

# **V406 Beugung am Spalt**

Katharina Brägelmann      Tobias Janßen  
katharina.braegelmann@tu-dortmund.de  
tobias2.janssen@tu-dortmund.de

Durchführung: 26. Juni 2018, Abgabe: 03. Juni 2018

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3 Aufbau und Durchführung</b>	<b>7</b>
<b>4 Auswertung</b>	<b>8</b>
4.1 Einzelspalt 1 . . . . .	8
4.2 Einzelspalt 2 . . . . .	11
4.3 Doppelspalt . . . . .	13
<b>5 Diskussion</b>	<b>16</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden die Interferenzmuster von Einzelpalten und Doppelpalten untersucht. Dazu werden die theoretischen nicht-linearen Verläufe der Intensität an die aufgenommenen Messwerte gefittet.

# 2 Theorie

Licht lässt sich sowohl als Teilchen als auch als Welle auffassen. Bei Prozessen, bei denen es auf das einzelne Lichtquant ankommt, ist eine Beschreibung als Welle nicht sinnvoll, so zum Beispiel bei dem Photoeffekt oder bei dem Comptoneffekt. Prozesse, bei denen über große Anzahlen von Lichtquanten gemittelt werden kann, lassen sich durch eine Wellendarstellung beschreiben.

Lichtwellen können dem Prinzip der Interferenz unterliegen. Dabei überlagern sich mindestens zwei Lichtwellen. Liegen zwei Wellenberge zweier Wellen mit gleicher Wellenlänge übereinander, addieren sie sich zu einem größeren Maximum. Zwei Wellentäler addieren sich zu einem tieferen Wellental. Diese beiden Phänomene fallen unter die konstruktive Interferenz. Ein Wellenberg, der auf einem Wellental liegt, löschen sich Wellenberg und Wellental aus. Dies wird destruktive Interferenz genannt. Sind die Wellenlängen der beiden interferierenden Wellen nicht gleich, kommt es zu sogenannten Schwebungen und Wellenpaketten. In diesem Versuch wird nur die Interferenz zweier gleicher Wellen betrachtet.

Das Huygens'sche Prinzip . Es sagt aus, dass jeder Oszillator einer Welle der Ausgangspunkt einer neuen Elementarwelle sein kann. Die einzelnen Elementarwellen summieren sich zu einer neuen Wellenfront. Es kommt zur Interferenz der Elementarwellen. Bei einer Grenzfläche, einem Einzelpalt oder einem Doppelpalt zeigt sich dieses Phänomen.

Zunächst wird der Einzelpalt behandelt. Dabei gibt es zwei Varianten die Beugung am Einzelpalt zu untersuchen; einerseits gibt es die Fresnel'sche Beugung, andererseits die Fraunhofer'sche Beugung (Abb. 1). Bei der Fresnel'schen Beugung sind die Lichtquelle und die Bildebene nah an dem Spalt. Die Fraunhofer'sche Beugung funktioniert mit größeren Abständen: Die Lichtquelle ist so weit weg von dem Spalt, dass die einfallenden Lichtstrahlen parallel sind. Auch die Bildebene ist weiter weg von dem Spalt. In diesem Versuch wird die Fraunhofer'sche Beugung verwendet. Der Strahlengang am Einzelpalt ist in Abbildung 2 dargestellt. Dabei ist zu erkennen, dass bei einer Beugung um den Winkel  $\varphi$  ein Gangunterschied zwischen den Strahlen entsteht. Eine Lichtwelle kann hier die Form

$$A(z, t) = A_0 \exp \left[ i \left( \omega t - \frac{2\pi z}{\lambda} \right) \right]$$

Die entstehende Phasendifferenz beim Gangunterschied  $s$  zwischen zwei Strahlen der Wellenlänge  $\lambda$  beträgt dann:

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

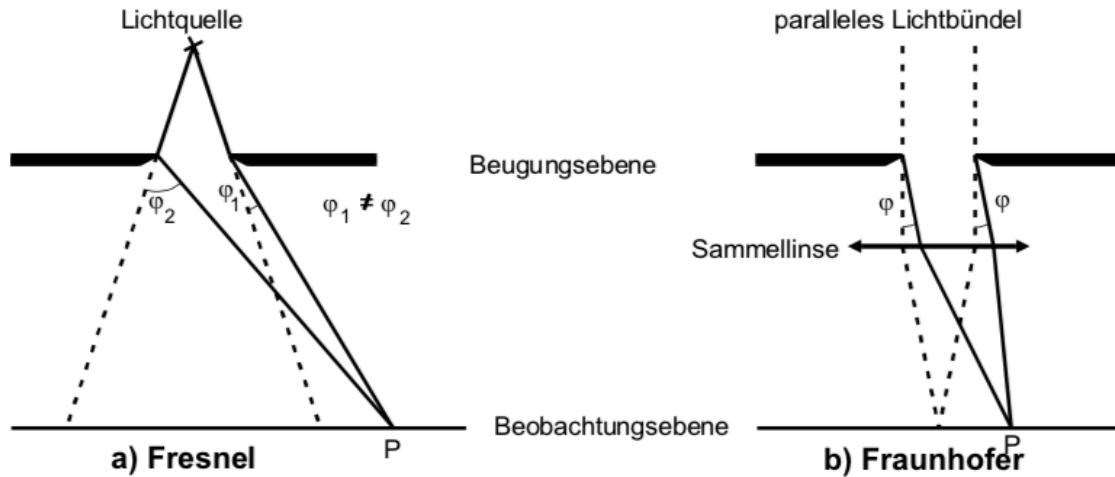


Abbildung 1: Fresnel'sche und Fraunhofer'sche Beugung [1]

