

Physik - Anfängerpraktikum
Versuch 406 - Beugung am Spalt

Sebastian Rollke (103095) und Daniel Brenner (105292)

21. September 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Zielsetzung	2
2	Theoretische Betrachtung	3
2.1	Beugung am Einzelspalt	4
2.2	Beugung am Doppelspalt	4
2.3	Fraunhofersche Beugung und Fourier-Transformation	5
3	Experimentelles Vorgehen	6
3.1	Messung der Beugungsfigur eines Spaltes	6
3.2	Bestimmung der Spaltgröße mit dem Mikroskop	6
4	Auswertung	7
4.1	Allgemeines zur Fehlerrechnung	7
4.2	Messung mit dem Mikroskop	7
4.2.1	Messung am Einzelspalt	8
4.2.2	Messung am Doppelspalt	8
4.3	Bestimmung der Beugungsfigur	9
4.3.1	Allgemeines	9
4.3.2	Messung am festen Einfach-Spalt	9
4.3.3	Messung am variablen Einfach-Spalt	14
4.3.4	Messung am Doppelspalt	18
4.4	Zusammenfassung, Vergleich und Fehlerbetrachtung	21

Kapitel 1

Einleitung

Betrachtet man, das Verhalten des Lichtes wenn dieses auf Objekte, die klein gegen den klassischen Strahldurchmesser sind, beobachtet man Abweichungen von der geometrischen Optik. Es kommt zu den sog. Beugungsphänomenen, die nun in diesem Versuch genauer untersucht werden sollen.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches soll sein, die Funktion $I(\varphi)$ als Intensität des Lichtes in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung zu bestimmen. Die Messung erfolgt an zwei einfachen Spalten und einem Doppelspalt. Aus dieser Intensitätsverteilung kann durch eine Fourier-Transformation rückgeschlossen werden auf die Gestalt der beugenden Figur. Außerdem sollen die Abmessungen der Spalten zudem in einer separaten Messung mit dem Mikroskop ermittelt werden.

Kapitel 2

Theoretische Betrachtung

Man unterscheidet zwei Arten von Beugung, die Fresnelsche und die Fraunhofersche Lichtbeugung. Die Fresnelsche Lichtbeugung beschreibt eine Anordnung, bei der Lichtquelle und Beobachtungspunkt jeweils im Endlichen zu finden sind. Dies hat zur Konsequenz, dass die Strahlen, die im Beobachtungspunkt P interferieren jeweils unter verschiedenen Winkeln gebeugt werden (siehe Abbildung 2.1) Die Fraunhofersche Lichtbeugung hingegen geht von einer Lichtquelle

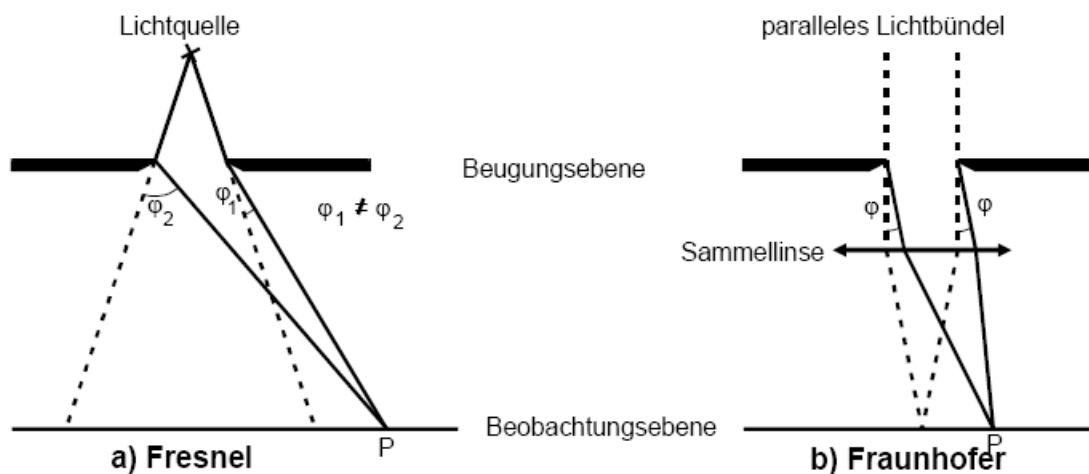


Abbildung 2.1: Fresnelsche und Fraunhofersche Beugung an einem Spalt (Die gestrichelten Linien deuten den Strahlenverlauf bei der geometrischen Optik an)

