

Durchführung: 10.04.2018

Abgabe: 17.04.2018

1.Korrektur: 24.04.2018

## PRAKTIKUMSPROTOKOLL V406

# BEUGUNG AM SPALT

Carolin Harkort<sup>1</sup>,  
Jacqueline Schlingmann<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup>carolin.harkort@tu-dortmund.de

<sup>2</sup>jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

# 1 Einleitung

Unter Beugung von Licht wird die Ablenkung von Licht an Hindernissen verstanden. Dabei kommt es zur Abweichung von der geometrischen Optik. Mithilfe des Huygenschen Prinzip lassen sich allerdings die Beugungsbilder erklären.

Dieser Versuch wird an zwei Einspalten und an einem Doppelspalt durchgeführt, wobei zum Schluss das Beugungsbild des Doppelspalts mit dem eines Einzelspalts verglichen wird.

## 2 Theorie

Zur Untersuchung von Lichtbeugung wird unter der Fresnelschen und der Fraunhoferschen Beugung unterschieden.

Bei der Fresnelschen Beugung (Abbildung 1 a)) kommt es zur Interferenz divergenter Strahlenbündel, die unter verschiedenen Winkel gebeugt wurden im Beobachtungspunkt P. Dabei liegen die Lichtquelle und der Beobachtungspunkt im Endlichen.

Bei der Fraunhoferschen Beugung hingegen liegt die Lichtquelle im Unendlichen. Dadurch kommt es zur Beugung eines paralleln Lichtbündels mit einer eben Wellenfront. Mithilfe einer Sammellinse kann das Strahlenbündel in die Brennebene abgebildet werden. Dies hat zur Konsequenz, dass die Strahlen im Beobachtungspunkt interferieren und im selben Winkel gebeugt werden.

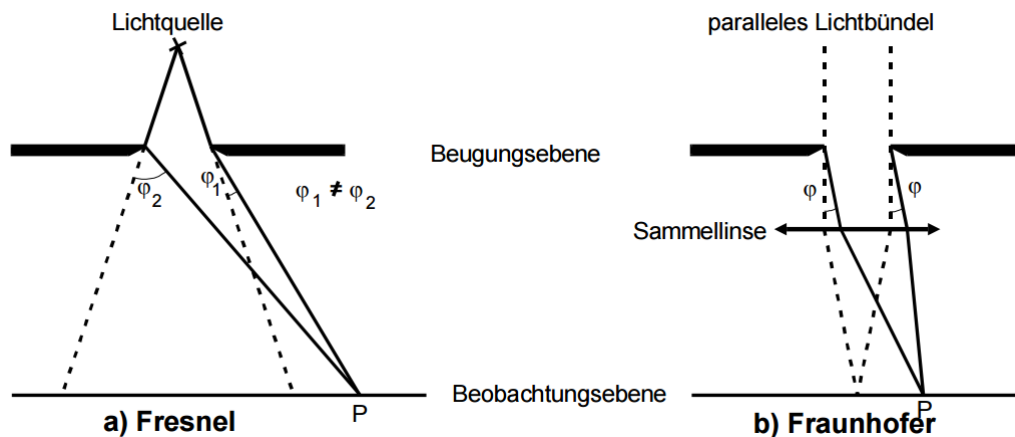


Abbildung 1: Fresnelsche und Fraunhofersche Beugung im Vergleich.[1]

In diesem Versuch wird nur die Fraunhofersche Anordnung betrachtet. Die Fraunhofersche Beugung bezieht sich auf das Huygensche Prinzip. Dieses besagt, dass von jedem Punkt einer Welle eine Kugelwelle ausgeht. Durch die Interferenz dieser Elementarwellen entsteht

eine neue Wellenfront.

Die Feldstärke einer aus z-Richtung einfallende Welle wird mit

$$A(z, t) = A_0 \exp(i(\omega t - 2\pi z/\lambda)) \quad (1)$$

berechnet. Die Phasendifferenz zwischen den einzelnen Strahlen ist

$$\delta = \frac{2\pi s}{\lambda} = \frac{2\pi x \sin \varphi}{\lambda}, \quad (2)$$

was in der folgenden Abbildung 2 deutlich wird.

