

# **V406 - Beugung am Spalt**

Jan Herdieckerhoff  
jan.herdieckerhoff@tu-dortmund.de

Karina Overhoff  
karina.overhoff@tu-dortmund.de

Durchführung: 09.04.2019, Abgabe: 15.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Allgemeines . . . . .	3
2.2	Beugung am Einzelspalt . . . . .	4
2.3	Beugung am Doppelspalt . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1	Beugung am ersten Einzelspalt . . . . .	6
4.2	Messung am zweiten Einzelspalt . . . . .	8
4.3	Beugung am Doppelspalt . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>15</b>
5.1	Beugung am ersten Einzelspalt . . . . .	15
5.2	Beugung am zweiten Einzelspalt . . . . .	15
5.3	Interferenz am Doppelspalt . . . . .	15
5.4	Allgemeine Probleme bei der Auswertung . . . . .	15
5.5	Fazit . . . . .	16
	<b>Literatur</b>	<b>17</b>

# 1 Ziel

Das Ziel dieses Versuches ist es, anhand der Beugungsfiguren zweier Einfachspalte die Spaltbreiten zu bestimmen. Außerdem wird das Beugungsbild eines Doppelspaltes untersucht.

## 2 Theorie

### 2.1 Allgemeines

Die Beugung des Lichts wird als Abweichung der Lichtausbreitung von den Gesetzen der geometrischen Optik verstanden. Diese treten auf, wenn Licht auf Öffnungen in Schirmen oder auf undurchlässige Hindernisse trifft, die klein gegenüber dem Strahldurchmesser sind. Die Phänomene lassen sich gut beschreiben, wenn die Ausbreitung des Lichts als ein Wellenvorgang betrachtet wird. Somit gilt zum Beispiel das Huygenssche Prinzip.

Es gibt zwei Versuchsanordnungen, die bei Beugungsuntersuchungen auftreten können. Dabei werden die Fresnelsche und die Fraunhofersche Lichtbeugung unterschieden. Bei der Fraunhoferschen Anordnung wird die Lichtquelle ins Unendliche verlegt, sodass ein paralleles Lichtbündel mit einer ebenen Wellenfront auf die Beugungsebene trifft. Damit wird auch der Aufpunkt ins Unendliche verlegt. Das bedeutet, dass alle Strahlen, die in einem Punkt interferieren, unter dem selben Winkel gebeugt werden. Dies ist mathematisch einfacher zu behandeln, insofern wird diese Anordnung im Folgenden verwendet. Die Länge des zu beugenden Objekts ist groß gegen seine Breite  $b$ . Somit wird das Lichtbündel nur in einer Dimension begrenzt.

Es wird ein Laser als Lichtquelle benutzt, um kohärentes Licht zu erhalten und damit Interferenzerscheinungen möglich zu machen.

Aus einer Kombination des Huygensschen Prinzips und der Definition des Interferenzprinzips nach Fresnel lässt sich die Beugungserscheinung erklären. Bei dem Fresnelschen Interferenzprinzip liegen Lichtquelle und Beobachtungspunkt im Endlichen. Dadurch interferieren im Aufpunkt Strahlen, die unter verschiedenen Winkeln gebeugt werden. Das Huygenssche Prinzip besagt, dass jeder Punkt einer Wellenfläche zu gleicher Zeit eine Elementarwelle aussendet, die die Form einer Kugelwelle hat. Diese neuen Wellen interferieren miteinander und erzeugen eine neue Wellenfront, die die Einhüllende der Elementarwellen ist. Der Schwingungszustand eines beliebigen Punktes ist die Superposition aller Elementarwellen, die an dieser Stelle zum selben Zeitpunkt eingehen.

Bei der Messung eines Beugungsbildes lässt sich der Winkel zwischen Blende und Schirm berechnen durch

$$\phi = \arctan\left(\frac{x}{l}\right). \quad (1)$$

Dabei ist  $l$  der Abstand von Blende und Schirm und  $x$  ist der Abstand des Messpunktes zum Hauptmaximum des Beugungsbildes.

