit, Effekt besser sichtbar.
- ③ in Kriter "Referenz" das Beugungsbild des Spaltes als Referenzverteilung aufnehmen.
- ④ Gläserstückchen vorsichtig verschieben, so dass der Laserstrahl symmetrisch den Streifen beleuchtet. Der Abstand vom Diashalter zur CCD-Kamera bleibt gleich.
- ⑤ Im Kriter "Intensität I_1 " die Intensitätsverteilung des Strichs messen.
- ⑥ Vergleiche I_1 mit Referenzmessung.
- ⑦ Spiegel verdrehen, sodass Beugungsmuster in einiger Entfernung auf der Wand sichtbar ist. ~~Platzieren~~
Die Blende mit Beugungsobjekten verhandelter Loch und die dazu komplementäre, gleichgroße Scheibe im Laserstrahl platzieren.
- ⑧ Beugungsmuster betrachten.

Geplante Auswertung:

- Die Positionen bzw. Abstände der Minima bei Beugung am Streifen und Spalt.
- Qualitative Beobachtungen bei Betrachtung der Punkte und Lichthäuser erklären.

Teilversuch 5: Raumhalter - Beugung an Doppelspalt und Mehrfachspalt.

Versuchsziel: Qualitative Untersuchung des Beugungsmusters der ~~der~~ Doppel- und Mehrfachspalten.

Messmethode: Augenmaß / CCD - Kamera

Skizze: Wie TV 1 bzw. 4

Durchführung

- ① Doppelspalt im Laserstrahl nach der Linse einsetzen und Beugungsmuster beobachten.
- ② Schritt ① mit Mehrfachspalt

③ schafft ① und ② aber ohne Linse am der Wand (Entfernung)

Geplante Auswertung

- Qualitative Beschreibungen an Doppelpunkt und Mehrfachspalte Wmp

$$\begin{aligned} & \cancel{I(d) = \left[\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right) \cdot \sin\left(N \cdot \frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right) \right]^2} \\ & \cancel{I(d) = \left[\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right) \cdot \frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right)} \right]^2} \\ & I(d) = \left[\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right) - \frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin\phi\right)} \right]^2 \end{aligned}$$

Winkel vom Zentrum, Einzelspalt, Mehrfachspalte.

erklären.

Experiment 6: Röntgen - Beugung an der Kante

Vorversuch: Qualitative Betrachtung der Röntgenbeugung an einer Kante.

Messmethode: Augenmaß.

Stütze: wie TÜV aber Kante anstatt Spalte.

Durchführung:

- ① Linse wieder einbauen
- ② Intensitätsprofil (Gauß) zu einer Kante als Referenz messen
- ③ Bringt Kante ein. Im Reiter I_1 Beugungsbild vermessen.
↳ soll den halben Laserstrahl verdeilen.
→ Geeignete Kante: Maßstab für Strahlhöhe (etwas Schräg, unter 45° in den Strahl gebraucht)
- ④ zum Reiter transmission wechseln, um Messwerte zu interpretieren

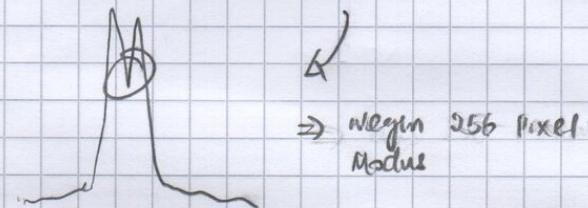
Geplante Auswertung

- Messung mit theoretisch erwarteten Verhalten vergleichen

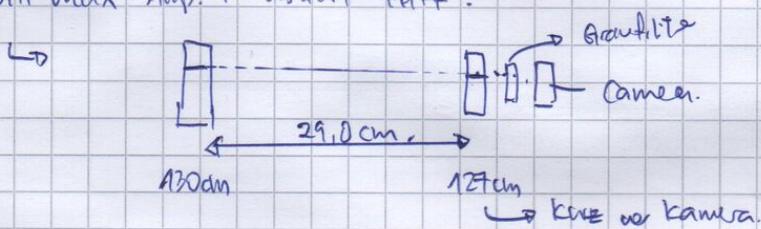
<Laserpektrograph>

Teilversuch 0: Aufbau

- CCD ist eine rote Sensor.
- Kamera geöffnet. man braucht bei dritter Laserstrahl $2,0 \pm 0,8 \pm 0,3$
Gratfilter.
- 256 Pixel Modus gilt \Rightarrow schnelle Reaktionszeit bei Justierung.
- Es gibt ein Affekt Artefakt bei $P_x > 0,24$.



- Laserstrahl leicht nach unten gekippt, so dass Laserstrahl Camera ~~mit~~ mit max. Amp. Intensität trifft.

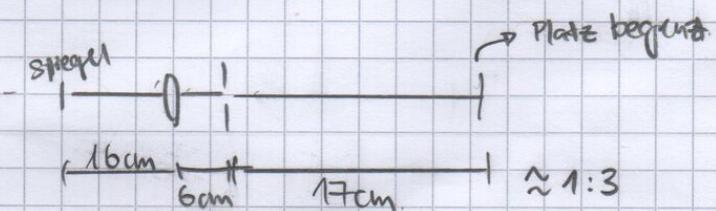


Fehlerquellen

- Mit Linse: ~~Nur~~ weniger Gratfilter.

Teilversuch 1: Rauenhörn-Brennung am variablen Entfernungspunkt.

- Linse 16 cm $\pm 0,5$ cm von Spiegel entfernt.
- Linse 6 cm $\pm 0,5$ cm von Spalt entfernt.
- Schirm 17 cm $\pm 0,5$ cm u. " "



- Beobachtungen:

Breit



bisschen
größer

kleiner

Weniger
Hellt

schmal

und weniger
hell

immer mehr
ausgedehnt.
Minima
äquidistant

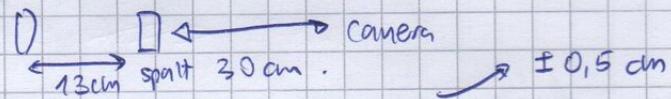
Teilversuch 2 : Übergang von Fraunhofer zu Rössel -Bragg-