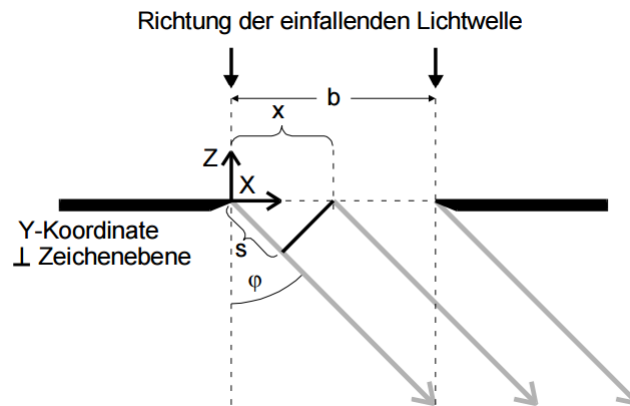


Abbildung 2: Phasenbeziehung zweier Strahlen[1]

Aufgrund der infinitesimal kleinen Breite der Strahlen wird über die gesamte Spaltbreite  $b$  integriert. Daraus ergibt sich für die Amplitude in  $\varphi$ -Richtung:

$$B(z, t, \varphi) = A_0 \exp \left( i \left( \omega t - \frac{2\pi z}{\lambda} \right) \right) \exp \left( \frac{\pi i b \sin \varphi}{\lambda} \right) \frac{\lambda}{\pi \sin \varphi} \sin \left( \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right). \quad (3)$$

Da sich die Amplituden wegen den sehr hohen Lichtfrequenzen nicht messbar sind, muss die gemittelte Intensität betrachtet werden

$$I(\varphi) \propto B(\varphi)^2 = A_0^2 b^2 \left( \frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right). \quad (4)$$

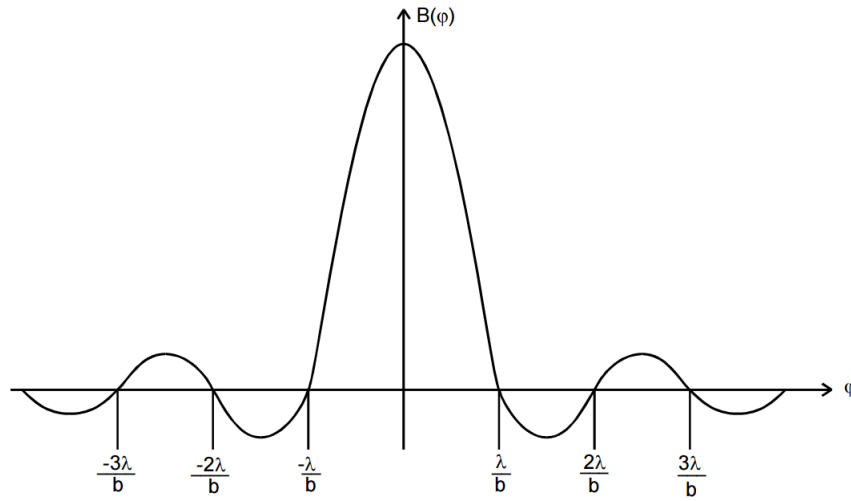


Abbildung 3: Amplitudenverteilung an einem Parallelschlitz[1]

## 2.1 Beugung am Doppelschlitz

Bei einem Doppelschlitzversuch wird die Intensitätsverteilung vom parallelen Licht durch

$$I(\varphi) \propto B(\varphi)^2 = 4 \cos^2 \left( \frac{\pi s \sin \varphi}{\lambda} \right) \left( \frac{\lambda}{\pi b \sin \varphi} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda} \right), \quad (5)$$

beschrieben. Dabei ist wie in Abbildung 4 zu sehen ist, die Beugungsverteilung des Doppelschlitzes eine Überlagerung von zwei Einzelschlitz mit der Breite  $b$  im Abstand  $s$ .