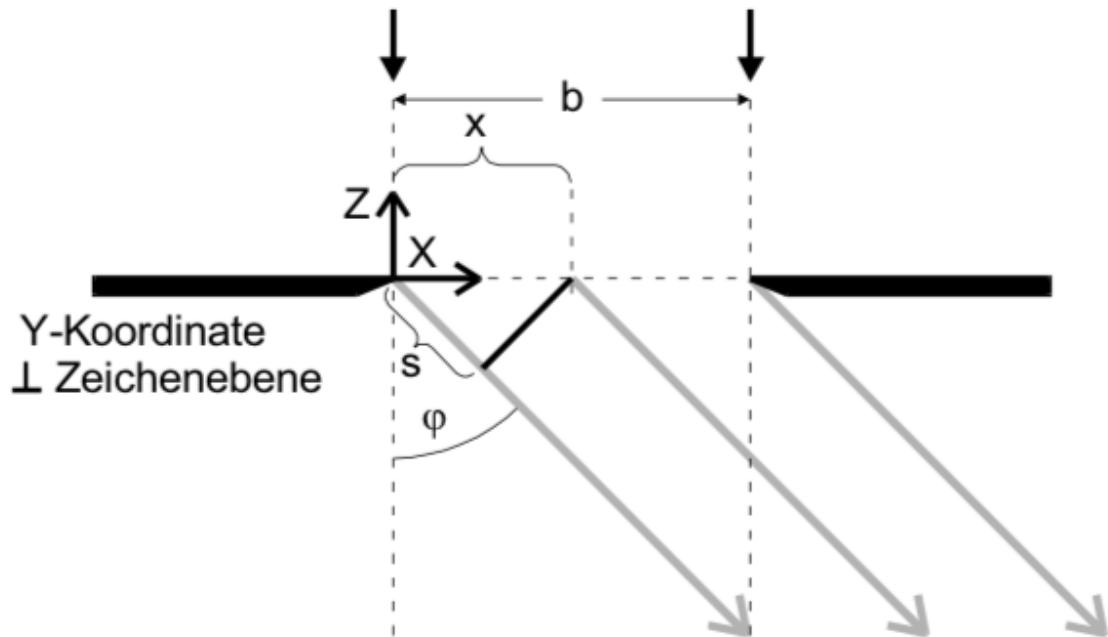


Abbildung 2: Huygens'sches Prinzip am Einzelpunkt [1]

An den Spalten wird die Welle also bei den interferierenden Wellenlängen um den Winkel  $\varphi$  gebeugt. Die Amplitude lässt sich am Einzelpunkt durch das Integral über die Spaltbreite  $b$  berechnen:

$$B(z, t, \varphi) = A_0 \int_0^b \exp \left[ i \left( \omega t - \frac{2\pi z}{\lambda} + \delta \right) \right] dx.$$

Mit einigen Umformungen wird daraus:

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

Die beiden exponentiellen Faktoren sind für die Rechnung unerheblich. Damit lässt sich  $B(z, t, \varphi)$  zu folgender Gleichung überführen:

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

Die Intensität ist proportional zum Betragsquadrat der Amplitude  $B(\varphi)$ :

$$I(\varphi) \propto B^2(\varphi) = A_0^2 b^2 \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin(\varphi)}{\lambda} \right) \frac{\lambda^2}{\pi^2 b^2 \sin^2(\varphi)} \quad (1)$$

Die Intensitätsminima liegen bei

$$\varphi(k) = \arcsin \left( \pm \frac{n\lambda}{b} \right).$$

Der Doppelspalt verhält sich wie die Überlagerung zweier Einzelpalte (Abb. 3), bei der durch die Interferenz ein zusätzlicher Cosinusterm hinzukommt (Gleichung (2)). Die

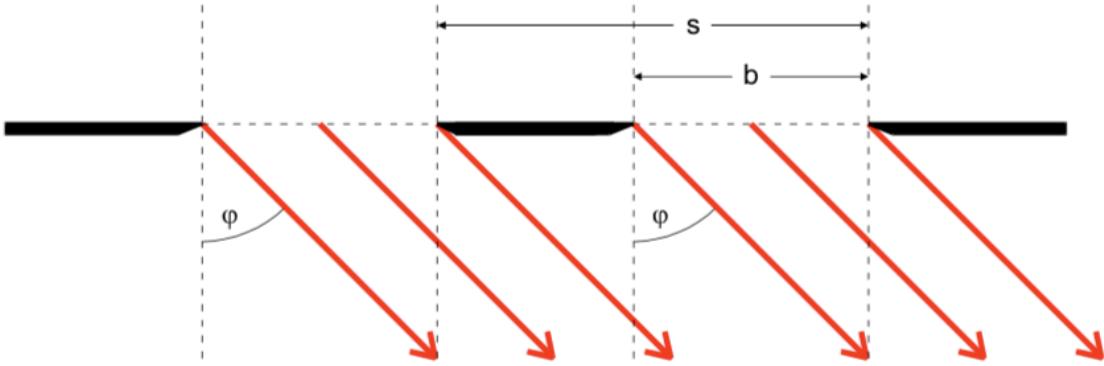


Abbildung 3: Strahlengang am Doppelspalt [1]