## 2.2 Beugung am Einzelspalt

Die Aperturfunktion des Objekts kann mithilfe einer Fourier- Transformation in die Amplitudenfunktion überführt werden. Dabei wird über die gesamte Spaltbreite integriert, um die Amplitude  $B$  in Richtung  $\phi$  zu bestimmen. Nach Ausführung der Integration, Ausklammern eines e-Terms und der Nutzung der Euler-Formel, ergibt sich für die Amplitude:

$$B(\phi) = A_0 b \frac{\sin\left(\frac{\pi b \sin(\phi)}{\lambda}\right)}{\frac{\pi b \sin(\phi)}{\lambda}},$$

wobei  $b$  die Spaltbreite und  $\lambda$  die Wellenlänge ist. Die Nullstellen der Funktion liegen bei

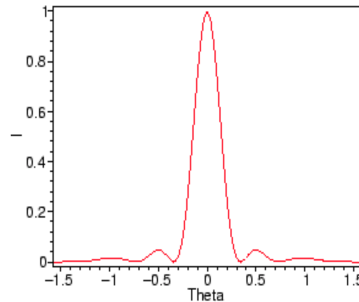
$$\sin(\phi_n) = \pm n \frac{\lambda}{b}.$$

Dabei ist  $n$  eine natürliche Zahl. Die Amplitude der Lichtwelle lässt sich aufgrund der hohen Lichtfrequenz nicht messen. Deshalb kann nur die zeitlich gemittelte Intensität bestimmt werden.

Diese ergibt sich zu

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

Eine theoretische Intensitätsverteilung für den Einzelspalt ist in Abb. 1 zu sehen.



**Abbildung 1:** Die Intensitätsverteilung für einen Einzelspalt. [1]

## 2.3 Beugung am Doppelspalt

Analog dazu lassen sich auch Nullstellen der Amplitude und die gemittelte Intensität bei der Beugung des Lichts am Doppelspalt bestimmen. Die Nullstellen liegen bei

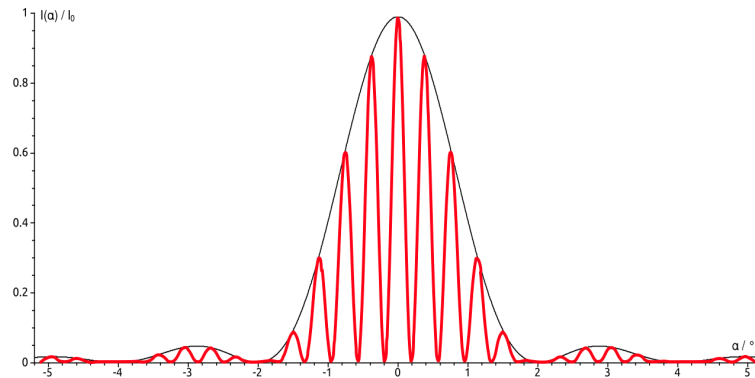
$$\phi(k) = \arcsin \left( \frac{2k+1}{2s} \cdot \lambda \right).$$

Dabei ist  $s$  die Breite des Spalts zusammen mit dem Abstand zwischen den beiden Spalten.

Die Intensität ergibt sich zu

$$I(\phi) \propto B(\phi)^2 = A 4 \cos^2 \left( \frac{\pi s \sin(\phi)}{\lambda} \right) \cdot \left( \frac{\lambda}{\pi b \sin(\phi)} \right)^2 \cdot \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin(\phi)}{\lambda} \right). \quad (3)$$

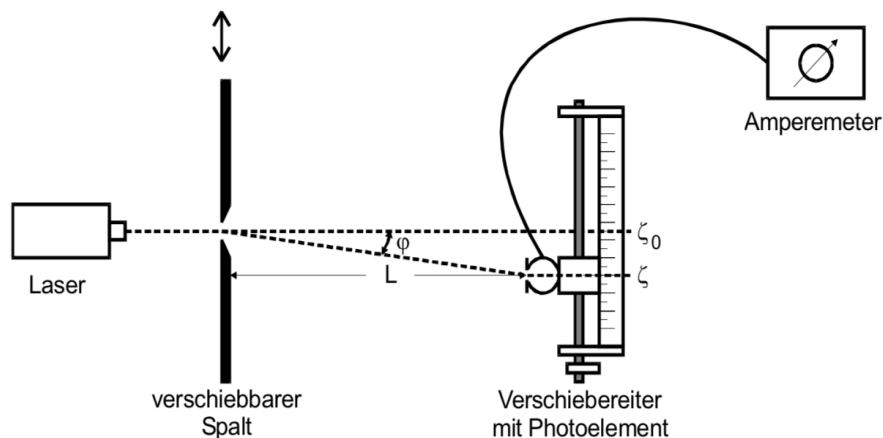
Dabei ist  $A$  die Amplitude. Eine theoretische Intensitätsverteilung für den Doppelspalt ist in Abb. 2 zu sehen.



**Abbildung 2:** Die Intensitätsverteilung für den Doppelspalt. [2]

### 3 Durchführung

Die Versuchsanordnung ist in Abb. 3 abgebildet.



**Abbildung 3:** Versuchsanordnung zur Messung der Stromstärke des Beugungsbildes verschiedener Spalte. [3]

Zunächst wird der Abstand des Spaltes zum Detektor gemessen. Anschließend wird der Off-Strom der Diode gemessen, wobei der Laser ausgeschaltet und eine Ableselampe eingeschaltet ist.

