

VERSUCHSBERICHT ZU

O7 - BEUGUNG AM SPALT, DOPPELSPALT UND GITTER

Gruppe 14Mo

Alexander Neuwirth (E-Mail: a_neuw01@wwu.de)
Leonhard Segger (E-Mail: l_segg03@uni-muenster.de)

durchgeführt am 23.04.2018
betreut von
Lukas Britt

29. April 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	3
2	Methoden	3
3	Ergebnisse und Diskussion	4
3.1	Beobachtung	4
3.1.1	Bestimmen der Wellenlänge des Laserlichts	4
3.1.2	Gitterzeug	6
3.2	Diskussion	9
3.2.1	Wellenlänge des Lasers	9
3.2.2	Vergleich von Einzelspalt und Doppelspalt	9
3.2.3	Vergleich verschiedener Doppelspalte	11
4	Schlussfolgerung	11

1 Kurzfassung

Für die Wellenlänge des Laserlichts erwarten wir eine Wellenlänge von 630 nm bis 680 nm, da dies die Angabe auf dem Laser war. Bei der Intensitätsverteilung eines Einzelspalts ist ein Verlauf gemäß der Funktion $(\sin \beta / \beta)^2$ zu erwarten. Beim Doppelspalt erwartet man eine Oszillation mit der Intensitätsverteilung des Einzelspalts mit selber Spaltbreite als einhüllende Funktion. Der Vergleich der Intensitätsverteilung von Doppelspalten mit verschiedenen Spaltabständen und Spaltbreiten sollte sich in der Erwartung wie in der Theorie verhalten (vgl. Abb. 8). Außerdem erwarten wir bei Mehrfachspalten einen Anstieg der Intensität der Hauptmaxima mit der Anzahl der Spalte. Dies konnte für kleine Spaltzahlen bestätigt werden. Die Halbwertsbreite der Hauptmaxima hat wie erwartet mit steigender Spaltzahl zugenommen.

2 Methoden

In Abb. 1 ist der Aufbau des Experiments illustriert. An einem Ende der optischen Bank befindet sich ein Diodenlaser und davor ein Polarisator und der Halter für Spalte. Am anderen Ende der optischen Bank ist eine durch eine Kurbel senkrecht zu optischen Bank zu bewegend Photodiode angebracht. Die Halterung der Photodiode ist über ein Seil mit einem Rad verbunden, um die Intensitätsmessung der Diode mit der Position der Diode im Strahlengang zu verbinden. Nun kann eine Spaltanordnung in die Halterung gebracht werden und durch Bewegung der Photodiode über die optische Bank die Intensitätsverteilung der Spalte bestimmt werden. Dies wurde für unterschiedliche Spalte durchgeführt.

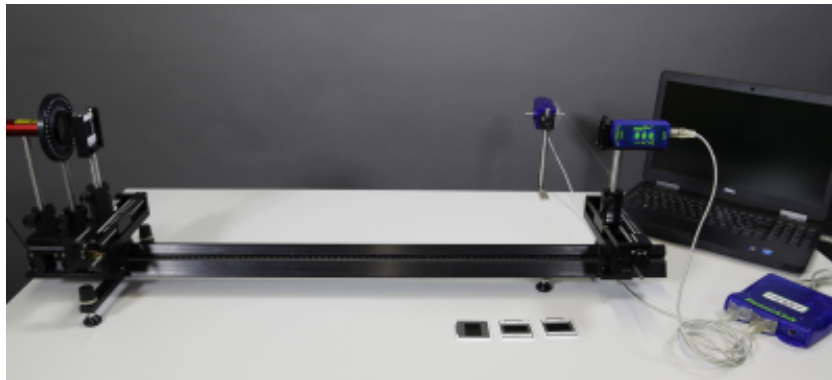


Abbildung 1: Aufbau der optischen Bank. Auf der linken Seite sind Laser und Beugungsanordnung und auf der rechten Seite die Photodiode zu sehen.[1]