Intensität eines Spalts des Abstands  $b$  verhält sich dann wie folgt:

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

Die Intensitätsminima liegen bei

$$\begin{aligned} \varphi_1(n) &= \arcsin \left( \pm \frac{n\lambda}{b} \right), & n &= (1, 2, 3, 4, \dots) \\ \varphi_2(k) &= \arcsin \left( \frac{2k+1}{2s} \right), & k &= (0, 1, 2, 3, 4, \dots). \end{aligned}$$

Mit einer Fouriertransformation lässt sich die Amplitudenverteilung bei der Fraunhofer'schen Beugung allgemeiner beschreiben. Die Fouriertransformierte hat die Form

$$g(\zeta) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \exp(ix\zeta) dx = A_0 \int_0^b \exp(ix\zeta) dx = \frac{A_0}{i\zeta} (-1 \exp(ib\zeta)).$$

Daraus ergibt sich

$$\zeta = \frac{2\pi \sin(\varphi)}{\lambda}.$$

Die Fouriertransformation beschreibt also das Huygens'sche Prinzip mathematisch.

### 3 Aufbau und Durchführung

Der Aufbau der Messapparatur ist schematisch in Abbildung 4 dargestellt. Ein Laser der

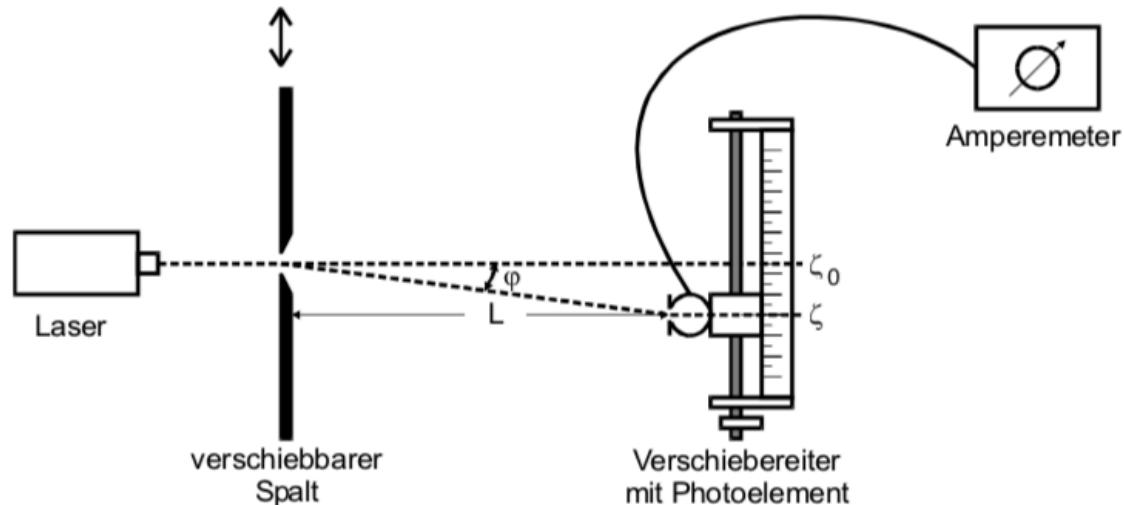


Abbildung 4: Aufbau der Messapparatur [1]

Wellenlänge  $\lambda = 0$  ist mit einer Blende zum Befestigen der Spalte und einem Detektor auf einer Schiene angebracht. Der Spalt und der Detektor liegen in einem Abstand von  $L = 0,9\text{ m}$ . Die Lichtwellen des Lasers fallen auf einen der Spalte, werden gebeugt und an dem seitlich verschiebbaren Detektor zeigt sich ein jeweiliges Interferenzmuster. Der Detektor bildet die einfallende Intensität als Strom ab. Der Strom wird mit einem Amperemeter gemessen.

Initial wird der 'Dunkelstrom'  $I_{du} = 0,58\text{ nA}$  gemessen. Er zeigt an, wie groß das Untergrundrauschen durch die sonstigen Lichtquellen und ohne den Laser ist.

Zunächst wird ein Einzelspalt der Breite  $b = 0,022 \cdot 10^{-3}\text{ m}$  untersucht. Das Interferenzmuster wird per Hand möglichst genau auf den Detektor gerichtet. Dann wird das Intensitätsmaximum lokalisiert und der Detektor wird bei der Messung seitlich verschoben, um die Intensität in Abhängigkeit zum Ort zu messen. Dann wird der Strom in  $\Delta\zeta = 0,5\text{ mm}$ -Schritten gemessen. Bei den Intensitätsminima und -maxima werden weitere Messwerte aufgenommen. Es werden das Hauptmaximum und die nächsten zwei Nebenmaxima in beide Richtungen untersucht.