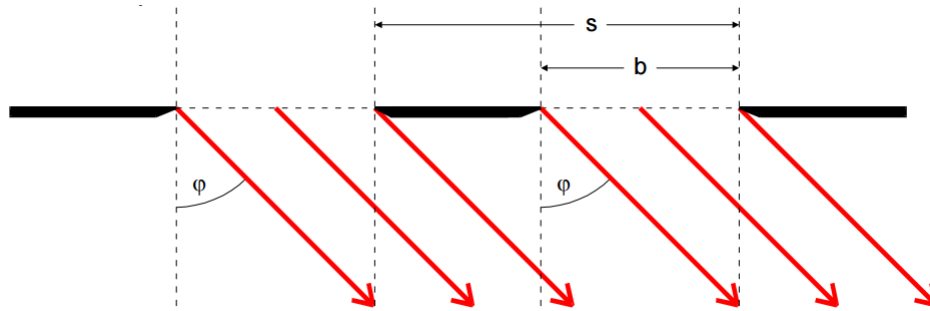


Abbildung 4: Beugung am Doppelspalt[1]

### 3 Durchführung

Der Versuch wird wie in Abbildung 5 zu sehen ist, aufgebaut. In einer Entfernung von mindestens einem Meter wird ein He-Ne-Laser als Lichtquelle zur Beleuchtung des Photoelementes verwendet.

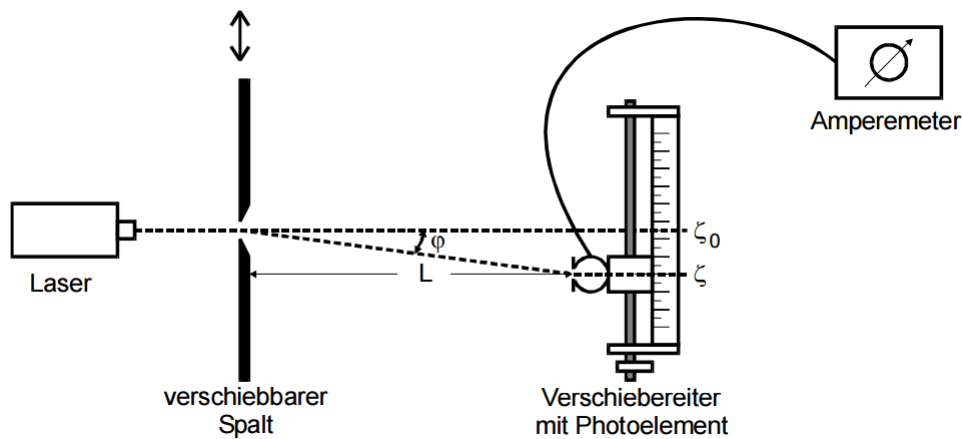


Abbildung 5: Versuchsaufbau[1]

Als erstes wird der Dunkelstrom der Photoelektrode gemessen. Dieser muss von jedem weiteren Messwert abgezogen werden.

Der Beugungswinkel  $\varphi$  wird aus der Detektorstellung  $\zeta$  bestimmt. Dabei ist  $\zeta_0$  die Detektorstellung des ungebeugten Strahls

$$\varphi \approx \tan \varphi = \frac{\zeta - \zeta_0}{L}. \quad (6)$$

## 4 Auswertung

Vor Beginn der Messung wurde zunächst der Dunkelstrom gemessen. Dieser beträgt

$$I_{Dunkel} = 5 \text{ nA}$$

und muss von den gemessenen Stromwerten abgezogen werden.

Der ausgemessene Abstand zwischen Spalt und Detektor beträgt  $L_1 = 99,05 \text{ cm}$ . Der Abstand zwischen dem Laser und dem Spalt beträgt  $L_2 = 5,95 \text{ cm}$ .