nach Spiegel

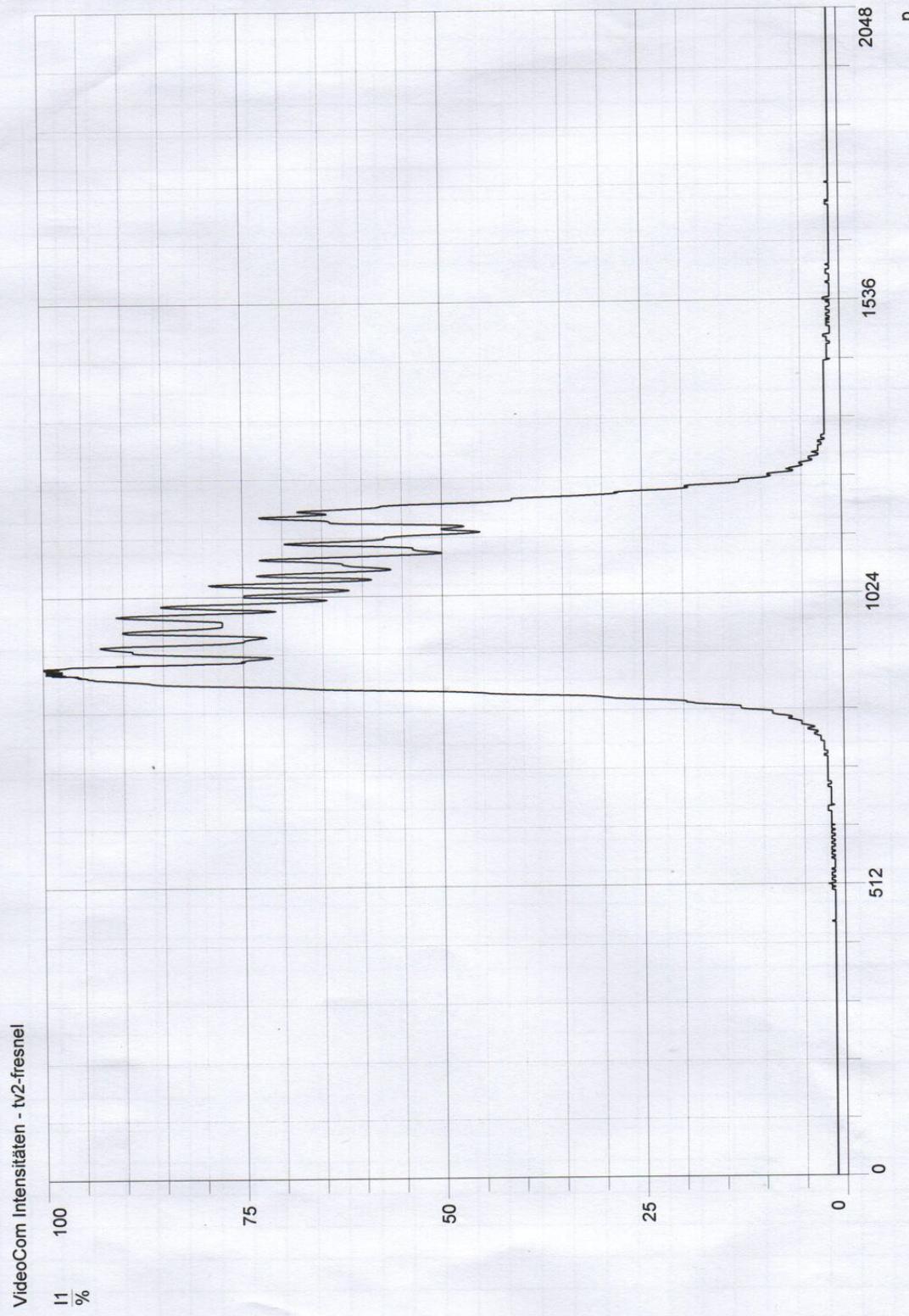
- o Graupitter ~~ist~~ geschocken. ~~(0,0 + 4,0)~~ $(2,0 + 4,0)$
- o duulct