Die Apparatur wird so ausgerichtet, dass das Hauptmaximum des Beugungsbildes auf dem Detektorspalt liegt.

Das Beugungsbild des ersten Einzelspaltes wird punktweise mit einer Schrittweite von 0,5 mm ausgemessen. Dazu wird die Stromstärke an einem Amperemeter abgelesen.

Für den zweiten Einzelspalt wird dasselbe wiederholt.

Die Messung des Beugungsbildes des Doppelspaltes wird ebenfalls punktweise mit einer Schrittweite von 0,25 mm durchgeführt.

## 4 Auswertung

Die folgende Auswertung wurde mit den Python Paketen numpy [7], scipy [5] und matplotlib [4] durchgeführt.

Die Wellenlänge des Lichts des verwendeten Lasers beträgt

$$\lambda = 532 \text{ nm.}$$

### 4.1 Beugung am ersten Einzelspalt

In Tab. 1 werden die  $x$ -Koordinaten in Einheiten der Messanzeige und die Amplituden der Stromstärke gegeneinander aufgetragen.

**Tabelle 1:** Die  $x$  Koordinate gegen die Stromstärke aufgetragen.

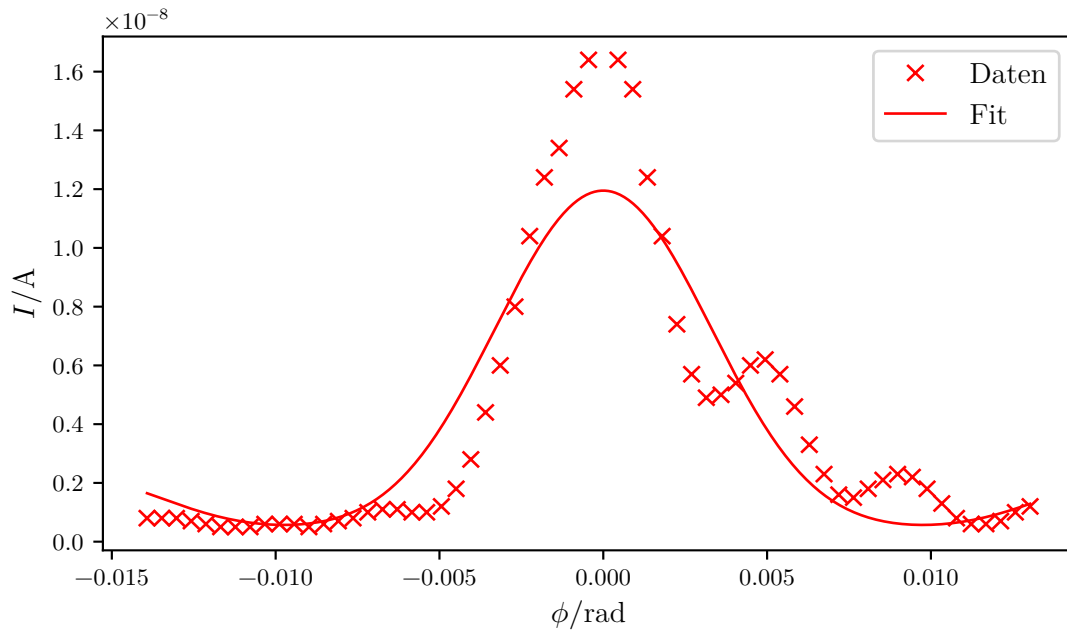
$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$
10,0	2,4	20,0	2,8	30,5	7,6
10,5	2,4	20,5	3,4	31,0	7,8
11,0	2,4	21,0	4,4	31,5	7,3
11,5	2,3	21,5	6,0	32,0	6,2
12,0	2,2	22,0	7,6	32,5	4,9
12,5	2,1	22,5	9,6	33,0	3,9
13,0	2,1	23,0	12,0	33,5	3,2
13,5	2,1	23,5	14,0	34,0	3,1
14,0	2,2	24,0	15,0	34,5	3,4
14,5	2,2	24,5	17,0	35,0	3,7
15,0	2,2	25,0	18,0	35,5	3,9
15,5	2,1	26,0	18,0	36,0	3,8
16,0	2,2	26,5	17,0	36,5	3,4
16,5	2,3	27,0	14,0	37,0	2,9
17,0	2,4	27,5	12,0	37,5	2,4
17,5	2,6	28,0	9,0	38,0	2,2
18,0	2,7	28,5	7,3	38,5	2,2
18,5	2,7	29,0	6,5	39,0	2,3
19,0	2,6	29,5	6,6	39,5	2,6
19,5	2,6	30,0	7,0	40,0	2,8

In Tab. 2 werden die  $x$ -Koordinaten mit Gleichung (1) in Winkel umgerechnet und gegen die Amplitude der Stromstärke aufgetragen.