### 4.1 Einzelspalt 0.075 mm

In Tabelle (1) sind die gemessenen Werte für einen Einzelspalt mit einer Spaltbreite von  $b = 0,075 \text{ mm}$  zu finden. In allen Tabellen sind die gemessenen Werte ohne Abzug des Dunkelstroms zu sehen. Zum erstellen der Graphen wurde dieser allerdings berücksichtigt.

Eine Regression wurde mit der Formel (4) durchgeführt.

Die Wellenlänge  $\lambda$  des Lasers wurde aus der Anleitung entnommen und beträgt  $633 \text{ nm}$ . Der Mittelpunkt liegt bei  $31 \text{ mm}$ . Dieser Wert wurde aus den Messwerten entnommen. aus dem Graphen wurden zwei Punkte herausgenommen, da diese sehr weit von der vermuteten Verteilung wegliegen und somit fehlerhaft sein müssen. Auf mögliche Fehlerquellen wird genauer in der Diskussion eingegangen.

Die Regression ist in Abbildung (6) zu sehen.

Tabelle 1: Einzelspalt 0,075mm

Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / nA		Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / nA
3	7,2		24	9
6	7,2		25	5,6
6,5	7,6		27	13,5
7	7,8		28	11
7,5	8,2		29	16
8	9		29,5	19,5
8,5	9,4		30	22,5
9	10		30,5	24
9,5	10		31	25
11	9,8		31,5	24,5
11,5	9,2		32	22,5
12	8,4		33	17
13	7,6		34	11,5
14	9,8		35	8,2
15	17,5		36	8
16	34		36,5	9
18	10		37	10
19	13		37,5	11
20	15,5		38	11,5
20,5	16,5		38,5	115
21	16,5		39	11
22	16		39,5	10
22,5	15			