mit unendlichen Abstand von der Beugungsebene aus, so dass hier ein paralleles Lichtbündel mit einer ebenen Wellenfront vorhanden ist. Experimentell wird dies durch die Verwendung eines Lasers realisiert. Dies hat zur Folge, dass alle Strahlen, die im Beobachtungspunkt P ankommen und dort interferieren, unter dem selben Winkel gebeugt wurden und so natürlich die mathematische Betrachtung drastisch vereinfacht. Im Folgenden soll also nur noch die Fraunhofersche Lichtbeugung zur Lösung des Problems herangezogen werden. Hierbei sollte der Spalt zudem noch eine große Länge gegen seine Breite aufweisen, um nur eine Begrenzung in eine Dimension zuzulassen und so die Beugungserscheinungen auf eine Dimension beschränken.

Um die Beugungserscheinungen zu erklären, nutzt man eine Kombination aus dem Huygen-

schen Prinzip, das besagt das jeder Punkt einer Wellenfront Ursprung einer neuen Elementarwelle ist und dem Interferenzprinzip nach Fresnel, nach dem Wellen miteinander interferieren und eine neue Wellenfront bilden welche der Einhüllenden der Elementarwellen entspricht.

2.1 Beugung am Einzelspalt

Zunächst greift man zwei Strahlenbündel heraus, die von zwei verschiedenen Punkten mit dem Abstand x am Spalt ausgehen. Durch ihren Gangunterschied s kommt es zu einer Phasendifferenz von δ :

$$\delta = \frac{2\pi s}{\lambda} = \frac{2\pi x \sin \varphi}{\lambda} \quad (2.1)$$

mit der Wellenlänge des Lichtes λ . Durch Integration über die Breite des Spaltes b von

$$B(z, t, \varphi) = A_0 \int_0^b \exp \left\{ i \left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda} + \delta \right) \right\} dx \quad (2.2)$$

(A_0 ist die Amplitude der einfallenden Welle, z die Wellenausbreitungsrichtung, ω die Frequenz und t als Zeit) und Vernachlässigung unbedeutender Phasenfunktionen folgt schließlich

$$B(\varphi) = A_0 b \frac{\sin \eta}{\eta} \quad (2.3)$$

mit der Abkürzung

$$\eta := \frac{\pi b \sin \varphi}{\lambda}$$

Aufgrund der hohen Lichtfrequenz von $\omega = 10^{14}$ bis 10^{15} Hz sind die Amplituden der Lichtwelle nicht direkt messbar. Die zeitlich gemittelte Intensität hingegen ist experimentell zugänglich, sie proportional zum Quadrat der Amplitudenfunktion.

$$I(\varphi) \propto B(\varphi)^2 = A_0^2 b^2 \left(\frac{\lambda}{\pi b \sin(\varphi)} \right)^2 \sin^2 \left(\frac{\pi b \sin(\varphi)}{\lambda} \right) \quad (2.4)$$

2.2 Beugung am Doppelspalt

Die Beugung am Doppelspalt lässt sich in Analogie als Überlagerung zweier Einfach-Spalte der Breite b im Abstand s beschreiben.

$$I(\varphi) \propto B(\varphi)^2 = 4A_0^2 b^2 \cos^2 \left(\frac{\pi s \sin(\varphi)}{\lambda} \right) \left(\frac{\lambda}{\pi b \sin(\varphi)} \right)^2 \sin^2 \left(\frac{\pi b \sin(\varphi)}{\lambda} \right) \quad (2.5)$$

Da sich die Intensitätsverteilung des Doppelspaltes aus der Intensitätsverteilung des Einfachspaltes und einer \cos^2 -Verteilung zusammensetzt beobachtet man zusätzliche Minima an den Nullstellen der \cos^2 -Verteilung.