$0,3 + 0,3$

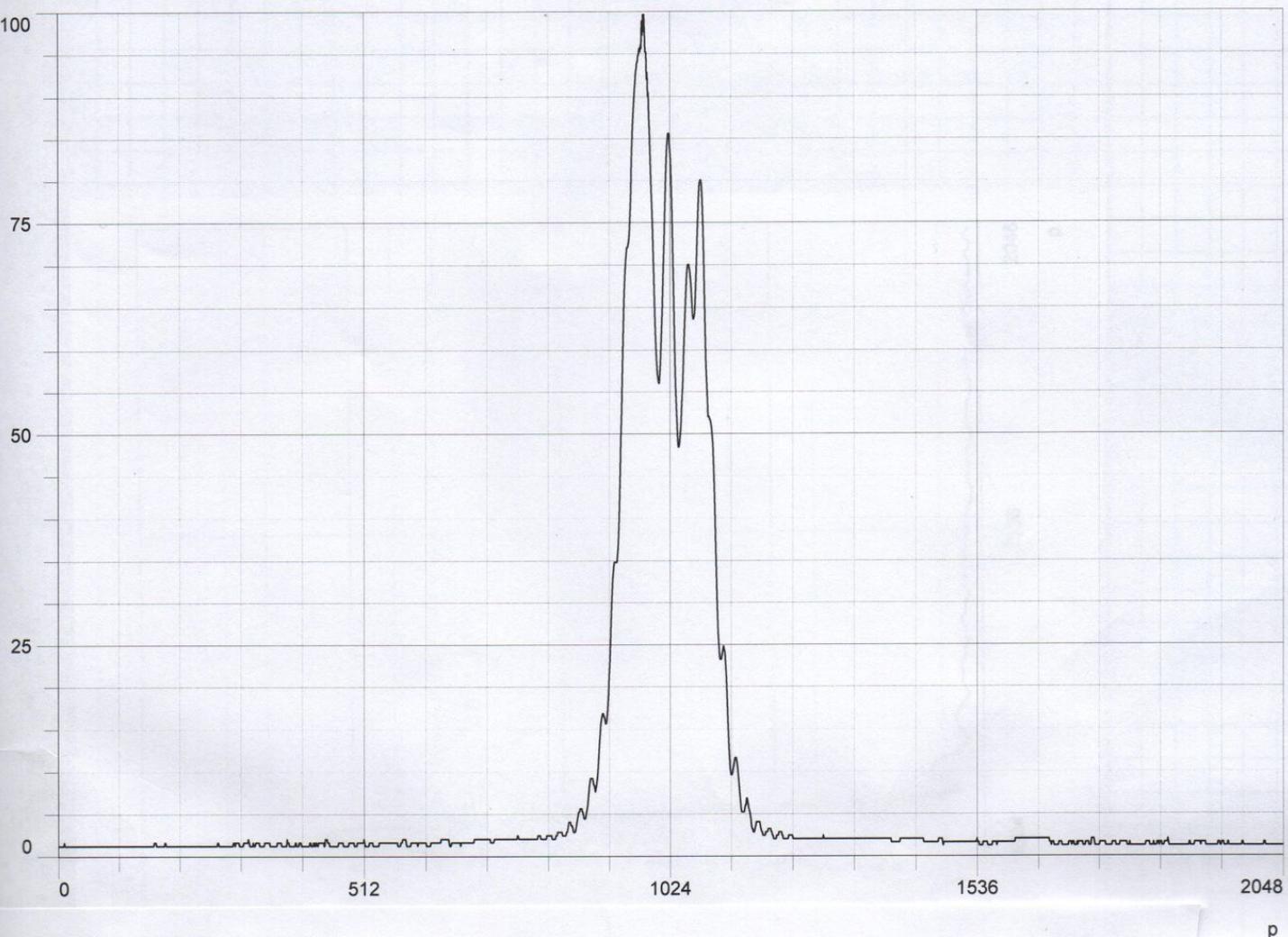
- o Abstand von ~~Kunststoff~~



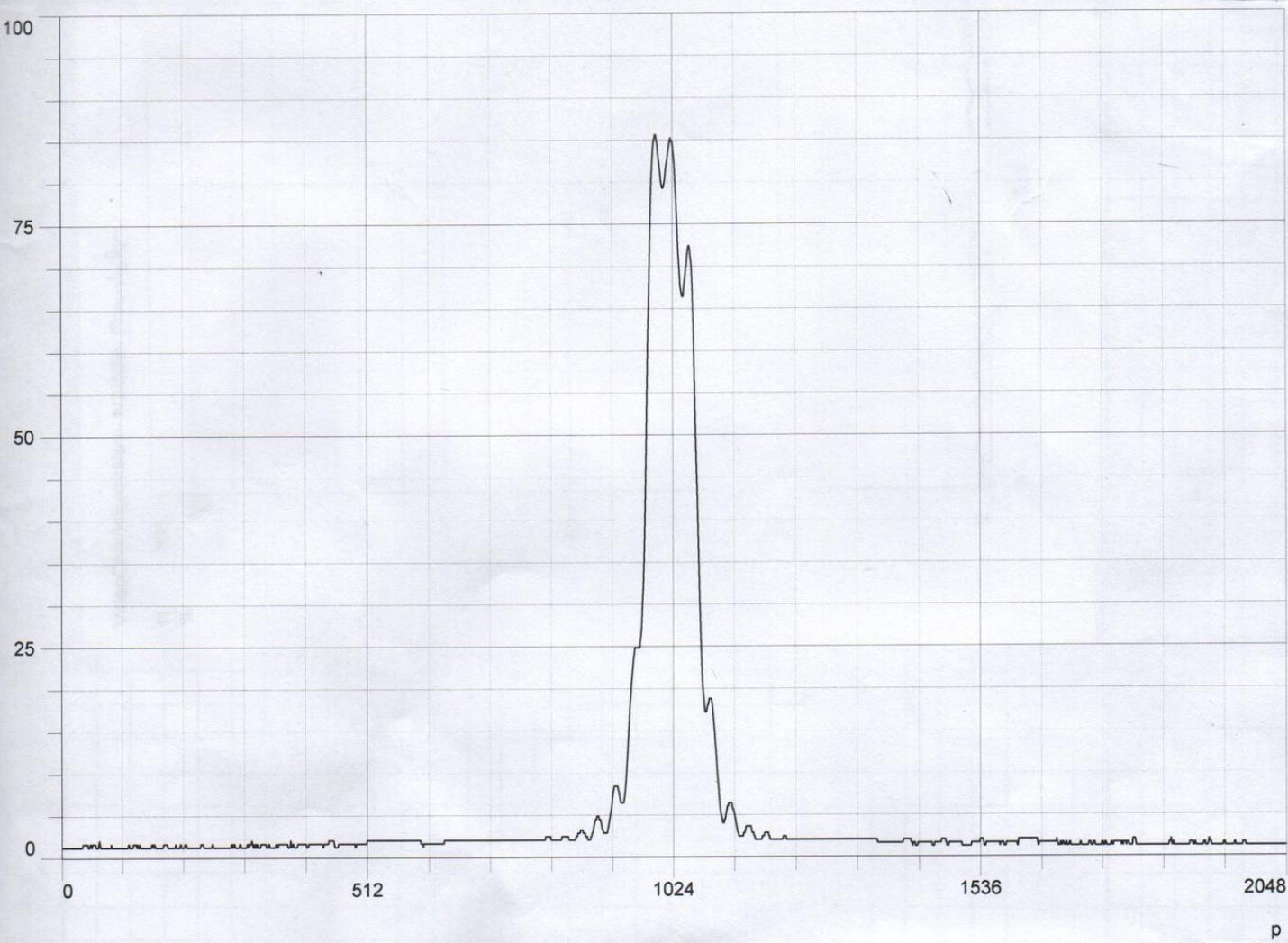
- o Kamera verschieben, um gute Zentrum zu bekommen.
- o $\lambda = 632,9\text{ nm}$.