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Beobachtung

3.1.1 Bestimmen der Wellenlänge des Laserlichts

In Abschnitte 3.1.1 bis 3.1.1 sind für Einzelspalte der Breite $b = 0,075 \text{ mm}$, $0,15 \text{ mm}$ und $0,4 \text{ mm}$ die Intensitätsverteilungen dargestellt. Die Unsicherheit der Breite wird mit 1% abgeschätzt. Mit Gleichung (1) lässt sich aus der Positionen von einem Minimum ($m = \pm 1, \pm 2, \dots$) oder Maximum ($m = \pm \frac{3}{2}, \pm \frac{5}{2}, \dots$) die Wellenlänge λ berechnen.

$$\sin(\vartheta) = m \frac{\lambda}{b} \quad (1)$$

Der Winkel $\sin(\vartheta)$ ergibt sich nach Gleichung (2) aus dem Abstand des Gitters zum Schirm $d = (0,780 \pm 0,009) \text{ m}$ und der Position des Extremas x .

$$\sin(\vartheta) = \frac{x}{\sqrt{d^2 + x^2}} \quad (2)$$

Für die Wellenlänge folgt:

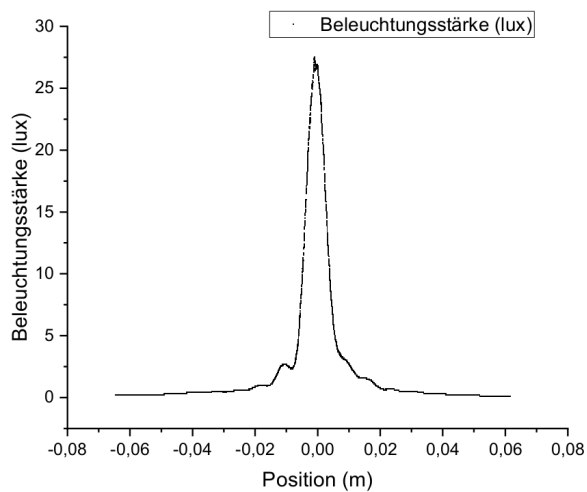
$$\lambda = \frac{b}{m \sqrt{(d/x)^2 + 1}} \quad (3)$$

$$u(\lambda) = \frac{\lambda}{d^2 + x^2} \sqrt{\left(\frac{d^2}{x} u(x)\right)^2 + \left(\frac{(d^2 + x^2)}{b} u(b)\right)^2 + (du(d))^2} \quad (4)$$

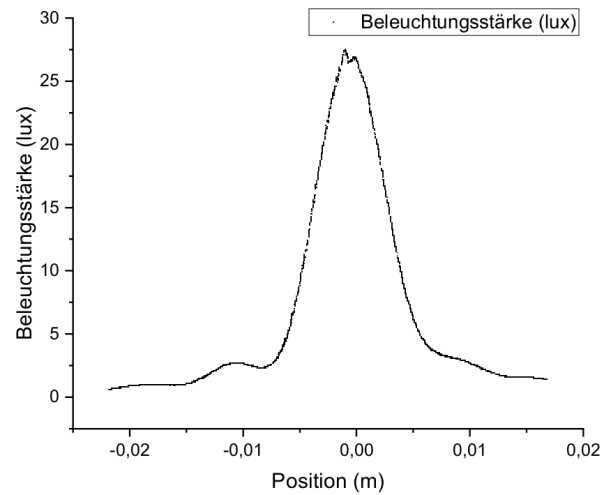
Tabelle 1: Aus Extrema ermittelte Wellenlängen für verschiedene Spaltbreiten.