2.3 Fraunhofersche Beugung und Fourier-Transformation

Die Funktion $B(\varphi)$ lässt sich als Fourier-Transformierte der Amplitudenverteilung der einfallenden Welle in der Beugungsebene (Aperturfunktion) ausdrücken. Allgemein versteht man unter einer Fouriertransformation der Funktion $f(x)$:

$$g(\xi) := \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)e^{ix\xi} dx \quad (2.6)$$

Am Spalt lässt sich die Aperturfunktion $f(x)$ als $f(x) = A_0$ darstellen und durch einsetzen und Anwendung der Eulerschen Formel ergibt sich

$$g(\xi) = \frac{2A_0}{\xi} \exp\left(\frac{i\xi b}{2}\right) \sin\left(\frac{\xi b}{2}\right) \quad (2.7)$$

setzt man nun

$$\xi := \frac{2\pi \sin \varphi}{\lambda} \quad (2.8)$$

ein, so sieht man das die Fourier-Transformation das Huygensche Prinzip mathematisch beschreibt. Vor allem sei zu beachten, das durch die Umkehrbarkeit der Fourier-Transformation aus der Amplitudenfunktion die Gestalt $f(x)$ des beugenden Objektes berechnet werden kann.

Kapitel 3

Experimentelles Vorgehen

3.1 Messung der Beugungsfigur eines Spaltes

Zur Aufnahme der Beugungsfiguren der beiden Einfach- und des Doppelspaltes nutzt man jeweils einen Aufbau nach Abbildung 3.1 Als Lichtquelle dient ein Helium-Neon-Laser mit einer

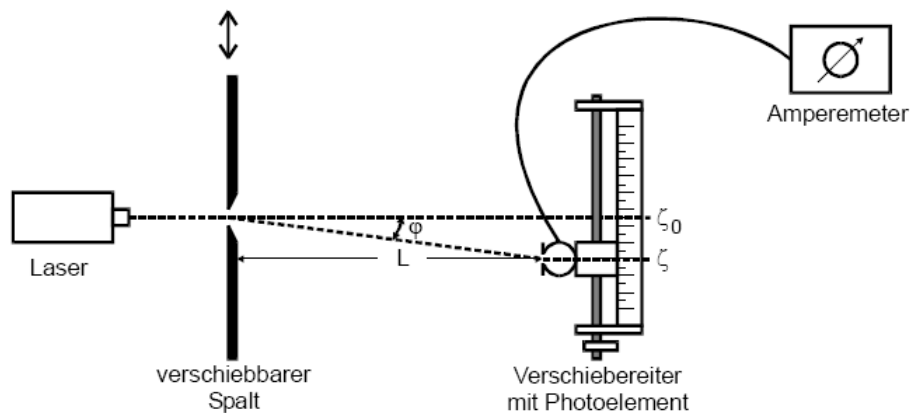


Abbildung 3.1: Versuchsanordnung zur Ausmessung einer Beugungsfigur

Wellenlänge von 633nm. Zur Messung der Intensitäten wird eine Photodiode genutzt, die einen zur Intensität proportionale Strom erzeugt. Dieser betragsmäßig sehr geringe Strom wird durch ein Amperemeter gemessen. Zu beachten ist hier noch, dass auch die unbelichtete Photodiode einen gewissen Dunkelstrom abgibt.

Die Photodiode kann nun durch eine Mikrometerschraube auf einer Schiene verschoben werden, um die Intensität in Abhängigkeit vom Ort, bzw. dem Beugungswinkel anzugeben.

3.2 Bestimmung der Spaltgröße mit dem Mikroskop

In dem verwendeten Mikroskop ist eine lineare Skala willkürlicher Größe vorhanden. Um diese schließlich für die Ausmessung der Spalte verwenden zu können, ist eine Eichmessung nötig, die mittels einer auf einer Glasplatte vorhandenen Mikrometerskala geschieht.

Kapitel 4

Auswertung

4.1 Allgemeines zur Fehlerrechnung

Im folgenden werden häufig diese drei Formeln genutzt, um das Protokoll nicht unnötig zu strecken geben wir sie hier einmal an und verweisen in Folge darauf: Für den Mittelwert gilt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$$

Für den absoluten Fehler gilt:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Für den relativen Fehler gilt:

$$\sigma_{\bar{x},rel} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}}$$

4.2 Messung mit dem Mikroskop

Die Eichung ergab sich durch folgende Messung:

S_1	S_2	Δs	Entspricht Abstand [mm]	Eichung je Skalenteil [mm]
35	182	147	0,05	$3,40 \cdot 10^{-4}$
0	140	140	0,05	$3,57 \cdot 10^{-4}$
41	330	289	0,10	$3,46 \cdot 10^{-4}$
53	183	130	0,05	$3,85 \cdot 10^{-4}$
2	126	124	0,05	$4,03 \cdot 10^{-4}$
Mittelwert				$3,66 \cdot 10^{-4}$
absoluter Fehler				$0,13 \cdot 10^{-4}$
Relativfehler				3,66%

Im folgenden kann also mit dem geeichten Mittelwert von $(3,66 \pm 0,12) \cdot 10^{-4} \text{mm/Skalenteil}$ gerechnet werden.