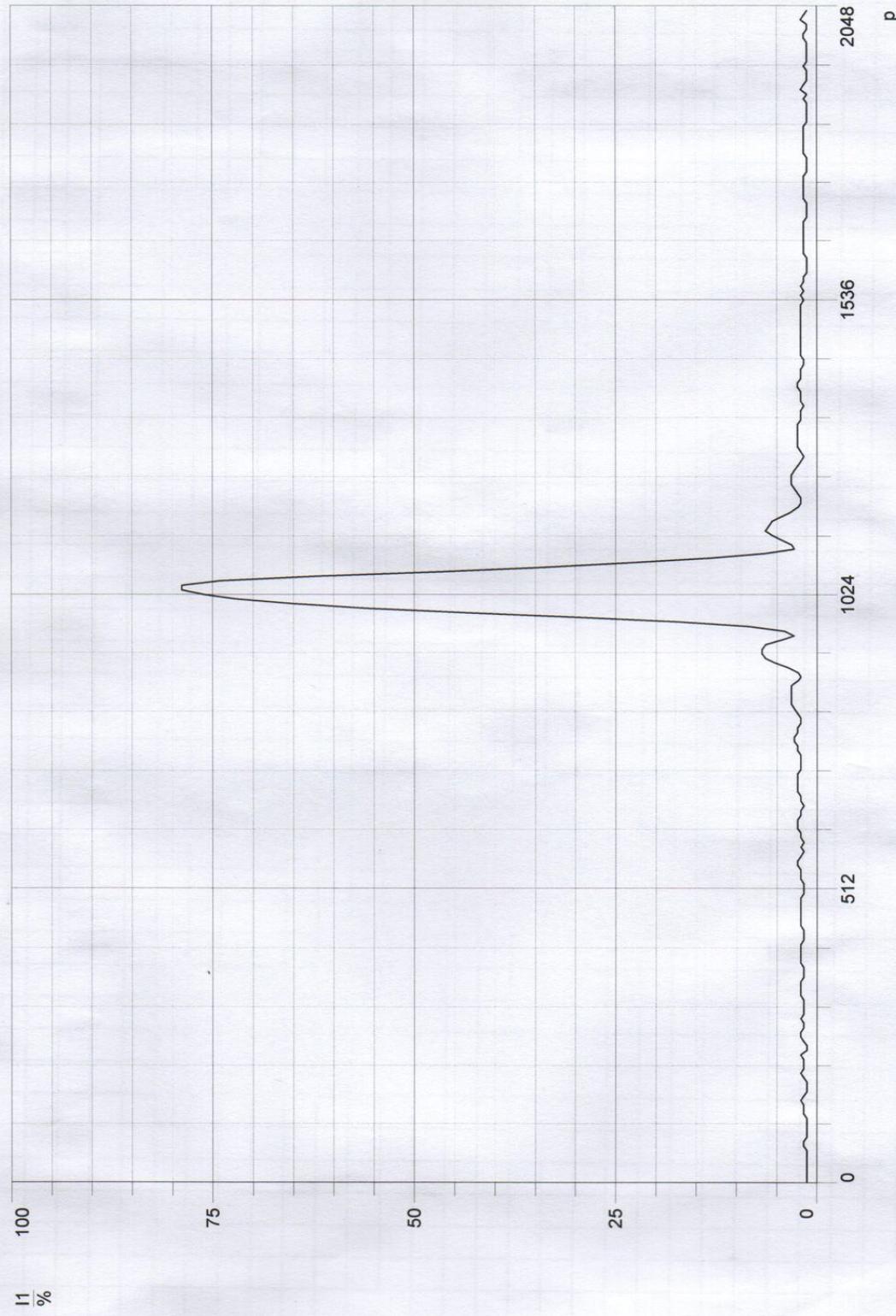
VideoCom Intensitäten - tv2-Übergang



VideoCom Intensitäten - tv2-Übergang-fraunhofer



Videocom Intensitäten - tv2-Mast Raumhoer



Teilversuch 3 Rauschfilter - Bezug am Einflusspunkt.

- Grußfilter: ~~2000~~ 2025 mit $1,9 \pm 2,0$.
- Abstand von Niere von Gläsern \approx Gehäuseende von Camen
 $= (31 \pm 1) \text{ cm}$.
 $\Rightarrow r \approx \text{ca. } 29 \text{ cm.}$

- $\Sigma 5$ bei 2048-Modus.
- Import Data, unter und obere Daten löschen

Octave:
x data: x
y data: VCINT2.
z data: none
weights: none

Custom Equation

$$y = f(x)$$

$$= a \cdot \sin^2\left(\frac{\pi b}{2r}(x-d)\right) + c$$

Fit Options:

Algorithm: Trust-Region

II: Start points:

$$a: 60$$

$$b: 0,0002$$

$$(0,60) \leftarrow c: 1,8$$

Peak Position

$$d: 0,015 \rightarrow \text{haul } (0,01, 0,02)$$

Lower Upper

$$r: 0,29 \rightarrow \text{bound: } 0,25 \quad 0,35$$

$$2: 6,32, 9 \cdot 10^{-9} \rightarrow \text{bound: } 4,00e-9 \quad 7,00e-9$$

\Rightarrow Nach Fit:

$$a = 60,2 (60; 60,4)$$

$$b = 2,149 \cdot 10^{-4} (-46,56; 50,86) \cdot 10^{-4}$$

$$c = 1,424 (1,398; 1,45)$$

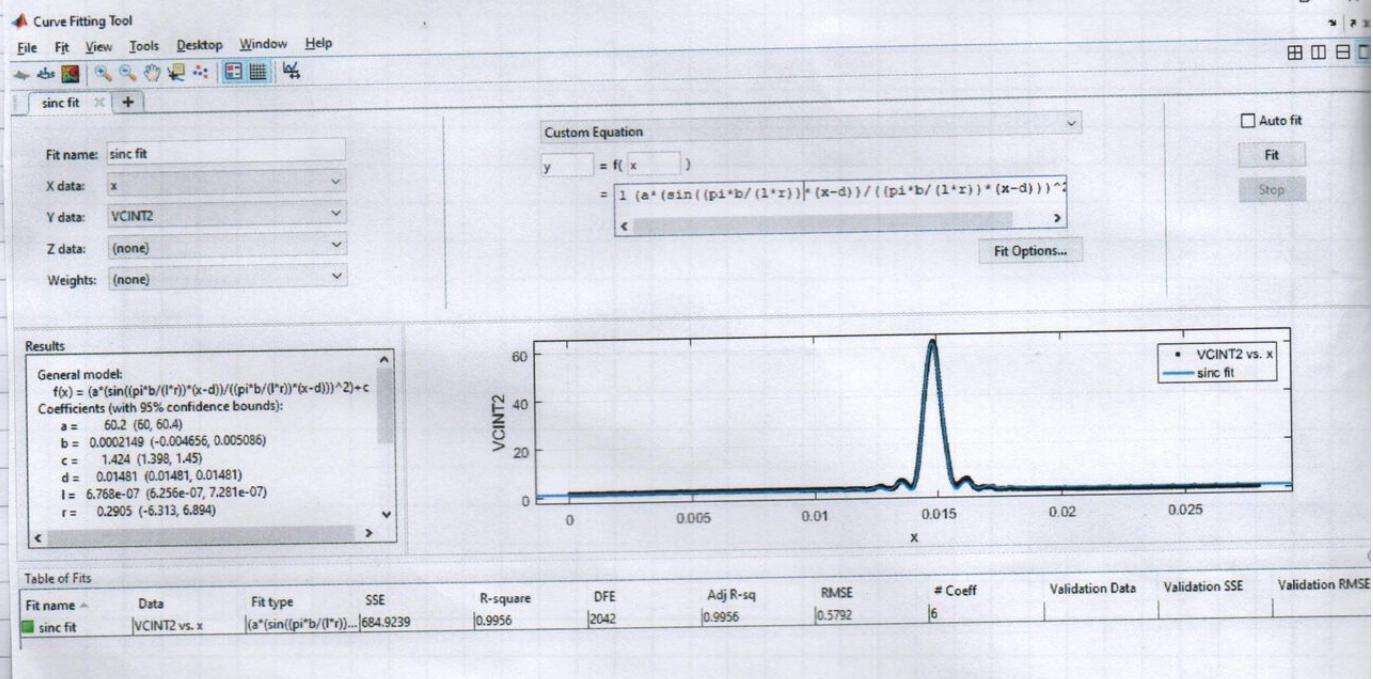
$$d = 0,01481 (0,01481; -0,01481)$$

$$\lambda = 6,768 \cdot 10^{-7} (6,256 \cdot 10^{-7}; 7,281 \cdot 10^{-7})$$

$$r = 0,2905 (-6,313; 6,894)$$

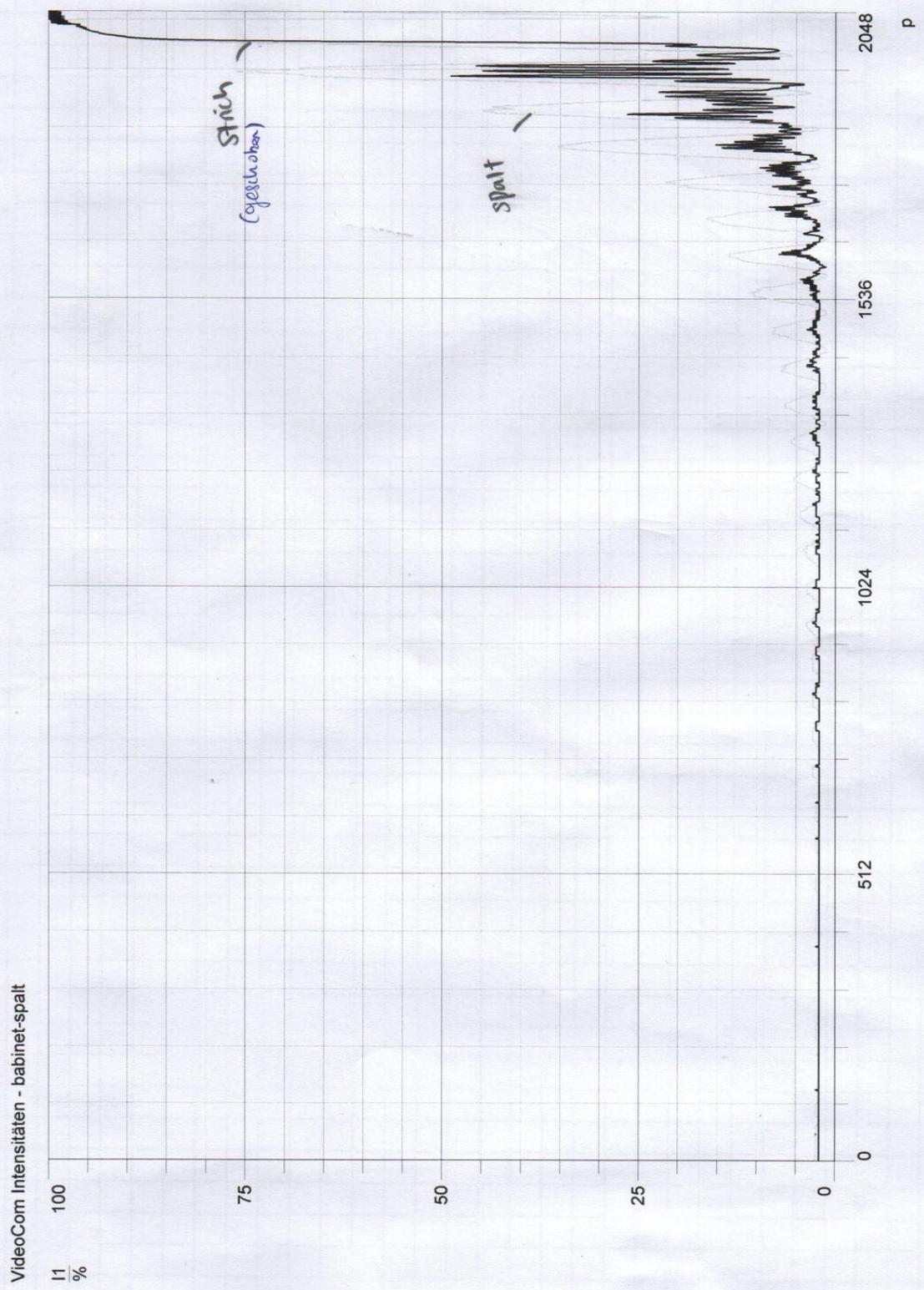
Da Variablen stark korreliert sind:

$$\frac{b_1}{r_1} = \frac{b_2}{r_2}$$



Teilversuch 4: Babinsches Prinzip

- Warum nur ~~ein Teil~~: neben Maxima: Da Hauptmaxima unterscheiden sich. ~~Prakt.~~
- Spalt: Gründler: $(2,0) + (0,3)$
↳ Referenz: 2048 Modus.
Stellung bei 2048 - Punkte.
- Strich: Gründler: $(3,0)$ • Kamera verschoben, sodass nur Nebenmaxima sichtbar sein.



* Bei der Strich war das Kamera geschoben, um die Abstände zu vergleichen / Maxima zur Referenz auszurichten.

• Loch 0,25 mm Durchmesser, auf der Wand.

- Siehe Auswertung für Bilder.
- sodass die Kamera den Laserstrahl nicht blockiert \Rightarrow Schräg aufgenommen
- Schirm war von Hand vor der Wand gehalten
- Schirm schräg zur Wand, sodass Laserstrahl möglichst senkrecht auf Schirm trifft \Rightarrow Beugungsmuster minimal verzerrt.

Blech

~~Teilversuch 5~~ Teilversuch 5: Röntgen-Bragg an Doppelspalt und Mehrfachspalt

Mehrfachspalt	$g=0,25$	$b=0,1$	(2 Spalte)	Photodurchsetzungs - Maximal Schramm wegen Zeitgränder,
	$g=0,25$	$b=0,1$	(3 Spalte)	
	$g=0,25$	$b=0,1$	(4 Spalte)	
	$g=0,25$	$b=0,1$	(5 Spalte)	

Doppelspalt
~~Einzelspalt~~: $(b=0,2)$, $(g=0,25)$, $(b=0,1)$

- Siehe Auswertung für Bilder.

Doppelspalt

$$\begin{array}{ll} b=0,2 & g=0,25 \\ b=0,1 & g=0,2 \\ b=0,1 & g=0,15 \\ b=0,1 & g=0,1 \end{array}$$

Bilder: siehe Auswertung.

$b = \text{Spaltabstand}$

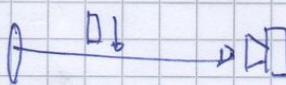
$g = \text{Gratentrennweite}$.



Teilversuch 6 : Raster - Bildung an der Kante

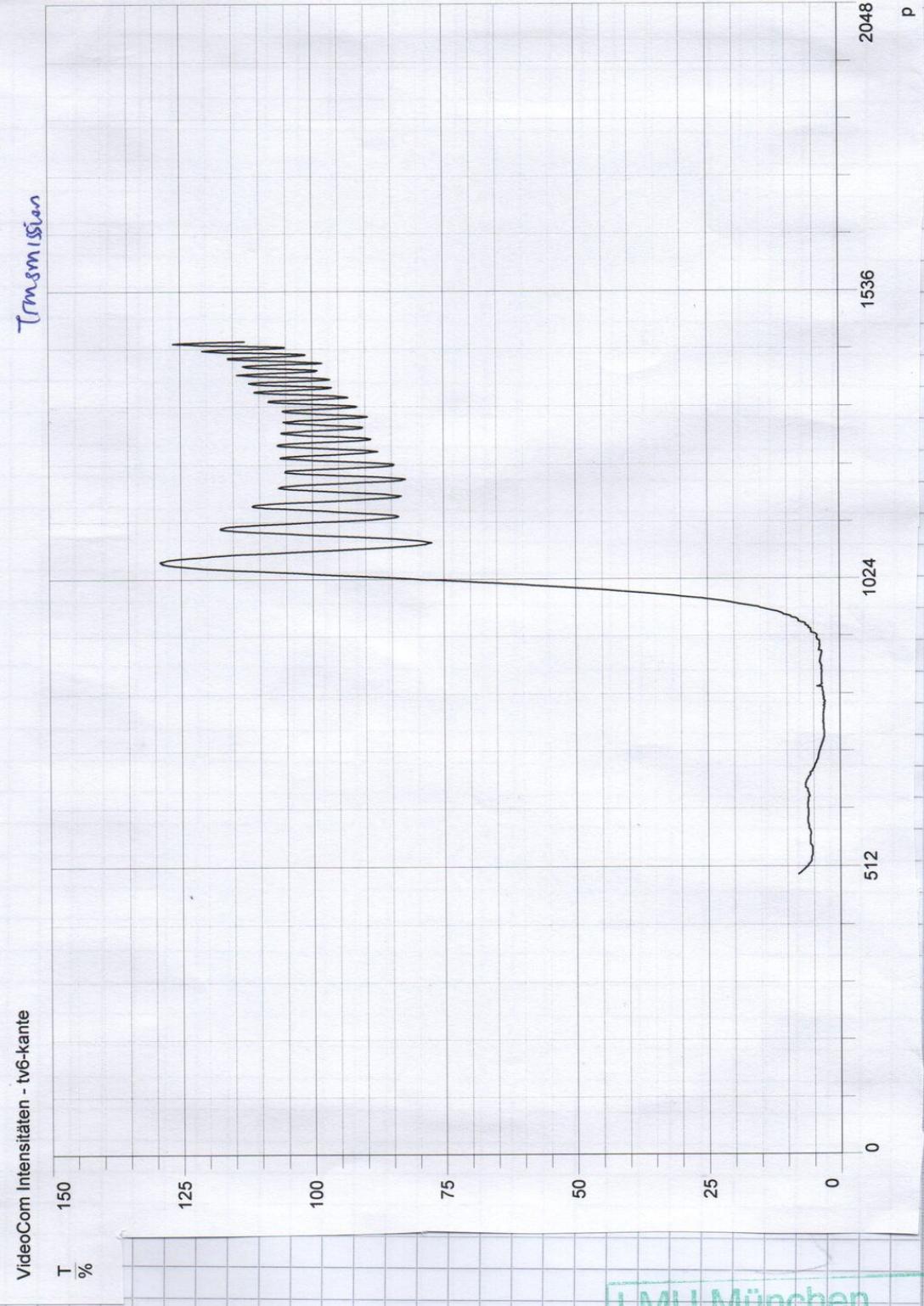
Gratfilter : 3,0.