Der zweite untersuchte Einzelspalt hat die Weite  $b = 0,1 \cdot 10^{-3}\text{ m}$ . Die Messung erfolgt analog zu der vorherigen Messung.

Zuletzt wird ein Doppelspalt untersucht. Die Spaltweite beträgt  $b = 0,15 \cdot 10^{-3}\text{ m}$  und der Spaltabstand beträgt  $g = 0,25 \cdot 10^{-3}\text{ m}$ . Das Intensitätsmaximum wird ermittelt und die Intensität wird in Abhängigkeit des Abstands zum Intensitätsmaximum gemessen.

## 4 Auswertung

Die Photodiode hat von dem Spalt den Abstand

$$L = 0,9 \text{ m.}$$

Der Laser leuchtet mit einer Wellenlänge von

$$\lambda = 635 \cdot 10^{-9} \text{ nm.}$$

Die Messung des Dunkelstroms ergibt:

$$I_{du} = 0,58 \text{ nA.}$$

Bei allen nachfolgenden Intensitäten wird der Dunkelstrom  $I_{du}$  abgezogen um den realen Wert zu erhalten. Die maximale Intensität jeder Messung wird als Nullpunkt genommen.

### 4.1 Einzelspalt 1

Die Spaltbreite ist gegeben als:

$$b = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 1 und in der Abbildung 5 dargestellt.

Mit Python wird eine Ausgleichsrechnung nach der Form der Gleichung 1 bestimmt.  
Die durch Python errechnete Spaltbreite beträgt:

$$b = (0,045 \pm 0,001) \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

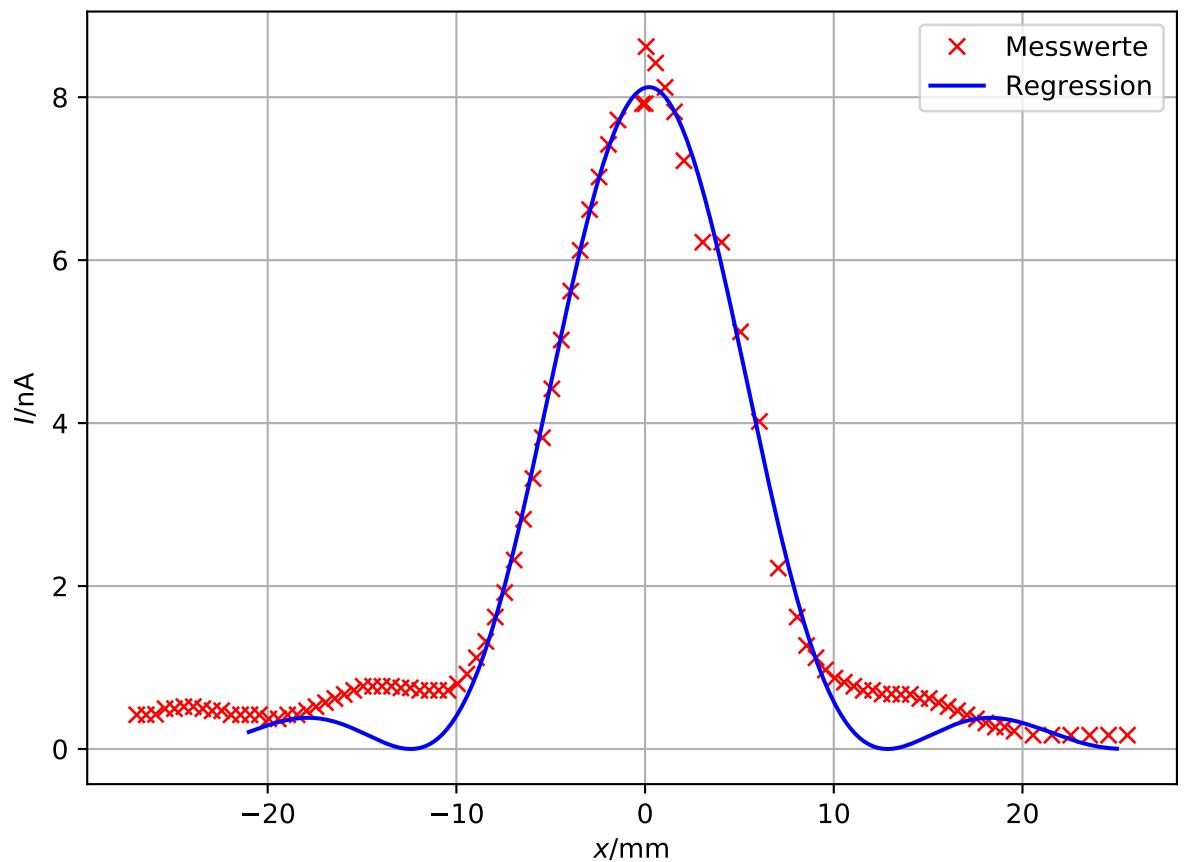


Abbildung 5: Einzelspalt 1

Tabelle 1: Messwerte für den Einzelpalitt mit  $b = 0,022 \cdot 10^{-3}$  m

Auslenkung /mm	Intensität /nA	Auslenkung /mm	Intensität /nA
0,00	7,92	-23,94	0,52
-0,14	7,92	-24,44	0,52
-1,44	7,72	-24,94	0,50
-1,94	7,42	-25,44	0,50
-2,44	7,02	-25,94	0,43
-2,94	6,62	-26,44	0,42
-3,44	6,12	-26,94	0,42
-3,94	5,62	0,06	8,62
-4,44	5,02	0,56	8,42
-4,94	4,42	1,06	8,12
-5,44	3,82	1,56	7,82
-5,94	3,32	2,06	7,22
-6,44	2,82	3,06	6,22
-6,94	2,32	4,06	6,22
-7,44	1,92	5,06	5,12
-7,94	1,62	6,06	4,02
-8,44	1,32	7,06	2,22
-8,94	1,12	8,06	1,62
-9,44	0,92	8,56	1,27
-9,94	0,80	9,06	1,12
-10,44	0,72	9,56	0,97
-10,94	0,72	10,06	0,87
-11,44	0,72	10,56	0,82
-11,94	0,72	11,06	0,77
-12,44	0,75	11,56	0,72
-12,94	0,75	12,06	0,72
-13,44	0,77	12,56	0,68
-13,94	0,77	13,06	0,68
-14,44	0,77	13,56	0,67
-14,94	0,77	14,06	0,67
-15,44	0,72	14,56	0,62
-15,94	0,67	15,06	0,62
-16,44	0,62	15,56	0,57
-16,94	0,57	16,06	0,52
-17,44	0,52	16,56	0,47
-17,94	0,47	17,06	0,42
-18,44	0,42	17,56	0,37
-18,94	0,42	18,06	0,32
-19,44	0,37	18,56	0,27
-19,94	0,37	19,06	0,27
-20,44	0,42	19,56	0,22
-20,94	0,42	20,56	0,17
-21,44	0,42	21,56	0,17
-21,94	0,42	22,56	0,17
-22,44	0,47	23,56	0,17
-22,94	0,47	24,56	0,17
-23,44	0,50	25,56	0,17

## 4.2 Einzelspalt 2

Die Spaltgröße ist gegeben als:

$$b = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 2 und in der Abbildung 6 dargestellt.  
Mit Python wird erneut eine Ausgleichsrechnung mit Gleichung 1 ausgeführt. Die von Python berechnete Spaltbreite beträgt:

$$b = (0,29 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Tabelle 2: Messwerte für den Einzelspalt mit  $b = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$

Auslenkung /mm	Intensität /nA	Auslenkung /mm	Intensität /nA
0,00	299,42	-	-
-0,50	339,42	0,50	179,42
-1,00	234,42	1,00	74,42
-1,50	99,42	1,50	44,42
-2,00	43,42	2,00	29,42
-1,31	40,42	2,50	24,42
-2,50	42,42	3,00	21,92
-3,00	42,42	3,50	19,42
-3,50	37,42	4,00	16,92
-4,00	29,42	4,20	16,92
-4,50	19,42	4,50	18,42
-5,00	13,42	4,79	18,92
-5,19	13,42	5,00	17,92
-5,50	15,42	5,50	14,42
-6,00	19,42	6,00	12,92
-6,50	25,42	6,50	13,42
-7,00	29,92	7,00	14,92
-7,13	31,42	7,50	15,42
-7,50	26,92	8,00	14,92
-8,00	14,92	8,50	10,92
-8,50	12,92	9,00	8,42
-9,00	11,92	9,50	6,42
-9,50	17,92	10,00	5,82
-9,73	18,42	10,50	4,62
-10,0	17,42	11,00	3,92
-10,5	13,42	11,50	3,62