**Tabelle 2:** Der Winkel gegen die Stromstärke  $I$  aufgetragen.

$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$	$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$
-13,93	0,80	-0,45	16,40
-13,48	0,80	0,45	16,40
-13,03	0,80	0,90	15,40
-12,58	0,70	1,35	12,40
-12,13	0,60	1,80	10,40
-11,68	0,50	2,25	7,40
-11,23	0,50	2,70	5,70
-10,78	0,50	3,14	4,90
-10,33	0,60	3,59	5,00
-9,88	0,60	4,04	5,40
-9,43	0,60	4,49	6,00
-8,98	0,50	4,94	6,20
-8,54	0,60	5,39	5,70
-8,09	0,70	5,84	4,60
-7,64	0,80	6,29	3,30
-7,19	1,00	6,74	2,30
-6,74	1,10	7,19	1,60
-6,29	1,10	7,64	1,50
-5,84	1,00	8,09	1,80
-5,39	1,00	8,54	2,10
-4,94	1,20	8,98	2,30
-4,49	1,80	9,43	2,20
-4,04	2,80	9,88	1,80
-3,59	4,40	10,33	1,30
-3,14	6,00	10,78	0,80
-2,70	8,00	11,23	0,60
-2,25	10,40	11,68	0,60
-1,80	12,40	12,13	0,70
-1,35	13,40	12,58	1,00
-0,90	15,40	13,03	1,20

In Abb. 4 werden die Werte aus Tab. 2 gegeneinander aufgetragen und es wird ein Fit in die Werte gelegt.



**Abbildung 4:** Die Werte aus Tab. 2 gegeneinander aufgetragen. Zu sehen ist das Beugungsbild eines Einzelspalts.

Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung und der Gleichung (2) lassen sich die Parameter  $A_0$ ,  $b$  und  $d$  bestimmen, wobei  $A_0$  die Amplitude angibt,  $b$  der Breite des Spalts und  $d$  dem Wert des Off-Stroms während des Experiments entspricht. Für die Werte gilt

$$\begin{aligned} A_0 &= (-0,899 \pm 0,055) \frac{\text{A}}{\text{m}} \\ b &= (-78,07 \pm 2,88) \mu\text{m} \\ d &= (1,53 \pm 0,15) \text{nA}. \end{aligned}$$

Der Literaturwert für die Breite des Spalts beträgt

$$b_{\text{lit},1} = 150 \mu\text{m}.$$

Der gemessene Wert für den Off-Strom beträgt

$$d_{\text{gemessen}} = 1,6 \text{nA}.$$

## 4.2 Messung am zweiten Einzelspalt

In Tab. 3 befindet sich die  $x$ -Koordinaten in Einheiten der Messanzeige und die Amplituden der Stromstärke gegeneinander aufgetragen.