b	m	$ x $	λ
$(0,0750 \pm 0,0008) \text{ mm}$	-1,5	$(10,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(641 \pm 16) \text{ nm}$
$(0,0750 \pm 0,0008) \text{ mm}$	-1,0	$(7,5 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(673 \pm 22) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	1,5	$(5,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(641 \pm 27) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	1,0	$(4,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(770 \pm 40) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	-1,5	$(4,9 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(628 \pm 27) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	-1,0	$(3,5 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(673 \pm 40) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	2,5	$(9,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(692 \pm 19) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	2,0	$(7,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(673 \pm 22) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	-2,5	$(8,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(615 \pm 18) \text{ nm}$
$(0,1500 \pm 0,0015) \text{ mm}$	-2,0	$(7,0 \pm 0,2) \text{ mm}$	$(673 \pm 22) \text{ nm}$
$(0,400 \pm 0,004) \text{ mm}$	1,5	$(1,80 \pm 0,02) \text{ mm}$	$(615 \pm 16) \text{ nm}$
$(0,400 \pm 0,004) \text{ mm}$	1,0	$(1,30 \pm 0,02) \text{ mm}$	$(667 \pm 14) \text{ nm}$
$(0,400 \pm 0,004) \text{ mm}$	-1,5	$(1,90 \pm 0,02) \text{ mm}$	$(650 \pm 12) \text{ nm}$
$(0,400 \pm 0,004) \text{ mm}$	-1,0	$(1,30 \pm 0,02) \text{ mm}$	$(667 \pm 14) \text{ nm}$

Der Mittelwert der Wellenlängen aus Tabelle 1 beträgt $\bar{\lambda} = (663 \pm 11) \text{ nm}$.

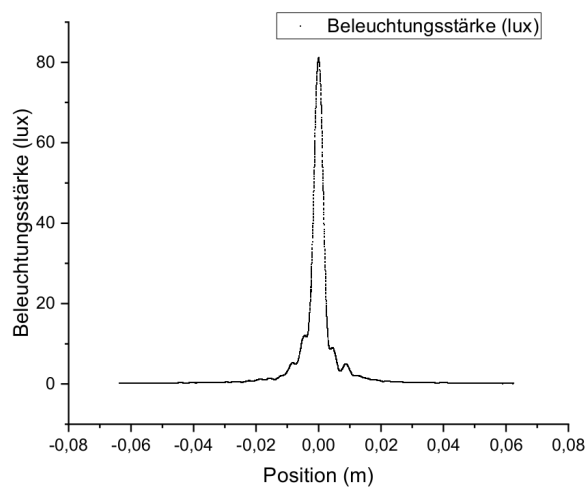


(a) Gesamte Messung

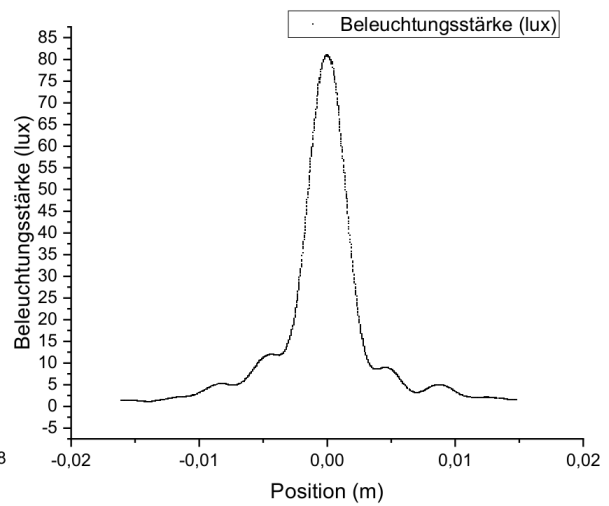


(b) Extrema niedriger Ordnung

Abbildung 2: Intensitätsverteilung für einen Einzelspalt mit der Spaltbreite $b = 0,075$ mm.



(a) Gesamte Messung



(b) Extrema niedriger Ordnung

Abbildung 3: Intensitätsverteilung für einen Einzelspalt mit der Spaltbreite $b = 0,15$ mm.