4.2.1 Messung am Einzelspalt

Die Ausmessung des Einzelspalt (angegebene Breite 0,08mm) ergab:

S_1	S_2	Δs	Breite [mm]
16	220	204	0,075
14	213	199	0,073
20	234	214	0,078
60	275	215	0,079
70	275	205	0,075
Mittelwert			0,076
absoluter Fehler			0,001
Relativfehler			1,66%

4.2.2 Messung am Doppelspalt

Für die Breite beider Doppelspalte die mit jeweils 0,08mm angegeben waren ergibt sich:

S_1	S_2	Δs	Breite [mm]
44	254	210	0,077
39	252	213	0,078
38	243	205	0,075
47	260	213	0,078
41	239	198	0,073
Mittelwert			0,076
absoluter Fehler			0,001
Relativfehler			1,54%

die Länge s , welche den Abstand von der linken Kante des ersten Spaltes bis zur linken Kante des zweiten Spaltes bezeichnet, angegeben mit 0,25mm, ergab sich:

S_1	S_2	Δs	Breite [mm]
91	687	596	0,218
80	698	618	0,226
53	660	607	0,222
76	740	664	0,243
55	695	640	0,234
Mittelwert			0,229
absoluter Fehler			0,005
Relativfehler			2,18%

4.3 Bestimmung der Beugungsfigur

4.3.1 Allgemeines

Der gemessene Dunkelstrom beträgt $-0,0044 \mu\text{A}$, er muss also bei jedem Messwert abgezogen werden um die erhaltenen Messwerte um den Offset zu bereinigen. Zudem wurde ein Strom den wir als Störstrom bezeichnen gemessen, der das einfallende Licht bei der Messung aus dem Raum beschreibt. Dieser wurde mit $-0,0040 \mu\text{A}$ gemessen, abzüglich des Dunkelstroms der Photodiode ergibt sich also eine durch nicht zur Messung gehörige Lichtquellen registrierte Intensität von $0,0004 \mu\text{A}$. Dieser Wert fällt zwar aufgrund seiner relativen Größe kaum ins Gewicht, wurde aber dennoch zusätzlich zum Dunkelstrom von dem gemessenen Werten abgezogen um einen korrekten Messwert zu erhalten, diese Korrektur ist als "I (bereinigt)" in den Tabellen aufgenommen. Des weiteren wurde noch die Länge L zwischen Spalt und Photodiode ermittelt. Es ergaben sich folgende Messwerte:

<u>L [cm]</u>
90,1
90,2
90,1
90,0
90,1

Daraus ergab sich ein Mittelwert von $(90,1 \pm 0,04)$ cm. Die Wellenlänge des Lasers betrug 633nm . Diese Werte sind in allen drei folgenden Messungen identisch.

4.3.2 Messung am festen Einfach-Spalt

Beugungsfunktion

Wie auch in den beiden noch nachfolgenden Messungen wurde hier das um Dunkelstrom und Störstrom bereinigte I angegeben. Da sich aber sofort zeigt, das die ersten beiden Messwerte ein negatives Vorzeichen aufweisen, wurde um keine negativen Werte zu behandeln dieser Offset behoben durch Addition aller Werte um den größten negativen Wert ($-0,014 \mu\text{A}$). Wir erhielten nun durch die Vermessung der Beugungsfigur die in Tabelle 4.1 dargestellten Werte. Eine nicht-lineare Regression (vgl. Abb. 3.1) der Gleichung 2.4, liefert die Spaltbreite sowie Amplitude. Den benötigten Beugungswinkel (ebenfalls in Tabelle 4.1 aufgetragen) errechnet sich nach

$$\varphi \approx \frac{x - x_0}{L} , \quad (4.1)$$

wobei x die Position der Messstelle, x_0 die Position des Hauptmaximums und L die Entfernung zwischen Laser und Spalt darstellt.