**Tabelle 3:** Die x Koordinate gegen die Stromstärke aufgetragen.

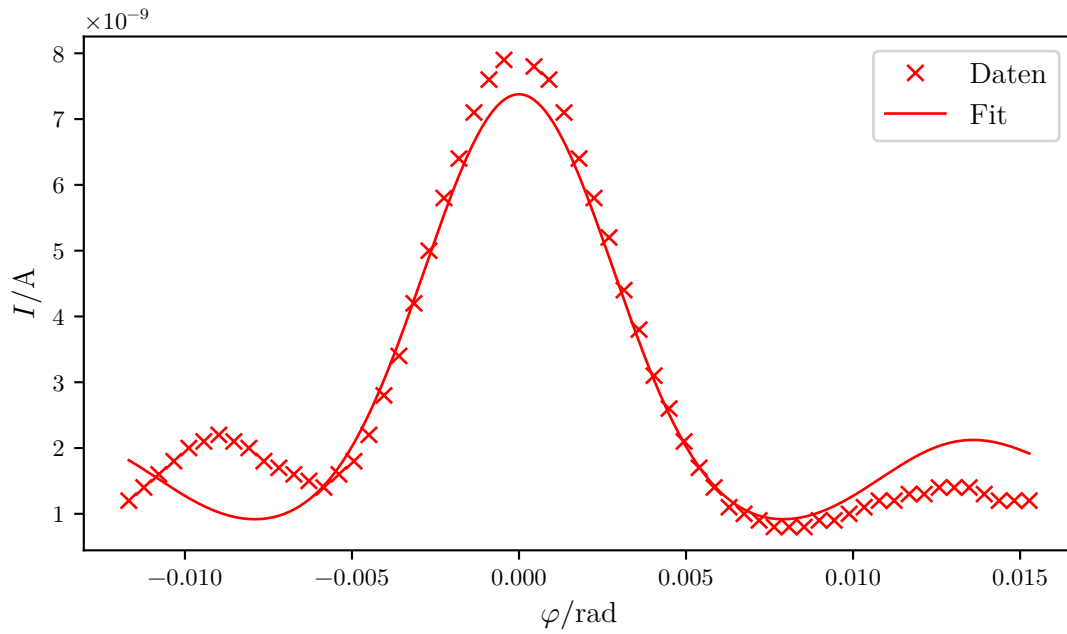
$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$
10,0	2,8	20,0	6,6	30,5	2,6
10,5	3,0	20,5	7,4	31,0	2,5
11,0	3,2	21,0	8,0	31,5	2,4
11,5	3,4	21,5	8,7	32,0	2,4
12,0	3,6	22,0	9,2	32,5	2,4
12,5	3,7	22,5	9,5	33,0	2,5
13,0	3,8	23,5	9,4	33,5	2,5
13,5	3,7	24,0	9,2	34,0	2,6
14,0	3,6	24,5	8,7	34,5	2,7
14,5	3,4	25,0	8,0	35,0	2,8
15,0	3,3	25,5	7,4	35,5	2,8
15,5	3,2	26,0	6,8	36,0	2,9
16,0	3,1	26,5	6,0	36,5	2,9
16,5	3,0	27,0	5,4	37,0	3,0
17,0	3,2	27,5	4,7	37,5	3,0
17,5	3,4	28,0	4,2	38,0	3,0
18,0	3,8	28,5	3,7	38,5	2,9
18,5	4,4	29,0	3,3	39,0	2,8
19,0	5,0	29,5	3,0	39,5	2,8
19,5	5,8	30,0	2,7	40,0	2,8

In Tab. 4 werden die  $x$ -Koordinaten mit Gleichung (1) in Winkel umgerechnet und gegen die Amplitude der Stromstärke aufgetragen.

**Tabelle 4:** Der Winkel gegen die Stromstärke  $I$  aufgetragen.

$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$	$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$
-11,68	1,20	2,25	5,80
-11,23	1,40	2,70	5,20
-10,78	1,60	3,14	4,40
-10,33	1,80	3,59	3,80
-9,88	2,00	4,04	3,10
-9,43	2,10	4,49	2,60
-8,98	2,20	4,94	2,10
-8,54	2,10	5,39	1,70
-8,09	2,00	5,84	1,40
-7,64	1,80	6,29	1,10
-7,19	1,70	6,74	1,00
-6,74	1,60	7,19	0,90
-6,29	1,50	7,64	0,80
-5,84	1,40	8,09	0,80
-5,39	1,60	8,54	0,80
-4,94	1,80	8,98	0,90
-4,49	2,20	9,43	0,90
-4,04	2,80	9,88	1,00
-3,59	3,40	10,33	1,10
-3,14	4,20	10,78	1,20
-2,70	5,00	11,23	1,20
-2,25	5,80	11,68	1,30
-1,80	6,40	12,13	1,30
-1,35	7,10	12,58	1,40
-0,90	7,60	13,03	1,40
-0,45	7,90	13,48	1,40
0,45	7,80	13,93	1,30
0,90	7,60	14,37	1,20
1,35	7,10	14,82	1,20
1,80	6,40	15,27	1,20

In Abb. 5 werden die Werte aus Tab. 4 gegeneinander aufgetragen und es wird ein Fit in die Werte gelegt.



**Abbildung 5:** Die Werte aus Tab. 4 gegeneinander aufgetragen. Zu sehen ist das Beugungsbild eines Einzelspalts.

Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung lassen sich wieder die Parameter  $A_0$ ,  $b$  und  $d$  bestimmen.

Für die Werte gilt

$$\begin{aligned} A_0 &= (0,4746 \pm 0,0023) \frac{\text{A}}{\text{m}} \\ b &= (96,24 \pm 2,56) \mu\text{m} \\ d &= (1,62 \pm 0,07) \text{nA}. \end{aligned}$$

Der Literaturwert für die Breite des Spalts beträgt

$$b_{\text{lit},2} = 75 \mu\text{m}.$$

### 4.3 Beugung am Doppelspalt

In Tab. 5 befinden sich die  $x$ -Koordinaten in Einheiten der Messanzeige und die Amplituden der Stromstärke gegeneinander aufgetragen.