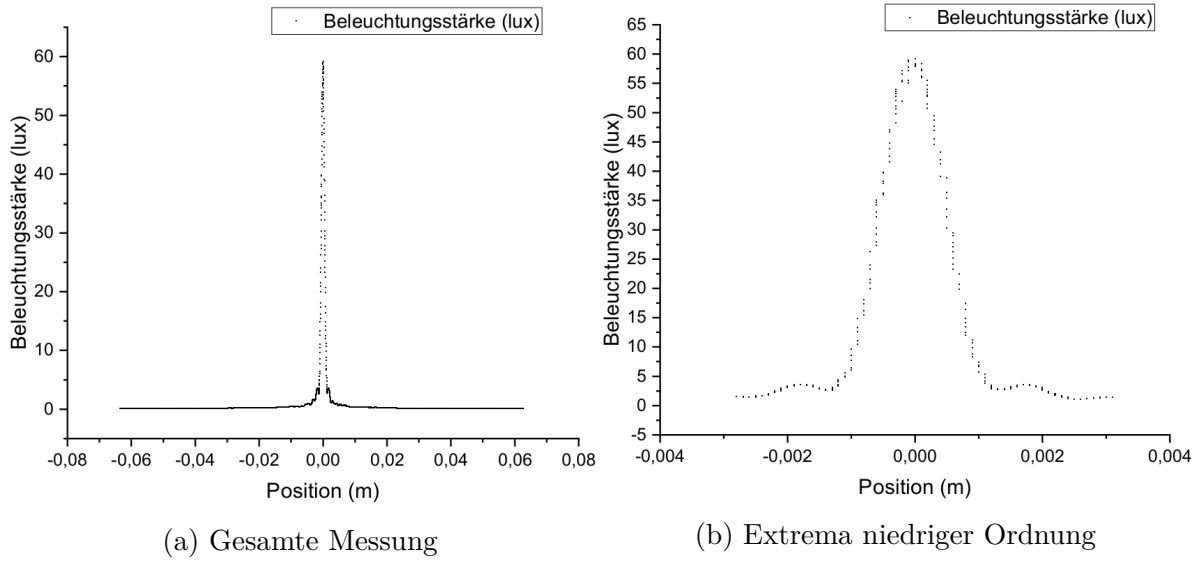
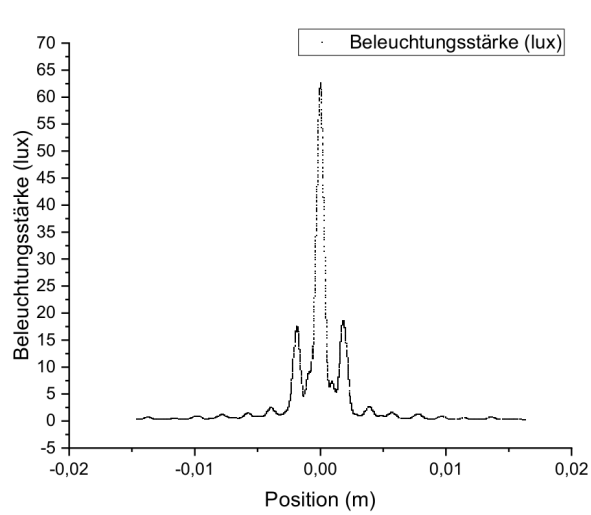


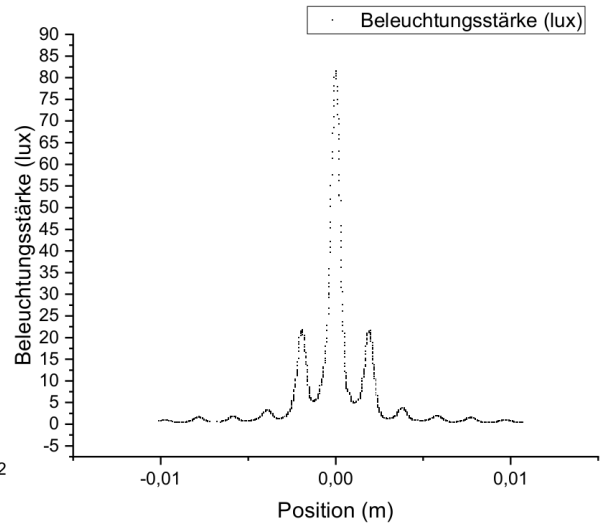
Abbildung 4: Intensitätsverteilung für einen Einzelspalt mit der Spaltbreite $b = 0,4 \text{ mm}$.