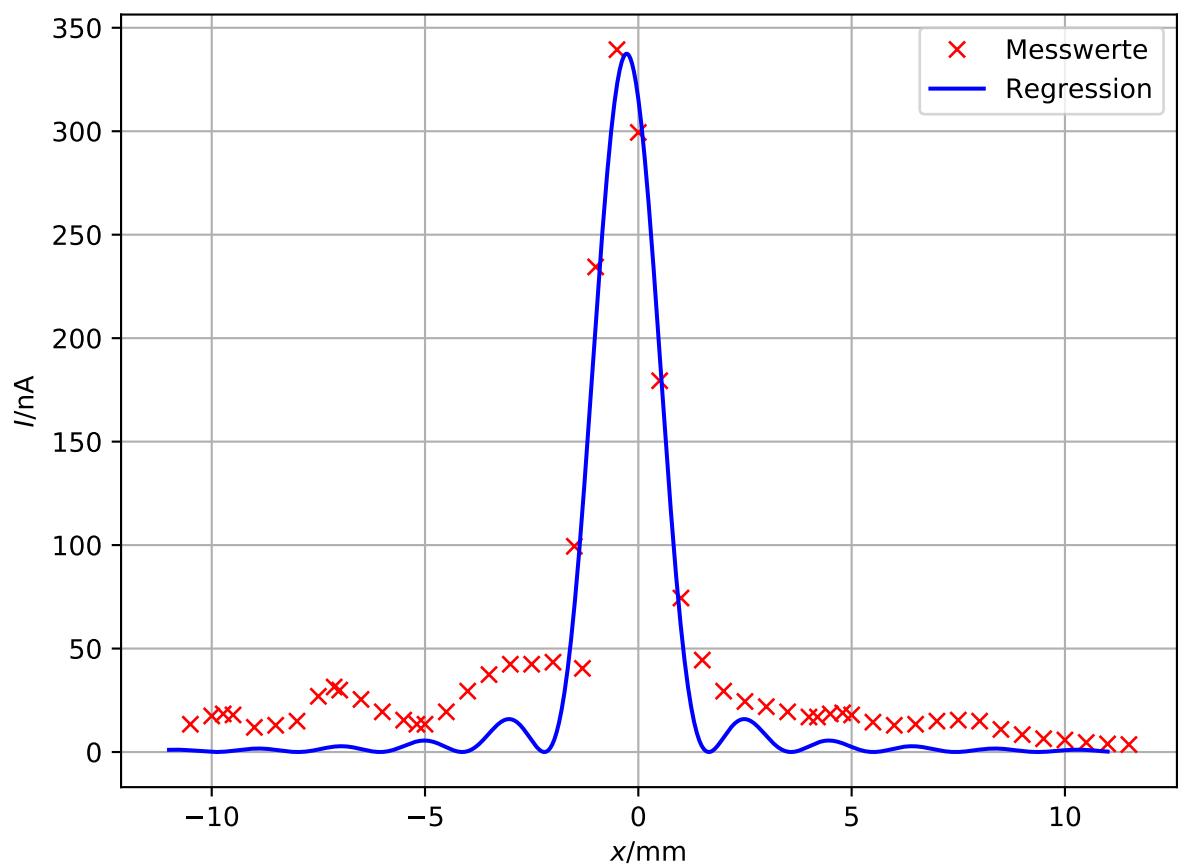


Abbildung 6: Einzelpalt 2

### **4.3 Doppelspalt**

Die Spaltgrößen  $b$  und der Spaltabstand  $s$  sind gegeben als:

$$b = 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$
$$g = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ m.}$$

Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 3 und in der Abbildung 7 dargestellt. Die nicht-lineare Ausgleichsrechnung nach Gleichung 2 wird mit Python bestimmt.