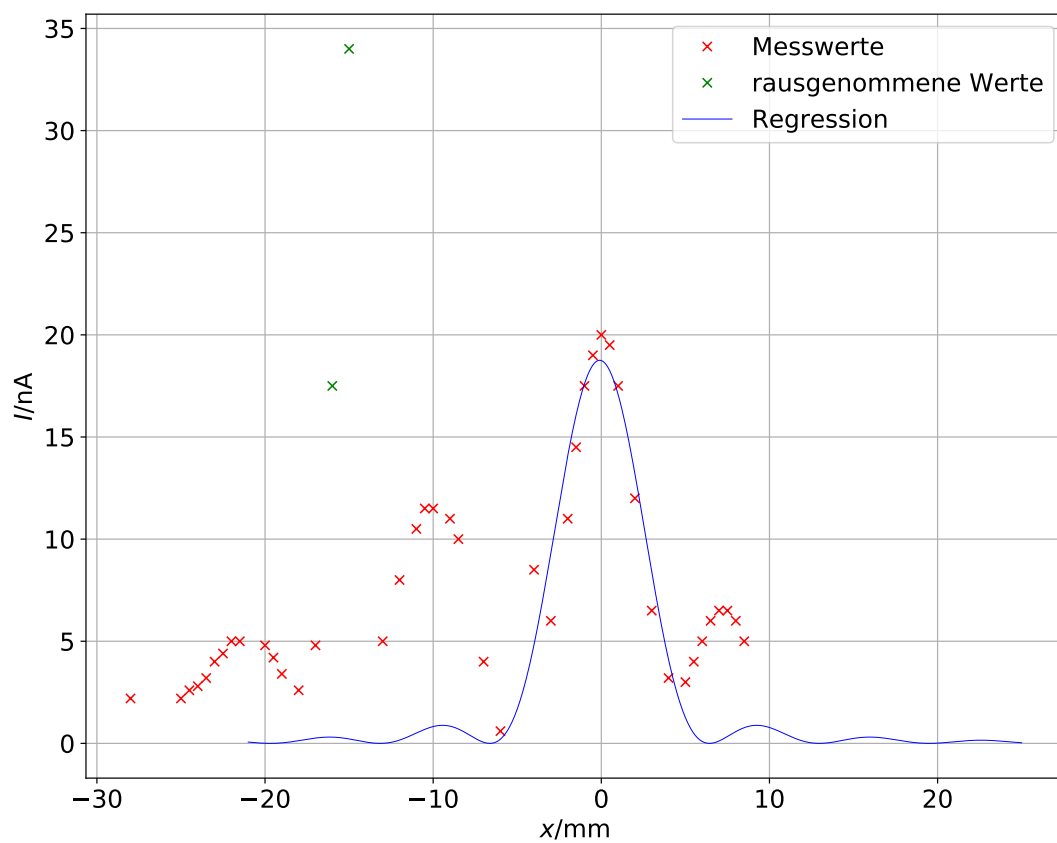


Abbildung 6: 2. Einzelspalt 0,075mm

Hier ergibt sich eine Spaltbreite von

$$b = (0,096 \pm 0,015) \text{ mm}$$

Die prozentuale Abweichung zur tatsächlichen Spaltbreite beträgt 28%.



## 4.2 Einzelspalt 0.15 mm

Tabelle (2) zeigt die gemessenen Werte für eine Spaltbreite von  $b = 0,15 \text{ mm}$ .

Tabelle 2: Einzelspalt 0,15mm

Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / nA		Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / nA
9	9,2		24	25
10	11		24,5	13,5
10,5	12,5		25	20,5
11	13,5		25,5	32
11,5	13		26	36
12	11,5		26,5	34
13	10,5		27	26
13,5	15		28	13,5
14	22,5		28,5	14,5
14,5	30		29	18
15	34		29,5	22
15,5	30		30	21
16	21,5		30,5	18,5
17	20		31	14,5
18	125		32	10,5
19	360		32,5	12,5
19,5	480		33	15,5
20	600		33,5	17,5
20,5	620		34	17,5
21	600		34,5	15
21,5	520		35	11,5
22	400		36	8,2
23	150			

Für diese Werte wurde ebenfalls eine Regression mit der Formel (4) durchgeführt. Sie ist in Abbildung (7) zusehen. Der Mittelpunkt liegt bei  $20,5 \text{ mm}$ .