3.1.2 Gitterzeug

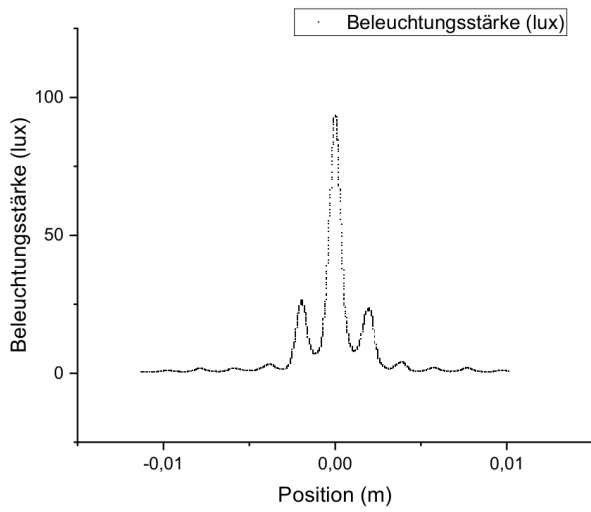
In Abb. 5 sind die Intensitätsverteilungen von Mehrfachspalten mit $N = 3, 4, 5$ und 40 dargestellt.



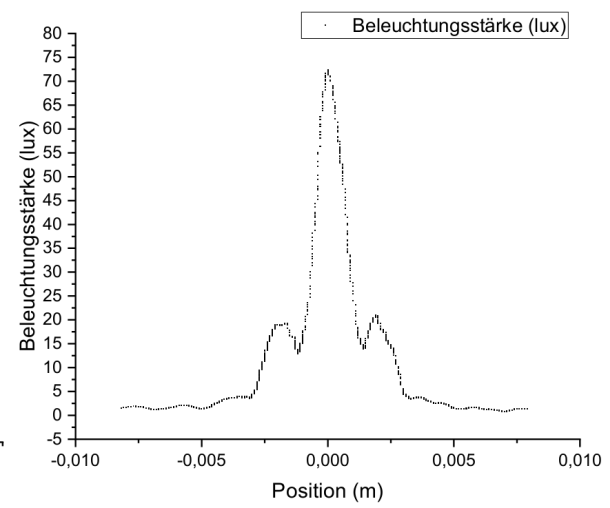
(a) $N=3$



(b) $N=4$



(c) $N=5$



(d) $N=40$

Abbildung 5: Intensitätsverteilungen verschiedener Mehrfachspalte ($b=0,15$ mm, $g=0,25$ mm).

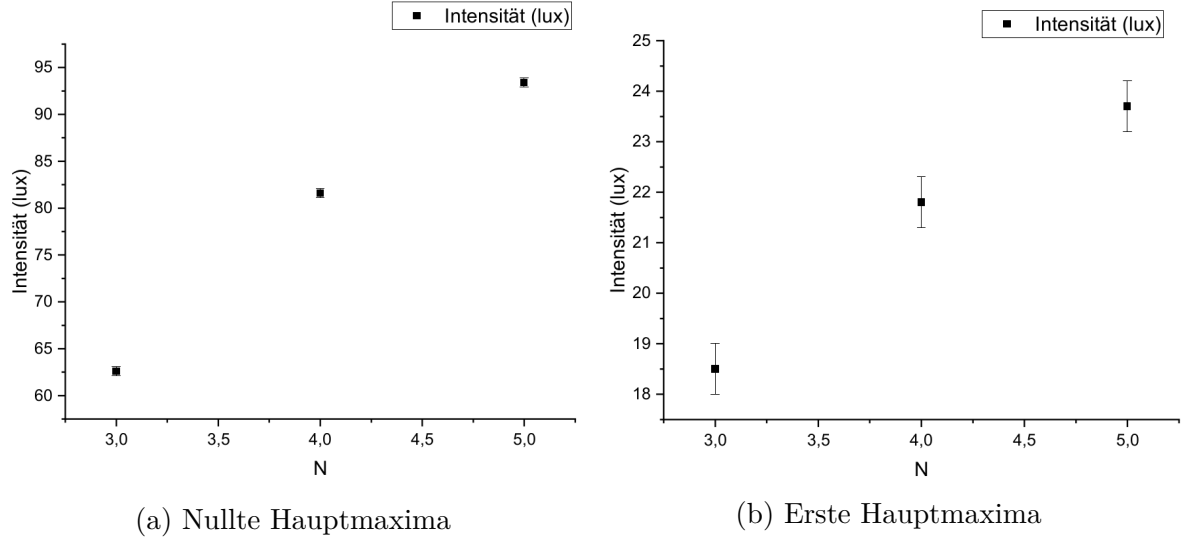


Abbildung 6: Intensitäten der Maxima unterschiedlicher Mehrfachspalte ($b = 0,15$ mm, $g=0,25$ mm).