Durch unsere Messung bestimmt wir die Lage des Hauptmaximums zu $23,02 \text{ mm}$. Wir passen die Funktion 2.4 mittels nichtlinearer Regression durch das Programm Gnuplot nach der Methode der kleinsten Quadrate (vgl. Abb. 4.1) an unsere Werte an. Wir setzen dabei, da es sich generell nur um sehr kleine Winkel handelt

$$\sin \varphi = \varphi . \quad (4.2)$$

Wir erhalten dadurch

$$\begin{aligned} A_0 &= (26,1558 \pm 0,15479)A \\ b &= (77,5 \pm 0,052)\mu\text{m} . \end{aligned}$$

Bemerkung	X [mm]	φ [°]	I [μ A]	I _{korrr} [μ A]	
Minimum	1,37	-0,024	-0,02	0,00	
	2,00	-0,023	-0,01	0,00	
	3,00	-0,022	0,01	0,03	
	4,00	-0,021	0,05	0,07	
	5,00	-0,020	0,08	0,10	
Maximum	5,40	-0,020	0,08	0,10	
	6,00	-0,019	0,08	0,09	
	7,00	-0,018	0,05	0,07	
	8,00	-0,017	0,01	0,03	
Minimum	8,79	-0,016	0,00	0,02	
	9,00	-0,016	0,00	0,02	
	10,00	-0,014	0,03	0,05	
	11,00	-0,013	0,11	0,13	
Maximum	12,00	-0,012	0,18	0,20	
	12,83	-0,011	0,21	0,23	
	13,00	-0,011	0,21	0,22	
	14,00	-0,010	0,16	0,18	
Minimum	15,00	-0,009	0,07	0,09	
	15,87	-0,008	0,04	0,05	
	16,00	-0,008	0,04	0,06	
	17,00	-0,007	0,18	0,19	
	18,00	-0,006	0,58	0,60	
	19,00	-0,004	1,30	1,32	
	20,00	-0,003	2,20	2,22	
	21,00	-0,002	3,10	3,12	
	22,00	-0,001	3,80	3,82	
	23,00	-0,00002	4,00	4,02	
Haupt Max.	23,02	0	4,10	4,12	
	24,00	0,001	3,90	3,92	
	25,00	0,002	3,20	3,22	
	26,00	0,003	2,40	2,42	
	27,00	0,004	1,55	1,57	
	28,00	0,006	0,72	0,74	
	29,00	0,007	0,25	0,27	
	30,00	0,008	0,07	0,08	
	Minimum	30,46	0,008	0,05	0,07
		31,00	0,009	0,07	0,08
32,00		0,010	0,14	0,16	
33,00		0,011	0,20	0,21	
Maximum	33,34	0,011	0,20	0,22	
	34,00	0,012	0,18	0,20	
	35,00	0,013	0,01	0,03	
	36,00	0,014	0,06	0,07	
	37,00	0,016	0,01	0,03	
Minimum	37,49	0,016	0,01	0,03	
	38,00	0,017	0,01	0,03	
	39,00	0,018	0,04	0,06	
	40,00	0,019	0,07	0,09	
	41,00	0,020	0,08	0,10	
Maximum	41,02	0,020	0,08	0,10	
	42,00	¹⁰ 0,021	0,07	0,09	
	43,00	0,022	0,04	0,06	
	44,00	0,023	0,01	0,03	
	45,00	0,024	0,00	0,02	
Minimum	45,22	0,025	0,00	0,02	