Kante von Rechts von Camera ~~oben~~ gebraucht .



Vgl. 256 px mit 2048 px:

- 256 Modus \Rightarrow Alias-Effekt
- wir müssen 2048 px Modus verwenden.



LMU München
Physikalische Praktika

Versuch:	B E 4
Datum:	10.03.2021
Betreuer:	F

BEU – Beugung Auswertung

Yudong Sun
Gruppe I4

11. März 2021

Teilversuch 1: Fraunhofer-Beugung am variablen Einfachspalt

Als wir die Spaltbreite schrittweise reduzieren, sehen wir erst den Übergang zwischen Fresnel- und Fraunhofer-Beugung und dann die Fraunhofer-Beugung, was wir im Versuch beobachten und erklären sollen.

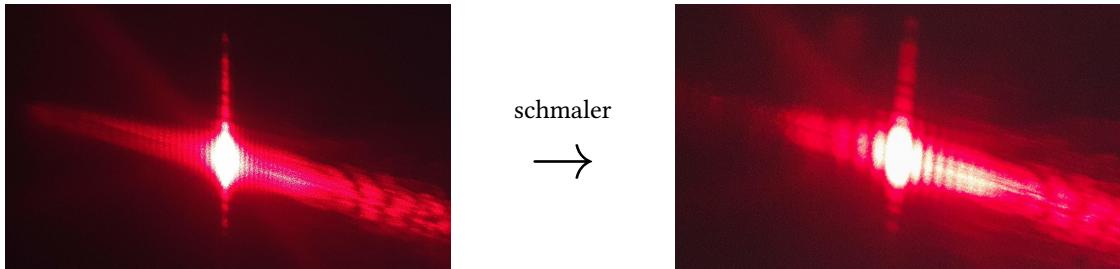


Abbildung 1.1: Fresnel-Fraunhofer Übergang

Das Laserlicht war im Versuch zu hell, um das Fresnelsche Beugungsmuster sehen zu können.

Im Fall der Fraunhoferschen Beugung erfüllt der Abstand zwischen Quelle und Blende¹ R die Relation:

$$R \gg \frac{b^2}{\lambda} \quad (1.1)$$

wobei b die Spaltbreite und λ die Wellenlänge unseres Lasers ist. Man kann unter dieser Bedingung die Kugelwellen als ebene Wellen annähern und die Lage der Intensitätminima im Beugungsbild durch einfache geometrische Betrachtung bestimmen². Es treten somit Minima auf, wenn es gilt:

$$b \sin \theta = m\lambda \implies \frac{b}{\lambda} \sin \theta = m \quad m \in \mathbb{Z} \quad (1.2)$$

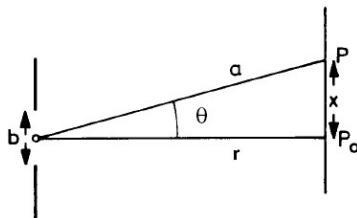


Abbildung 1.2: Abbildung aus Anleitung BEU Seite 10 §1.6
Abbildung 7 links

¹in diesem Fall kleiner als der Abstand zwischen Blend und Beobachtungsort

²Anleitung BEU Seite 9 §1.6

Ist nun der Abstand vom Spalt zum Beobachtungspunkt auf dem Schirm a viel größer als der Abstand vom Zentrum der Beugungsmuster zur Beobachtungspunkt x , dann ist der Winkel θ klein und es gilt die Kleinwinkelnäherung mit $\sin \theta \approx \theta$ und wir erhalten:

$$\frac{b}{\lambda} \theta = m \quad (1.3)$$

In diesem Fall ist a dann näherungsweise $\approx r$, der Abstand vom Spalt zum Schirm. Im Bogenmaß gilt somit, dass $x = r\theta$ bzw. $\theta = x/r$. Eingesetzt erhalten wir:

$$\frac{b}{\lambda} \cdot \frac{x}{r} = m \implies x_m = m \cdot \frac{r\lambda}{b} \quad (1.4)$$

Der Abstand zwischen 2 Minima ist dann gegeben durch:

$$\Delta x = \frac{r\lambda}{b} \quad (1.5)$$

die Minima sind also äquidistant, was wir im Versuch auch beobachtet haben.

Wenn man Spaltbreite verkleinert, war der Beugungsmuster mehr ausgedehnt und der Abstand zwischen die Minima nimmt zu. Das entspricht auch unsere Erwartungen, da Δx proportional zu $\frac{1}{b}$ ist.

Teilversuch 2: Übergang von Fraunhofer- zu Fresnel-Beugung

- Wie lässt sich am Intensitätsverlauf die Anzahl der beteiligten Fresnel-Zonen bestimmen?

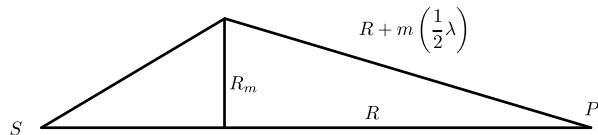
Man kann die Anzahl der beteiligten Fresnel-Zonen (im Zentrum) bestimmen, indem man die Anzahl der Peaks aufzählt.