Der Formfaktor wurde in dem Theorieteil wie folgt definiert:

$$I_m \propto \left[\frac{\sin(m\pi b/g)}{m\pi b/g} \right]^2 \quad (5)$$

Folglich ist

$$I_1/I_0 = \left[\frac{\sin(\pi b/g)}{\pi b/g} \right]^2 \quad (6)$$

und das Verhältnis b/g lässt sich bestimmen indem man $\text{sinc}(\pi x)$ graphisch gleich dem Verhältnis I_1/I_0 setzt (unter der einschränkenden Voraussetzung $b/g < 1$, da $\text{sinc}(x)$ sonst nicht umkehrbar ist). Die Intensitäten der ersten zwei Hauptmaxima und deren Halbwertsbreite sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Intensitäten und Halbwertsbreiten der Maxima unterschiedlicher Mehrfachspalte ($b=0,15$ mm, $g = 0,25$ mm).

N	Intensität 0.HM	Intensität 1.HM	Halbwertsbreite
3	$(62,6 \pm 0,5)$ lux	$(18,5 \pm 0,5)$ lux	$(0,000\,60 \pm 0,000\,02)$ m
4	$(81,6 \pm 0,5)$ lux	$(21,8 \pm 0,5)$ lux	$(0,000\,60 \pm 0,000\,02)$ m
5	$(93,4 \pm 0,5)$ lux	$(23,7 \pm 0,5)$ lux	$(0,000\,80 \pm 0,000\,02)$ m
40	$(72,3 \pm 0,5)$ lux	$(18,9 \pm 0,5)$ lux	$(0,001\,40 \pm 0,000\,02)$ m

Ein Hauptmaximum erster Ordnung erfüllt die Bedingung

$$\sin(\vartheta) = \pm \frac{\lambda}{g} \quad (7)$$

somit lässt sich aus der Position des Hauptmaximums mit Gleichung (2) und der Wellenlänge λ die Gitterkonstante g bestimmen.

$$g = \lambda \sqrt{(d/x)^2 + 1} \quad (8)$$

$$u(g) = g \sqrt{\left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2 + \left(\frac{u(d)d}{d^2 + x^2}\right)^2 + \left(\frac{u(x)d^2}{x(d^2 + x^2)}\right)^2} \quad (9)$$

Die Positionen des ersten Hauptmaximums war unabhängig von der Anzahl der Spalte $|x| = (0,0021 \pm 0,0001)$ m und mit einem λ von (663 ± 11) nm und $d = (0,780 \pm 0,009)$ m ergibt sich $g = (0,246 \pm 0,013)$ mm. Aus dem zuvor ermittelten Verhältnis von b/g lässt sich nun auch b bestimmen. Die jeweiligen Werte sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Verhältnis zwischen erstem und nulltem Hauptmaximum.

N	3	4	5	40
I_1/I_0	$0,290 \pm 0,008$	$0,270 \pm 0,006$	$0,250 \pm 0,005$	$0,260 \pm 0,007$
b/g	$0,570 \pm 0,005$	$0,590 \pm 0,005$	$0,600 \pm 0,005$	$0,600 \pm 0,005$
g	$(0,246 \pm 0,013)$ mm	$(0,246 \pm 0,013)$ mm	$(0,246 \pm 0,013)$ mm	$(0,246 \pm 0,013)$ mm
b	$(0,140 \pm 0,007)$ mm	$(0,145 \pm 0,008)$ mm	$(0,147 \pm 0,008)$ mm	$(0,147 \pm 0,008)$ mm