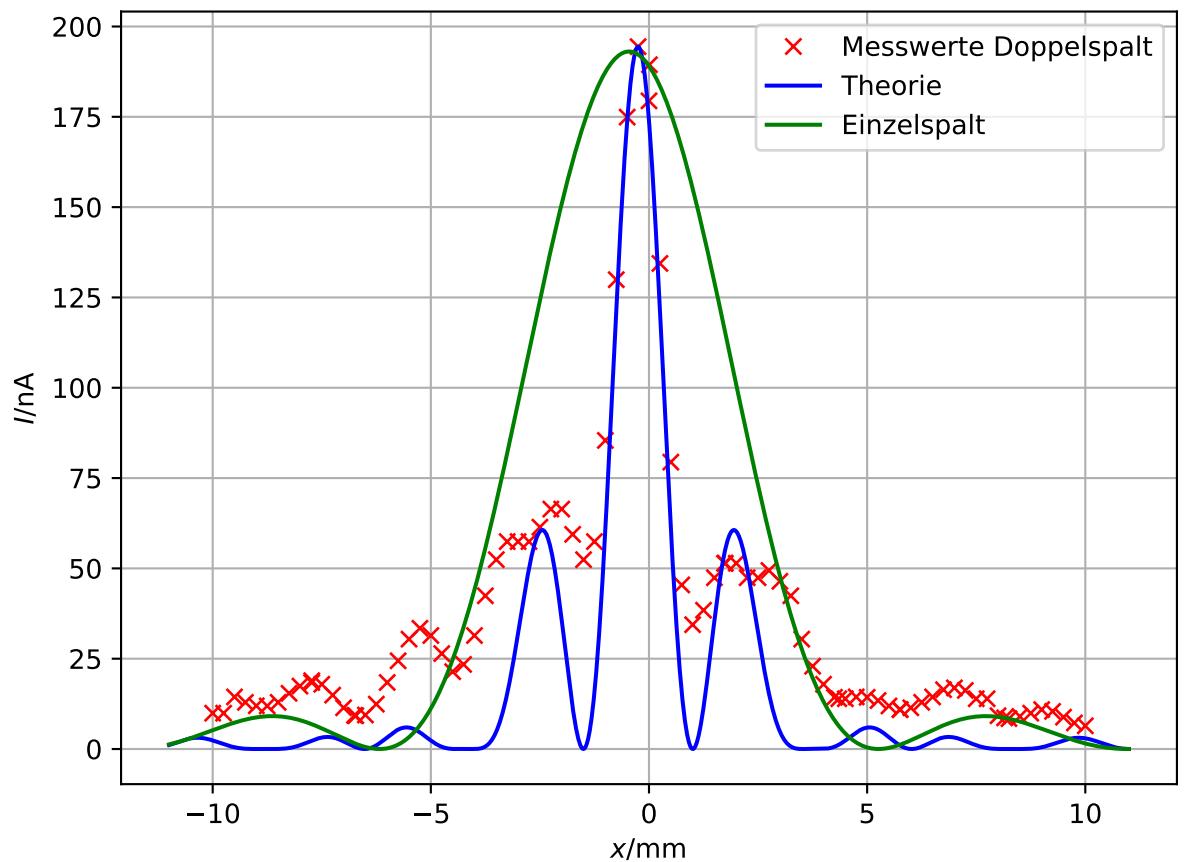


Abbildung 7: Doppelspalt

Tabelle 3: Messwerte für den Doppelspalt mit  $b = 0,15 \cdot 10^{-3}$  m und  $g = 0,25 \cdot 10^{-3}$  m

Auslenkung /mm	Intensität /nA	Auslenkung /mm	Intensität /nA
0,00	189,42	0,00	179,42
-0,25	194,42	0,25	134,42
-0,50	174,92	0,50	79,42
-0,75	129,92	0,75	45,42
-1,00	85,42	1,00	34,42
-1,25	57,42	1,25	38,42
-1,50	52,42	1,50	47,42
-1,75	59,42	1,75	51,42
-2,00	66,42	1,75	51,42
-2,25	66,42	2,00	51,42
-2,50	61,42	2,25	47,42
-2,75	57,42	2,50	47,42
-3,00	57,42	2,75	49,42
-3,25	57,42	3,00	46,42
-3,50	52,42	3,25	42,42
-3,75	42,42	3,50	30,42
-4,00	31,42	3,75	22,92
-4,25	23,42	4,00	17,92
-4,50	21,42	4,25	14,32
-4,75	26,42	4,35	13,92
-5,00	31,42	4,50	13,92
-5,25	33,42	4,75	14,42
-5,50	30,42	5,00	14,32
-5,75	24,42	5,25	13,42
-6,00	18,42	5,50	11,92
-6,25	12,42	5,75	10,92
-6,50	9,42	5,76	10,92
-6,72	9,22	6,00	11,42
-6,75	9,32	6,25	12,92
-7,00	11,42	6,50	14,42
-7,25	14,92	6,75	16,42
-7,50	17,92	7,00	16,92
-7,73	18,42	7,25	16,22
-7,73	18,92	7,50	13,92
-8,00	17,42	7,75	13,92
-8,25	15,42	8,00	9,22
-8,50	12,92	8,15	8,62
-8,75	11,92	8,25	8,42
-9,00	11,97	8,50	9,02
-9,25	12,92	8,75	9,92
-9,50	14,42	9,00	10,92
-9,75	9,92	9,25	10,42
-10,00	9,92	9,50	8,82
-	-	15	9,75
-	-		7,22
-	-		6,42

## 5 Diskussion

Im ersten Einzelspaltexperiment werden folgende Werte ermittelt:

Theorie	$b = 0,022 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Errechnet	$b = (0,045 \pm 0,001) \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Abweichung	$\sigma = \pm 104,5 \%$ .

Im zweiten Einzelspaltexperiment werden diese Werte ermittelt:

Theorie	$b = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Errechnet	$b = (0,29 \pm 0,01) \cdot 10^{-3} \text{ m}$
Abweichung	$\sigma = \pm 190 \%$ .

Beim Doppelspalt wird anhand von der Abbildung 7 deutlich, dass die Formel des Doppelspaltes 2 deutlich besser zu den Messwerten passt als die Formel zum Einzelspalt 1. Die Messungen des Experimentes haben große Fehlerquellen. Es gibt Schwankungen in der Dunkelstrahlung. Der Messaparat misst die Intensität über eine bestimmte Breite, dass heißt, er integriert die Intensität über einen Bereich. Somit es eine genaue Bestimmung nicht möglich. Desweiteren können paralaxe Fehler bei der Messung der Intensität auftreten.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V406*.