**Tabelle 5:** Die  $x$  Koordinate gegen die Länge aufgetragen.

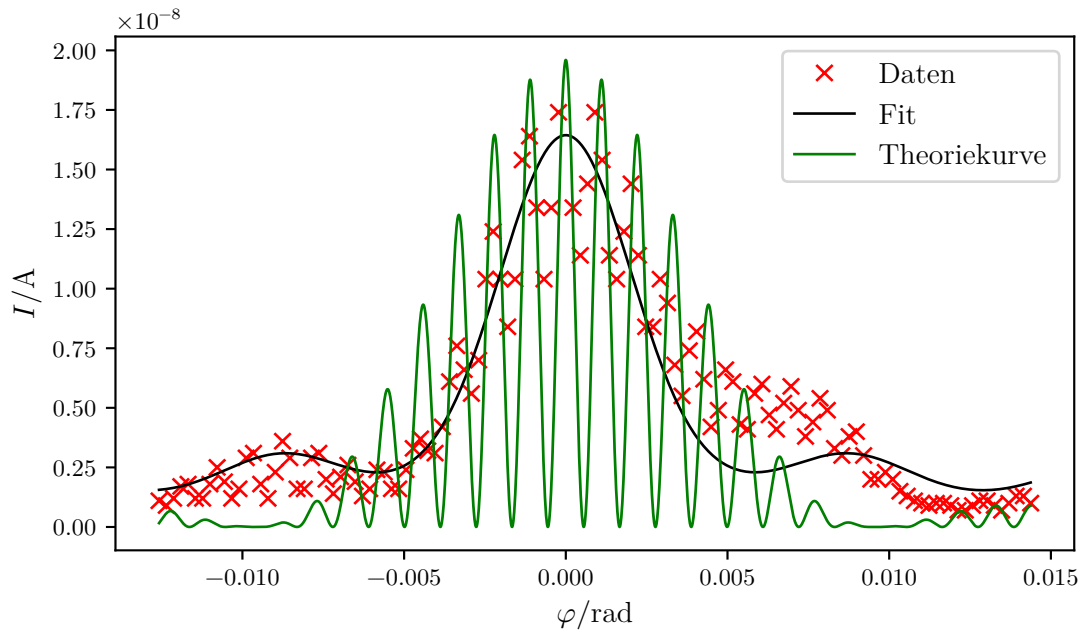
$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$	$l/\text{mm}$	$I/\text{nA}$
10,0	2,7	16,5	4,2	23,0	15,0	29,8	7,7	36,3	2,6
10,3	2,5	16,8	3,5	23,3	12,0	30,0	5,9	36,5	2,5
10,5	2,8	17,0	2,9	23,5	15,0	30,3	5,7	36,8	2,6
10,8	3,3	17,3	3,2	23,8	19,0	30,5	7,2	37,0	2,6
11,0	3,4	17,5	4,0	24,3	15,0	30,8	7,6	37,3	2,5
11,3	2,8	17,8	3,9	24,5	13,0	31,0	6,3	37,5	2,3
11,5	2,8	18,0	3,2	24,8	16,0	31,3	5,7	37,8	2,3
11,8	3,4	18,3	3,2	25,0	19,0	31,5	6,8	38,0	2,5
12,0	4,1	18,5	4,0	25,3	17,0	31,8	7,5	38,3	2,7
12,3	3,5	18,8	4,9	25,5	13,0	32,0	6,5	38,5	2,7
12,5	2,8	19,0	5,3	25,8	12,0	32,3	5,4	38,8	2,5
12,8	3,2	19,3	4,8	26,0	14,0	32,5	6,0	39,0	2,3
13,0	4,5	19,5	4,7	26,3	16,0	32,8	7,0	39,3	2,6
13,3	4,7	19,8	5,8	26,5	13,0	33,0	6,5	39,5	2,9
13,5	3,4	20,0	7,7	26,8	10,0	33,3	4,9	39,8	2,9
13,8	2,8	20,3	9,2	27,0	10,0	33,5	4,6	40,0	2,6
14,0	3,9	20,5	8,2	27,3	12,0	33,8	5,4		
14,3	5,2	20,8	7,2	27,5	11,0	34,0	5,6		
14,5	4,5	21,0	8,6	27,8	8,4	34,3	4,6		
14,8	3,2	21,3	12,0	28,0	7,1	34,5	3,6		
15,0	3,2	21,5	14,0	28,3	9,0	34,8	3,6		
15,3	4,5	21,8	12,0	28,5	9,8	35,0	3,9		
15,5	4,7	22,0	10,0	28,8	7,8	35,3	3,6		
15,8	3,6	22,3	12,0	29,0	5,8	35,5	3,1		
16,0	3,0	22,5	17,0	29,3	6,5	35,8	2,9		
16,3	3,7	22,8	18,0	29,5	8,2	36,0	2,7		

In Tab. 6 werden die  $x$ -Koordinaten mit Gleichung (1) in Winkel umgerechnet und gegen die Amplitude der Stromstärke aufgetragen.