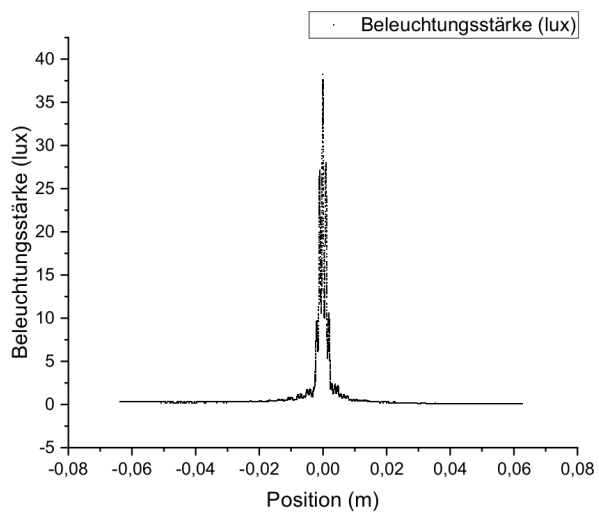
3.2 Diskussion

3.2.1 Wellenlänge des Lasers

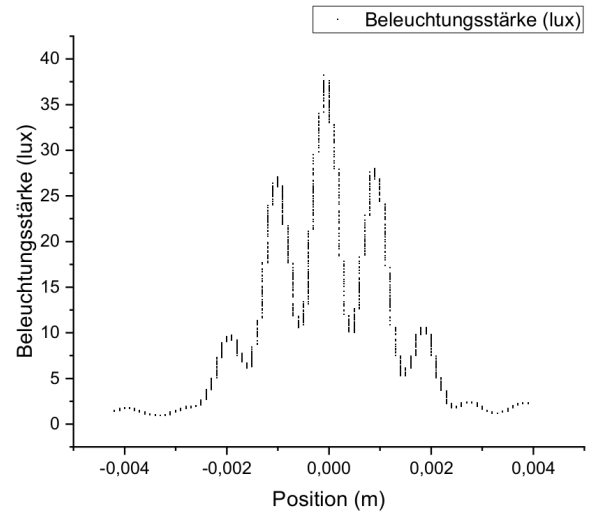
Aus den Extrema der Einzelspalte wurde eine Wellenlänge des Lasers von (663 ± 11) nm bestimmt. Dies deckt sich mit der Angabe von 630 nm bis 680 nm auf dem Laser.

3.2.2 Vergleich von Einzelspalt und Doppelspalt

Wenn man die Intensitätsverteilung eines Einzelspalts mit $b = 0,15$ mm (vgl. Abschnitt 3.1.1) mit einem Doppelspalt mit gleicher Spaltbreite vergleicht (vgl. Abschnitt 3.2.2), lässt sich erkennen, dass die Maxima höherer Ordnung des Doppelspalts eine deutlich höhere Intensität verglichen mit dem Maxima nullter Ordnung haben als beim Einzelspalt. Außerdem liegen die Maxima bei unterschiedlichen Positionen, was der Theorie entspricht, da sie von g abhängig sind. Dass die Einhüllende des Doppelspalts der Intensitätsverteilung des Einzelspalts entspricht, lässt sich aus den Messungen nicht hinreichend eindeutig ablesen.