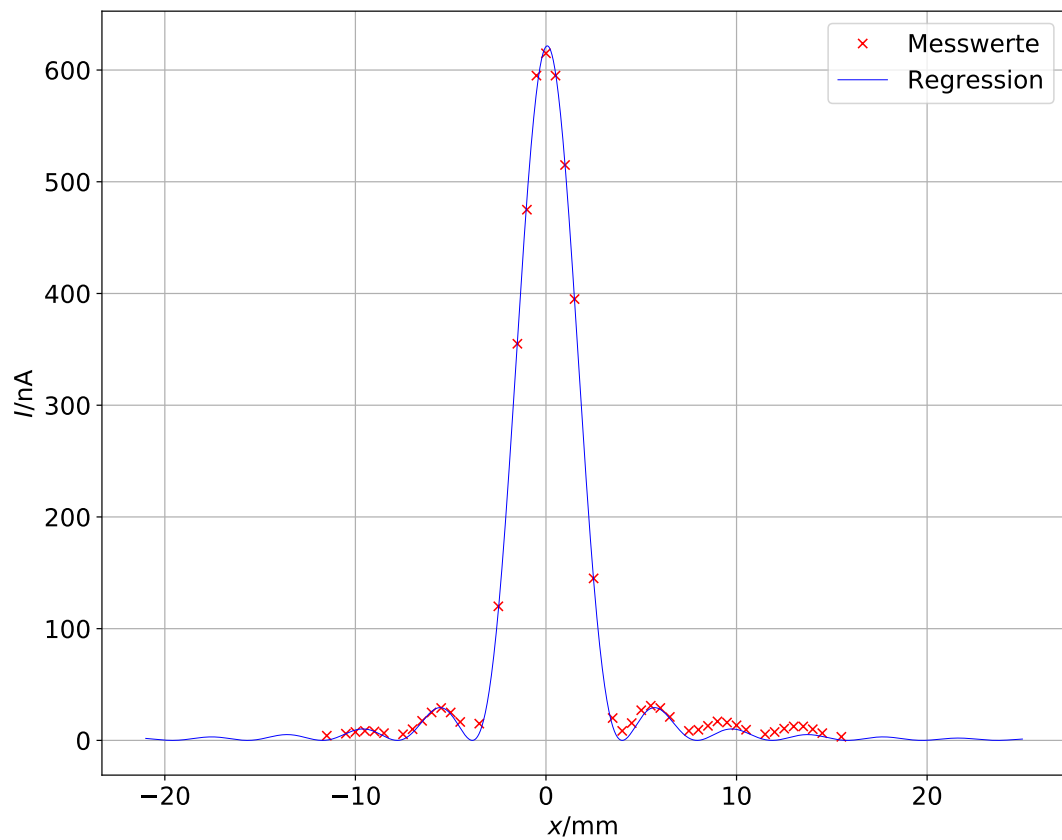


Abbildung 7: Einzelspalt 0,15mm

Aus der Regression ergibt sich die experimentell bestimmte Spaltbreite.

$$b = (0,15939 \pm 0,00104) \text{ mm}$$

Dies entspricht einer Abweichung von 6,26% zum angegebenen Wert.

### 4.3 Doppelspalt

In Tabelle(3) werden die Werte für einen Doppelspalt mit der Spaltbreite  $b = 0,15 \text{ mm}$  und dem Spaltabstand  $s = 0,5 \text{ mm}$  aufgelistet.

Tabelle 3: Doppelspalt

Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / $\mu\text{A}$		Abstand/ $\mu\text{m}$	Strom / $\mu\text{A}$
9	0,0155		19,5	0,86
10	0,0105		20	1
10,5	0,001		20,5	1,5
10,75	0,0145		21	0,74
11	0,021		21,5	1,2
11,25	0,0235		22	0,5
11,5	0,0185		22,5	0,44
12	0,18		23	0,26
12,25	0,0255		24	0,04
12,5	0,028		25	0,07
12,75	0,025		25,5	0,046
13	0,0205		26	0,07
14	0,0275		27	0,026
14,25	0,034		28	0,018
14,5	0,054		29	0,022
14,75	0,052		29,5	0,032
15	0,036		30	0,024
15,5	0,048		30,5	0,018
15,75	0,056		31	0,012
16	0,052		32	0,02
17	0,058		32,5	0,018
18	0,36		33	0,024
18,5	0,28		33,5	0,018
19	0,94		34	0,014

In Abbildung (8) sind die gemessenen Werte für den Doppelspalt, sowie eine darüber gelegte Theoriekurve zu sehen. Außerdem ist ebenfalls die Kurve für den Einzelspalt mit  $0,15 \text{ mm}$  Breite aufgetragen.

Die Ausgleichsfunktion wurde mit Formel (5) bestimmt. Die Kurve des Einzelspaltes wurden mit dem Faktor 413,3 an die des Doppelspaltes angepasst um diese aufeinander legen zu können. Auf den Vergleich wird in der Diskussion eingegangen.