**Tabelle 6:** Der Winkel gegen die Stromstärke  $I$  aufgetragen.

$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$	$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$	$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$	$\varphi/\text{mrad}$	$I/\text{nA}$
-12,58	1,10	-5,84	2,40	1,12	15,40	7,86	5,40
-12,35	0,90	-5,62	2,30	1,35	11,40	8,09	4,90
-12,13	1,20	-5,39	1,60	1,57	10,40	8,31	3,30
-11,90	1,70	-5,17	1,60	1,80	12,40	8,54	3,00
-11,68	1,80	-4,94	2,40	2,02	14,40	8,76	3,80
-11,46	1,20	-4,72	3,30	2,25	11,40	8,98	4,00
-11,23	1,20	-4,49	3,70	2,47	8,40	9,21	3,00
-11,01	1,80	-4,27	3,20	2,70	8,40	9,43	2,00
-10,78	2,50	-4,04	3,10	2,92	10,40	9,66	2,00
-10,56	1,90	-3,82	4,20	3,14	9,40	9,88	2,30
-10,33	1,20	-3,59	6,10	3,37	6,80	10,11	2,00
-10,11	1,60	-3,37	7,60	3,59	5,50	10,33	1,50
-9,88	2,90	-3,14	6,60	3,82	7,40	10,56	1,30
-9,66	3,10	-2,92	5,60	4,04	8,20	10,78	1,10
-9,43	1,80	-2,70	7,00	4,27	6,20	11,01	1,00
-9,21	1,20	-2,47	10,40	4,49	4,20	11,23	0,90
-8,98	2,30	-2,25	12,40	4,72	4,90	11,46	1,00
-8,76	3,60	-2,02	10,40	4,94	6,60	11,68	1,00
-8,54	2,90	-1,80	8,40	5,17	6,10	11,90	0,90
-8,31	1,60	-1,57	10,40	5,39	4,30	12,13	0,70
-8,09	1,60	-1,35	15,40	5,62	4,10	12,35	0,70
-7,86	2,90	-1,12	16,40	5,84	5,60	12,58	0,90
-7,64	3,10	-0,90	13,40	6,06	6,00	12,80	1,10
-7,41	2,00	-0,67	10,40	6,29	4,70	13,03	1,10
-7,19	1,40	-0,45	13,40	6,51	4,10	13,25	0,90
-6,96	2,10	-0,22	17,40	6,74	5,20	13,48	0,70
-6,74	2,60	0,22	13,40	6,96	5,90	13,70	1,00
-6,51	1,90	0,45	11,40	7,19	4,90	13,93	1,30
-6,29	1,30	0,67	14,40	7,41	3,80	14,15	1,30
-6,06	1,60	0,90	17,40	7,64	4,40	14,37	1,00

In Abb. 6 werden die Werte aus Tab. 6 gegeneinander aufgetragen, es wird ein Fit in die Werte gelegt und eine Theoriekurve eingetragen.



**Abbildung 6:** Die Werte aus Tab. 6 gegeneinander aufgetragen. Zu sehen ist das Beugungsbild eines Doppelspalts mit dem Fit als Einhüllende und einer Theoriekurve.

Mit Hilfe einer Ausgleichsrechnung lassen sich wieder die Parameter  $b$ ,  $s$ ,  $A$  und  $d$  mit Gleichung (3) bestimmen. Dieses mal aber für den Doppelspalt.

Für die Werte gilt

$$b = (101,820 \pm 5,293) \mu\text{m}$$

$$s = (40,29 \pm 3,69) \mu\text{m}$$

$$A = (39,43 \pm 1,91) \mu\text{A}$$

$$d = (2,44 \pm 0,21) \text{ nA}.$$

Aus der Theoriekurve ergeben sich folgende Werte

$$b = 55 \mu\text{m}$$

$$s = 480 \mu\text{m}$$

$$d = 1,6 \text{ nA}.$$

Die Amplitude ergibt sich zu

$$A = 70 \mu\text{A}.$$

Der Literaturwert für die Breite der beiden Spalten beträgt

$$b_{\text{lit}} = 100 \mu\text{m}$$

und für den Spalt

$$s_{\text{lit}} = 200 \mu\text{m}.$$

## 5 Diskussion

### 5.1 Beugung am ersten Einzelspalt

Der negative Wert der Spaltbreite ergibt sich, da die Curve-Fit Funktion für die Amplitude einen negativen Wert ermittelt hat. Dadurch wird dann auch die Spaltbreite negativ. Dieses Ergebnis ist aber als nicht physikalisch zu betrachten, insofern wird einfach im Folgenden angenommen, dass sich die beiden Vorzeichen gegenseitig aufheben. Die Ausgleichsrechnung ergibt für die Amplitude einen Wert, dessen relativer Fehler bei 6,12 % liegt. Für die Spaltbreite ergibt sich ein Wert, dessen relativer Fehler 3,69 % beträgt und der um 47,95 % vom Literaturwert abweicht. Der gefittete Wert für den Off-Strom hat einen relativen Fehler von 9,80 % und eine relative Abweichung zum gemessenen Wert von 4,38 %.