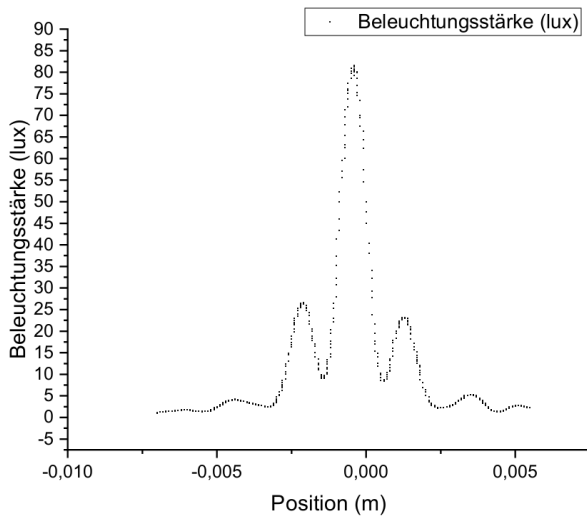
(a) Gesamte Messung



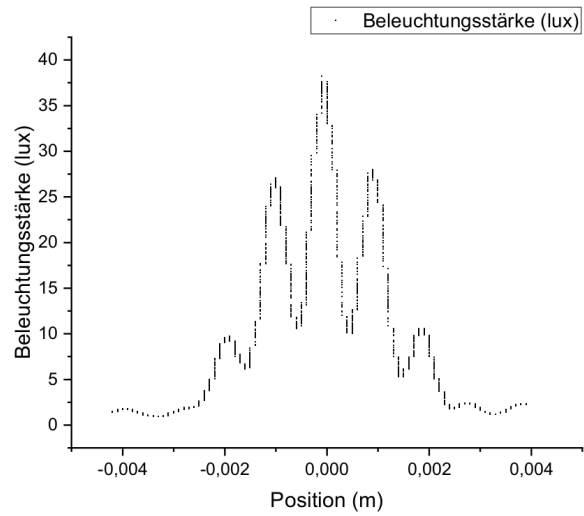
(b) Extrema niedriger Ordnung

Abbildung 7: Intensitätsverteilung für einen Doppelspalt mit der Spaltbreite $b = 0,15 \text{ mm}$ und $g = 0,5 \text{ mm}$.

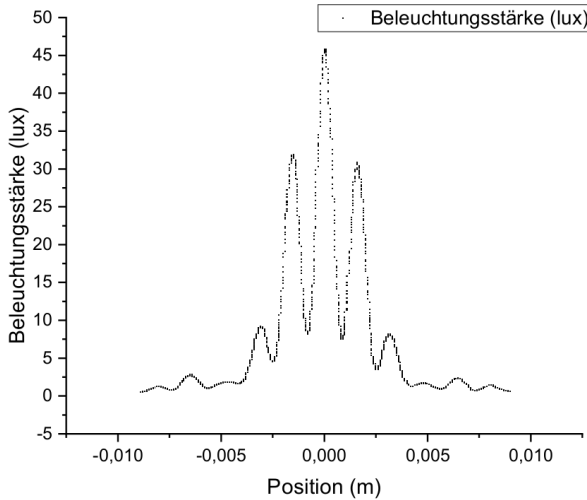
3.2.3 Vergleich verschiedener Doppelspalte



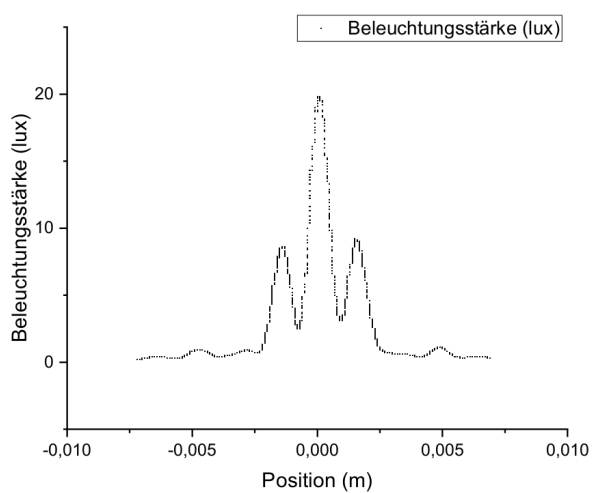
(a) $b = 0,15 \text{ mm}$, $g = 0,25 \text{ mm}$



(b) $b = 0,15 \text{ mm}$, $g = 0,5 \text{ mm}$



(c) $b = 0,1 \text{ mm}$, $g = 0,3 \text{ mm}$



(d) $b = 0,15 \text{ mm}$, $g = 0,3 \text{ mm}$

Abbildung 8: Intensitätsverteilungen verschiedener Doppelspalte.

4 Schlussfolgerung

Literatur

- [1] WWU Münster. *Darstellung der optischen Bank*. URL: https://sso.uni-muenster.de/LearnWeb/learnweb2/pluginfile.php/1334737/mod_label/intro/Aufbau%20mit%20Computer.png (besucht am 25.04.2018).