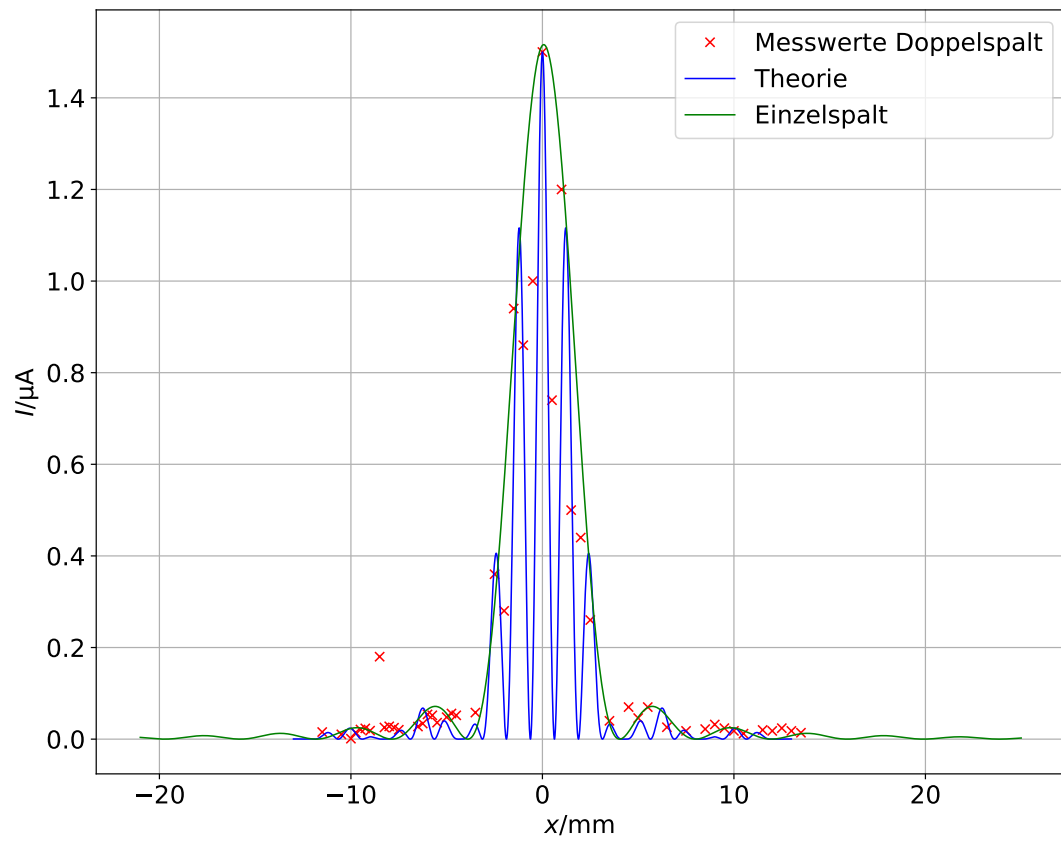


Abbildung 8: Der Doppelspalt

## 5 Diskussion

Bei der ersten Messung muss es zu einem Fehler gekommen sein. Es gibt zwei Messwerte die nicht ins Bild passen, zudem ist das Interferenzmuster nicht klar erkennbar. Wo dieser Fehler lag kann nicht mehr genau nachvollzogen werden. Zu möglichen Fehlerquellen gehört zum einen das Lichtverhältnis im Versuchsraum. Diese waren nicht konstant, da mehrere Personen in diesem Raum gearbeitet haben. Somit ist der Dunkelstrom nicht genau messbar.

Bei der nächsten Messung wurden die Messwerte viel genauer. Der einzige Unterschied zur vorherigen Messung lag darin, dass vor Beginn der Messung die ungefähre Stellung und der Strom der einzelnen Hochpunkte notiert wurde. Es ist zuerkennen, dass die Maxima mit größer werdender Spaltbreite schmaler werden, was dem Verhalten des Beugungsmusters des Einzelspaltes entspricht.

Bei der Messung des Doppelspaltes wurden die Messwerte nicht eng genug genommen. Dies führt dazu, dass das Interferenzmuster nicht genau erkennbar ist, auch wenn die Punkte alle ungefähr auf der Ausgleichsfunktion liegen. Es ist gut zu erkennen, dass die Messwerte des Einzelspaltes eine einhüllende Kurve ergeben. Durch die Überlagerung der Wellen, entsteht ein Wellenpaket. In dem Hauptmaxima des Einzelspaltes sind mehrere Maxima des Doppelspalte eingeschlossen.

Der angegebene Abstand zwischen Spalt und Detektor wurde am Versuchstag vergessen zu messen. Dies wurde am darauf folgenden Tag nachgeholt. Es ist allerdings nicht sicher, ob innerhalb des Tages die Apparatur verändert wurde.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 406*. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/V406.pdf> (besucht am 14.04.2018).