In meinem Versuch war 11 Peaks beobachtet, also gibt es 5 Peaks und 5 Täler auf beiden Seiten des Zentralpeaks. Jedes Peak bezeichnet eine ungerade Anzahl von Fresnel-Zonen und jeder Tal eine gerade Anzahl. Wo die Intensität an beide Seite abnimmt, sind keine Fresnel-Zone mehr beteiligt. Mit dem Peak im Zentrum ergibt sich somit 11 beteiligten Fresnel-Zonen. Aus Symmetriegründen kann man auch die Anzahl der Peaks direkt zählen, um die Anzahl der beteiligten Fresnel-Zonen zu bestimmen.

- Nehmen Sie parallele Beleuchtung des Spalts an und leiten Sie aus geometrischen Überlegungen die folgende Formel für den Radius R_m der m -ten Fresnelschen Zone ab:

$$R_m = \sqrt{m \cdot R \cdot \lambda} \quad (2.1)$$

Betrachten wir nun das Dreieck von die Quelle S zum Beobachtungspunkt P :



Nach dem Satz des Pythagoras gilt:

$$\left(R + \frac{m}{2}\lambda\right)^2 = R_m^2 + R^2 \quad (2.2)$$

$$\begin{aligned} R_m^2 &= \left(R + \frac{m}{2}\lambda\right)^2 - R^2 = \left[R^2 + \frac{m^2}{2}\lambda^2 + 2R\left(\frac{m}{2}\lambda\right)\right] - R^2 \\ &= mR\lambda + \frac{m^2}{2}\lambda^2 \end{aligned} \quad (2.3)$$

In unserer Betrachtung ist $R \gg \lambda$, also gilt die Annäherung:

$$R_m^2 \approx mR\lambda \implies R_m = \sqrt{mR\lambda} \quad (2.4)$$

was zu zeigen ist.

- Welche Spaltbreite ergibt sich somit beim Aufspalten der Zentralmaximums des Fraunhoferschen Beugungsbildes in zwei Maxima, die durch ein minimum getrennt sind? Berechnen Sie diesen Wert. Ist er realistisch?

Beim Aufspalten der Zentralmaximums des Fraunhoferschen Beugungsbildes in zwei Maxima ist genau zwei Fresnel-Zone beteiligt. Die Spaltbreite muss somit $2 \cdot R_2$ entsprechen.

In dem Versuch ist $R = (30,0 \pm 0,5)$ cm. Da wir während des Versuchs keine Aufwärmezeit berücksichtigt haben, könnte die Wellenlänge des Laser ($\lambda = 632,9$ nm) vom Erwartungswert schwanken. Wir wollen hier aber nur eine Abschätzung machen, deswegen sind alle Fehler vernachlässigt.

Die benötigte Spaltbreite ist somit gegeben durch:

$$\begin{aligned} b &= 2 \cdot R_2 = 2\sqrt{2R\lambda} = 2\sqrt{2(0,300 \text{ m}) (632,9 \cdot 10^{-9} \text{ m})} \\ &= 1,23 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,23 \text{ mm} \quad (3 \text{ sig. Zif.}) \end{aligned} \quad (2.5)$$

Diese Breite ist realistisch.

Teilversuch 3: Fraunhofer-Beugung am Einfachspalt

Die möglichen Fehlerquellen sind:

- Die Messung der Abstand R war ziemlich ungenau, da es schwer ist, das Mittel des Spaltes per Augenmaß zu bestimmen. Man kann auch schwer feststellen, ob das Maßband senkrecht zum Spalt und CCD-Kamera steht, oder sogar, ob der Spalt überhaupt parallel zur CCD Kamera ist.
- Der Laserstrahl war leicht nach unten gekippt. Deswegen trifft er nicht senkrecht auf der Spalte, was zur Änderung im Beugungsmuster führen kann.
- Die Variablen b , λ und R haben hohe Korrelationen, da viele Wertepaare das gleiche Verhältnis ergibt. Obwohl wir während des Fits im MATLAB die obere und untere Beschränkungen festgelegt haben, gibt es immer noch viel Spielraum. Beispielsweise ist die gefundene Wellenlänge des Lasers 676,8 nm, was viel länger im Vergleich zu unserem Literaturwert ist. Die Unsicherheiten aus MATLAB sind deswegen ziemlich hoch, mit einer Unsicherheit bei der Fitparameter b von $\approx \pm 48 \cdot 10^{-4}$ m.

- Es könnte auch sein, dass die Umgebungsbeleuchtung nicht gleichmäßig auf der CCD-Kamera fällt, was das Fit-Paramter c nicht berücksichtigen kann.

Teilversuch 4: Babinet'sches Theorem

Spalt/Streifen

Das Beugungsmuster vom Spalt ist viel schöner als das vom Strich. Es gab viel Rauschen und für jedem Peak im Beugungsmuster des Spaltes gibt es viele kleine Peaks im Beugungsmuster des Striches. Grob kann man aber erkennen, dass die Peak-Intensitäten der beiden Beugungsmustern vielleicht an dem gleichen Positionen liegen (was unsere Theorie besagt). Der Abstand zwischen jeder dieser einhüllenden Maximalen bleibt aber ungefähr gleich.

Im Experiment war aber eine Verschiebung in dem Beugungsmuster zu erkennen. Ob das an einem experimentellen Fehler (zum Beispiel beim Umdrehen des Glasplättchens) oder an einer physikalisch grundlegende Ursache liegt, weiß ich leider nicht. Im Nachhinein sollte ich das ungeschobene Beugungsmuster des Striches auch ausgedrucken lassen, aber leider habe ich das Kamera schon geschoben.

Loch/Punkt

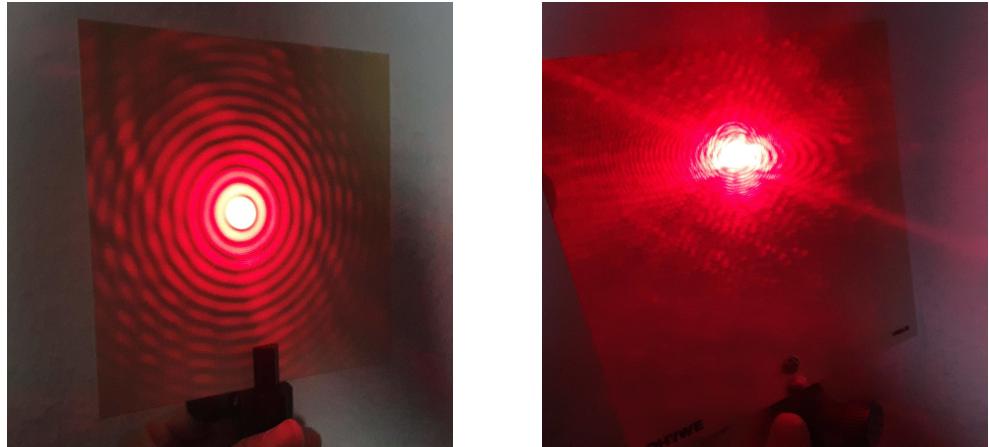


Abbildung 4.1: Beugungsmuster vom Loch (links) und Punkt (rechts)

Das Beugungsmuster mit dem Loch hat einen höheren Kontrast im Vergleich zu dem mit dem Punkt. Dies könnte daran liegen, dass der Punkt nicht genau mittig im Laserstrahl stand. Es gibt aber im beiden Fällen etwa konzentrische kreisförmige Interferenzstreifen. Laut dem Babinet'schen Theorem sollen komplementäre Blende das gleiche Interferenzmuster erzeugen. Da der Punkt und das Loch komplementär zueinander sind, entspricht unsere Beobachtung unsere Erwartungen.