V406	$\lambda = 635 \text{ nm}$	$L = 90 \text{ cm}$
Dunkelstrom:	$I = \cancel{0,58} \text{ nA}$	$0,58 \text{ nA}$
<u>kleiner Spalt 0,022</u>		
X/mm	I	
24,94	8,5 nA	12,5 1,35 nA -0,5 1,005 nA
24,90	8,5 nA	12 1,35 nA -1 1 nA
23,5	8,3 nA	11,5 1,35 nA -1,5 1 nA
23,0	8 nA	11 1,35 nA -2 0,85 nA
22,5	7,6 nA	10,5 1,35 nA 25 <del>9,4</del> 9,2 nA
22	7,2 nA	10 1,35 nA 25,5 9,4 nA
21,5	6,7 nA	9,5 1,3 nA 26 8,47 nA
21,	6,2 nA	9 1,25 nA <del>26,5</del> 8,44 nA
20,5	5,6 nA	8,5 1,2 nA 27 <del>8,2</del> 7,8 nA
20	5 nA	8 1,15 nA 28 <del>8,2</del> 6,8 nA
19,5	4,4 nA	7,5 1,1 nA <del>28</del> 6,15 nA
19	3,9 nA	7 1,05 nA 30 4,6 nA
18,5	3,4 nA	6,5 1,0 nA 31 3,6 nA
18	2,9 nA	6 1,0 nA 32 <del>3,8</del> nA
17,5	2,5 nA	5,5 0,95 nA 33 2,2 nA
17	2,2 nA	5 0,9 nA 33,5 1,85 nA
16,5	<del>1,9</del> 1,9 nA	4,5 0,85 nA 34 1,7 nA
16	1,7 nA	4 0,8 nA 34,5 1,55 nA
15,5	1,5 nA	3,5 0,75 nA 35 1,45 nA
15	1,38 nA	3 0,7 nA 35,5 1,4 nA
14,5	1,3 nA	2,5 0,65 nA 36 1,35 nA
14	1,3 nA	2 0,6 nA 36,5 1,3 nA
13,5	1,3 nA	1,5 0,55 nA 37 <del>1,3</del> 1,3 nA
13,0	1,3 nA	1 0,5 nA 37,5 1,3 nA
		0 0,45 nA 38 1,255 nA

Abbildung 8: Originale Messdaten

		großer Spalt 0,1			<u>nA</u>
38,5	1,25nA				
39	1,25nA	25	0,3	25	0,3
39,5	1,2nA	25,5	0,34	25,5	0,18
40	1,2nA	24,	0,235	26	0,075
40,5	1,15nA	23,5	0,1	26,5	0,045
41	1,1nA	23	0,044	27	0,03
41,5	1,05nA	22,69	0,041	27,5	0,025
42	1nA	22,5	0,043	28	0,0225
42,5	0,95nA	22	0,043	28,5	0,102
43	0,9nA	21,5	0,038	29	0,0175
43,5	0,85nA	21	0,03	29,20	0,0175
44	0,85nA	20,5	0,02	29,5	0,019
44,5	0,8nA	20	0,014	29,69	0,0195
45,5	0,75nA	19,81	0,014	30	0,0185
46,5	0,75nA	19,5	0,016	30,5	0,015
47,5	0,75nA	19,0	0,02	31	0,0135
48,5	0,75nA	18,5	0,026	31,5	0,016
49,5	0,75nA	18	0,03005	32	0,0155
50,5	0,75nA	17,87	0,032	32,5	0,016
		17,5	0,0275	33	0,0155
		17	0,0155	33,5	0,0115
		16,5	0,008	34	0,009
		16	0,0125	34,5	0,0078
		15,5	0,0185	35	0,0064
		15,27	0,019	35,5	0,0052
		15	0,018	36	0,0045
		14,5	0,014	36,5	0,0042

Abbildung 9: Originale Messdaten

Doppelgurt MA				
20,4	0,19	20	0,032	30,75 0,0115
23,74	0,19	19,75	0,0324	30,76 0,0115
24,68	0,20	19,5	0,031	31 0,012
23,5	0,188 0,02	19,25	0,0225	31,25 0,0135
21,3	0,018 0,096	18	0,018	31,5 0,015
21,5	0,056	18,75	0,013	31,75 0,01687
23,45	0,056	18,5	0,010	32 0,0175
21,2	0,072	18,28	0,0098	32,25 0,0168
23,75	0,0734	18,25	0,0099	32,5 0,0145
21,5	0,068	18	0,012	33,75 0,0145
21,2	0,06	17,75	0,0156	33,5 0,01098
21,5	0,0524	17,5	0,0185	33,15 0,0092
21,1	0,032	17,25	0,0195	33,25 0,0090
20,8	0,023	17,27	0,019	33,5 0,0096
20	0,032	17	0,018	33,75 0,01105
25	0,19	16,75	0,016	34 0,0115
24,75	0,195	16,5	0,0135	34,25 0,011
24,74	0,192	16,25	0,0125	34,5 0,0094
24,15	0,1755	16	0,01255	34,75 0,0078
20,425	0,1305	15,75	0,0135	35 0,0077
24	0,096	15,5	0,015	
23,75	0,0058	15,25	0,0105	
23,5	0,0563	15	0,0105	
23,25	0,06	25	0,0118	
20,25	0,0518	25,25	0,135	
23	0,0577	25,5	0,08	
22,75	0,04467	25,75	0,046	
22,5	0,0612	26	0,035	
22,25	0,058	26,25	0,039	
22	0,0558	26,5	0,0248	<i>b = 0,15mm</i>
21,75	0,058	26,73	0,0512	
21,5	0,0513	26,75	0,052	
21,25	0,043	27	0,052	
21	0,032	27,25	0,048	
20,75	0,024	27,5	0,048	
20,5	0,0222	27,75	0,05	
20,25	0,027	28	0,0467	
		28,25	0,043	
		28,5	0,031	
		28,75	0,0235	
		29	0,0185	
		29,25	0,0149	
		29,5	0,0145	
		30	0,0149	
		30,25	0,014	
		30,5	0,0125	

LB 26.6.18

$$g = 0,25 \text{ mm}$$

Abbildung 10: Originale Messdaten