### 5.2 Beugung am zweiten Einzelspalt

Die Ausgleichsrechnung ergibt für die Amplitude einen Wert, dessen relativer Fehler bei 4,85 % liegt. Für die Spaltbreite ergibt sich ein Wert, dessen relativer Fehler 2,66 % beträgt und der um 28,32 % vom Literaturwert abweicht. Der gefittete Wert für den Off-Strom hat einen relativen Fehler von 4,32 % und eine relative Abweichung zum gemessenen Wert von 1,25 %.

### 5.3 Interferenz am Doppelspalt

Die gefittete Spaltbreite besitzt einen relativen Fehler von 5,2 %. Die Abweichung zum Literaturwert beträgt 1,82 %. Die Breite zwischen den Spalten hat einen relativen Fehler von 9,83 %. Der Off-Strom liegt 52,5 % über dem gemessenen Wert. Der relative Fehler liegt bei 8,6 %. Der Fit des Doppelspalts passt vom Bild her nicht sonderlich zu den richtigen Werten. Die ermittelten Werte passen aber, bis auf den Off-Strom, einigermaßen. Da die Natur des Doppelspalts durch den Fit nicht ordentlich beschrieben werden kann, wurde eine Theoriekurve erzeugt, die die Datenwerte besser beschreibt. Diese Werte werden im folgenden diskutiert. Die durch die Theoriekurve ermittelte Breite hat eine Abweichung von 45 % zum Literaturwert. Der Spaltabstand weicht um 140 % ab. Für den Off-Strom wurde der gemessene Wert verwendet. Die Werte weichen zwar weiter ab als die Werte des Fits, nichts desto trotz, ist die Beschreibung visuell deutlich deutlich passender.

### 5.4 Allgemeine Probleme bei der Auswertung

Die Daten wurden mittels Python ausgewertet. Zur Erstellung der Fits wurde das Package scipy [5] genutzt. Es scheint aber so, als habe die "curve fit"-Funktion Schwierigkeiten dabei quadratische trigonometrische Funktionen auszuwerten. Aus dem Grund wurde die Wurzel aus der Funktion und den y-Werten gezogen, anschließend wurde gefittet und am Ende wurden alle Werte wieder quadriert. Das Ergebnis ist damit deutlich besser, als alle vorherigen Versuche. Trotzdem ist die Abweichung speziell beim ersten und

dritten Graphen noch relativ groß, was dann auch die Abweichung zum Literaturwert um fast 50 % erklärt. Außerdem wurden die Werte beim Hauptmaximum, also bei  $0^\circ$ , herausgenommen, um zu vermeiden, dass während des "curve fit"-Vorgangs durch null geteilt wird. Das einzige tatsächliche Problem sind die Werte für den Off-Strom. Der Faktor  $d$  wurde in der Wurzel-Variante des Terms hinzugefügt. Das bedeutet, dass wenn die Zahlen einfach quadriert werden, durch die binomische Formel noch eine zusätzliche Komponente hinzukommt. Da  $d$  im Verhältnis zu den Werten im vorderen Teil der Gleichung einige Größenordnungen kleiner ist, wird dieser  $2Bd$ -Term wohl keinen großen Einfluss haben, denn vor allem bei der zweiten Messung ist der Wert  $d$  sehr nah am gemessenen Wert, wenn man ihn dann quadriert hat. Insofern scheint unsere Rechnung in Ordnung zu sein, aber nur weil wir davon ausgehen können, dass der zusätzliche Teil keine große Auswirkung auf die Formel hat.

## 5.5 Fazit

Insgesamt kann der Versuch und die Messung als relativ exakt betrachtet werden. Nur die Auswertung stellt sich als recht kompliziert heraus, was dazu führt, dass die Ergebnisse nicht so gut sind, wie ursprünglich erwartet.



## Literatur

- [1] „Beugungsmuster an einem Einzelspalt“. In: (2019). URL: <http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/gk3a-2002/node34.html>.
- [2] „Doppelspaltexperiment“. In: (2019). URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Doppelspaltexperiment>.
- [3] TU Dortmund. *Versuch 406 - Beugung am Spalt*. 2019. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/V406.pdf>.
- [4] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [5] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. „SciPy: Open source scientific tools for Python“. Version 0.16.0. In: (). URL: <http://www.scipy.org/>.
- [6] Eric O. Lebigot. „Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties“. Version 2.4.6.1. In: (). URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [7] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.