Im Fall des Punkts ist das Beugungsmuster sehr verzehrt und unsymmetrisch. Das Grund weiß ich nicht genau, aber vermutlich liegt es an dem Glasplättchen, das nicht senkrecht zum Laserstrahl lag.

Im Allgemein aber: je ferner man ist vom Zentrum, desto dunkler unseres Interferenzmuster ist. Dies liegt daran, dass der Strahl Gaussförmig ist und die Intensität nimmt mit zunehmender Radius vom Zentrum.

Man erkennt außerdem (besonders im Fall des Lochs), dass es anscheinend ein einhüllende Beugungsmuster außenrum gibt. Das könnte ein Artefakt des ursprünglichen Laserstrahl sein. Genau kann ich leider nicht erklären.

Teilversuch 5: Fraunhofer-Beugung an Doppelspalt und Mehrfachspalt

Aus zeitlichen Gründen ist dieses Teilversuch für alle von Marlene Schramm durchgeführt. Die Bilder für den Doppelspalt sind von Marlene Schramm aufgenommen und die Bilder für den Mehrfachspalt sind von mir aufgenommen.

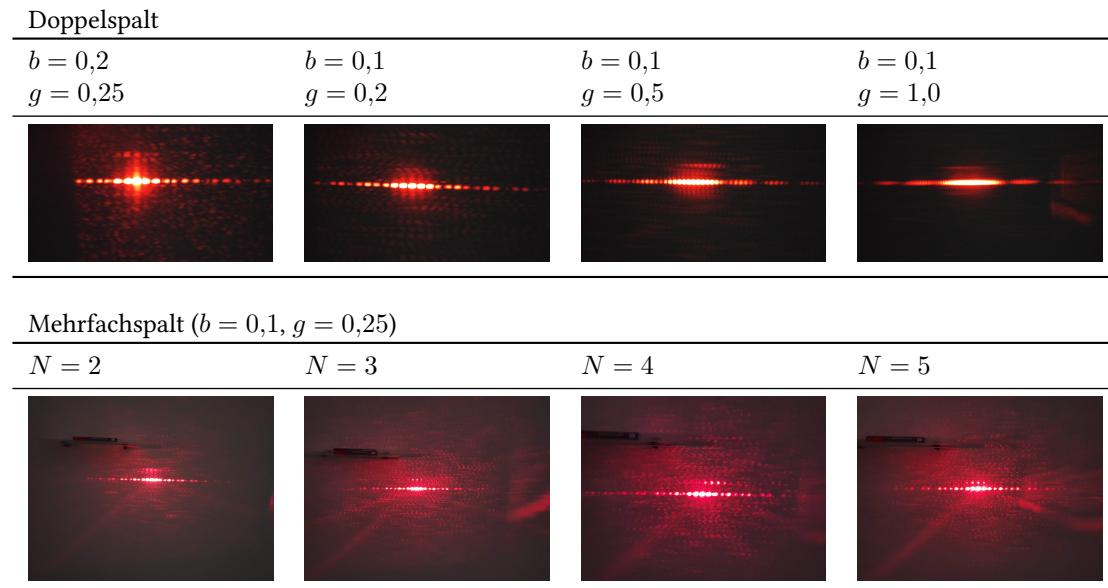


Abbildung 5.1: Beugungsmuster von Doppelspalt und Mehrfachspalt am Wand

Aus der Anleitung gilt die Gleichung:

$$I(\phi) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \phi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \phi} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{N\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)} \right)^2 \quad (5.1)$$

Es gibt hier zwei Faktoren, die zur Intensität dieses Mustersbeiträgt. Der erste Faktor ist die sinc Funktion, die aus einem Einzelpunkt stammt. Die Intensität ist also immer von dieser einhüllende Faktor begrenzt. Wir beobachten in allen Beugungsmuster, dass die Intensität abnimmt, je ferner man vom Zentrum ist. Dieser Faktor erklärt dieses Phänomen. Außerdem erkennt man deswegen, dass das einhüllende Intensitätsprofil bei $b = 0,2$ schmäler ist als bei $b = 0,1$, da die Breite dieser Einhüllende direkt vom b abhängt.

Im Fall des Doppelspalts gilt:

$$I(\phi) = \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda} \sin \phi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda} \sin \phi} \right)^2 \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)} \right)^2 \quad (5.2)$$

Mit dem gleichen b und unterschiedlichem g ist nur die 2. Faktor entscheidend und zwar:

$$I(\phi) \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{2\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)} \right)^2 \quad (5.3)$$

Der Parameter g entscheidet also wie breit jede einzelne Maxima ist. Je größer das g , desto kleiner das einzelne Maximum ist. Das ist genau was wir bei den rechten 3 Bildern der ersten Reihe erkennen. Bei $g = 1,0$ sind die Maxima so schmal, dass die Kamera wegen der Intensität des Laserstrahls sogar nicht gut unterscheiden konnte.

Im Fall des Mehrfachspalts mit gleichen b und g gilt:

$$I(\phi) \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{N\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)}{\sin\left(\frac{\pi g}{\lambda} \sin \phi\right)} \right)^2 \quad (5.4)$$

Der Parameter N entscheidet wiederum wie breit jede einzelne Maxima ist, aber da es nur im Zähler steht, ist das Effekt deutlich kleiner, was auch im Versuch zu beobachten ist.

Teilversuch 6: Fresnel Beugung an der Kante

Aus der Anleitung soll die Transmission so aussehen:

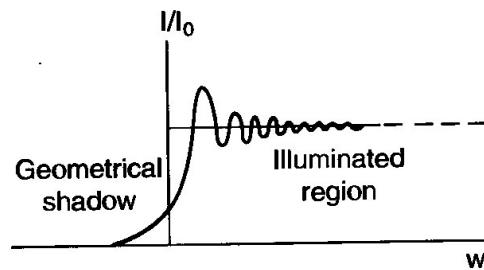


Abbildung 6.1: Abbildung aus Anleitung BEU Seite 14 §1.9 Abbildung 10 rechts

Also zeigt die Intensität auf der Lichtseite Maxima und Minima. Die Amplitude dieser Oszillation soll auch mit zunehmender Entfernung vom Schatten abnehmen.

Das ist genau was wir im Experiment beobachtet haben. Ein Unterschied ist aber, dass die Transmission mit zunehmender Pixelzahl zunimmt. Das liegt vermutlich daran, dass den Laserstrahl eine endliche Durchmesser hat.