Tabelle 4.1: Intensitätsverteilung am Einzelspalt

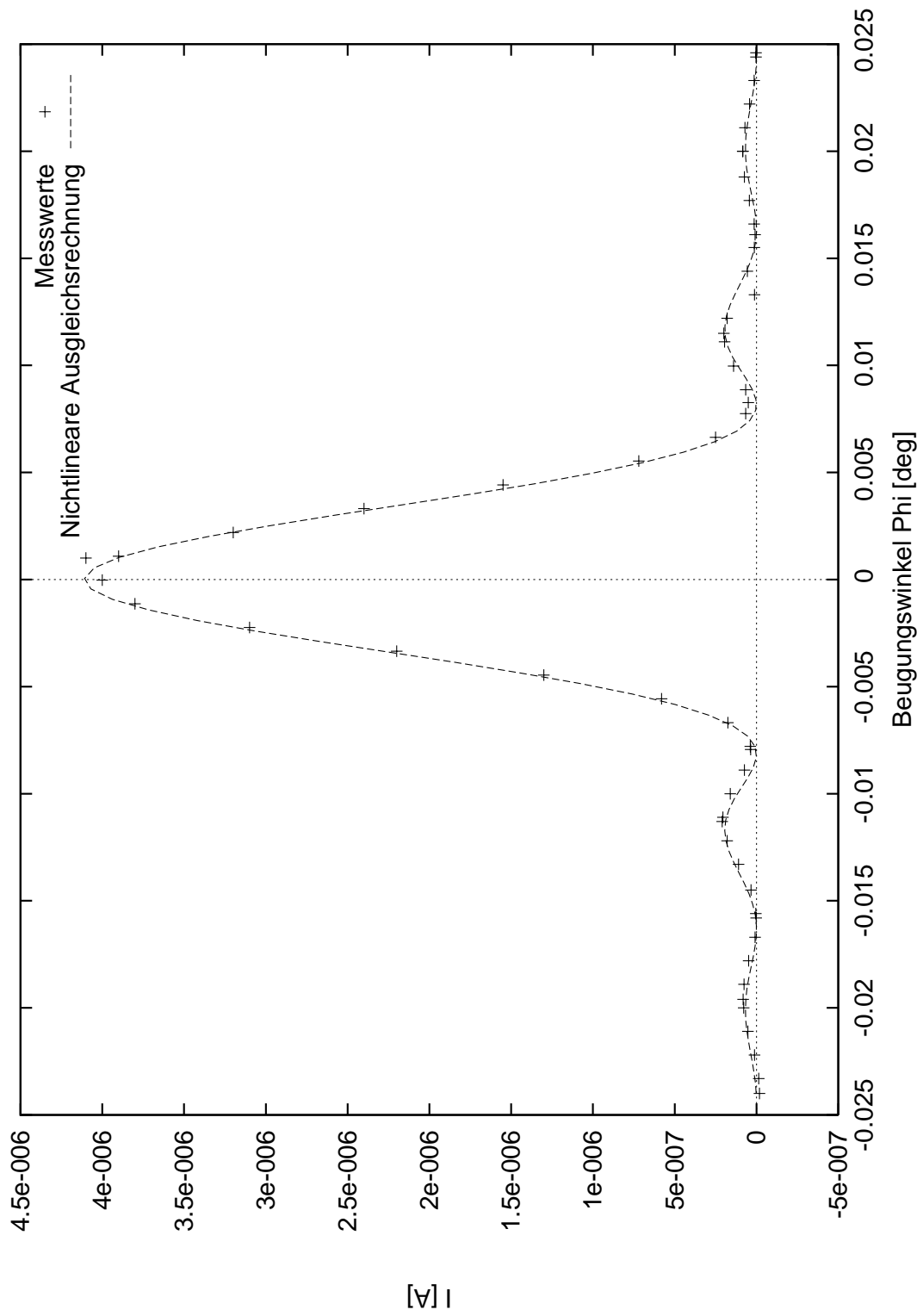


Abbildung 4.1: Intensitätsverteilung am Einzelspalt

Fouriertransformation

Um die Fouriertransformierte 2.7 auf die Intensitätsmesswerte anwenden zu können, bilden wir

$$|g|(\xi) = g(\xi) \cdot g^*(\xi) = \frac{4}{A_0^2} \sin^2 \frac{\xi b}{2},$$

wobei g^* gerade die komplex konjugierte von g ist. Durch einsetzen von 2.8 und anwenden der Näherung 4.2 ergibt sich

$$|g|(\varphi) = \frac{4A_0^2 \cdot \lambda^2}{4\pi^2 \varphi^2} \cdot \sin^2 \frac{2\pi b \varphi}{\lambda}.$$

Für die Regression (vgl. Abb. 4.4) verwenden wiederum die Messwerte aus Tabelle 4.1. Diese liefert die Werte

$$\begin{aligned} A_0 &= (26,16 \pm 0,15)A \\ b &= (38,47 \pm 0,02)\mu m. \end{aligned}$$

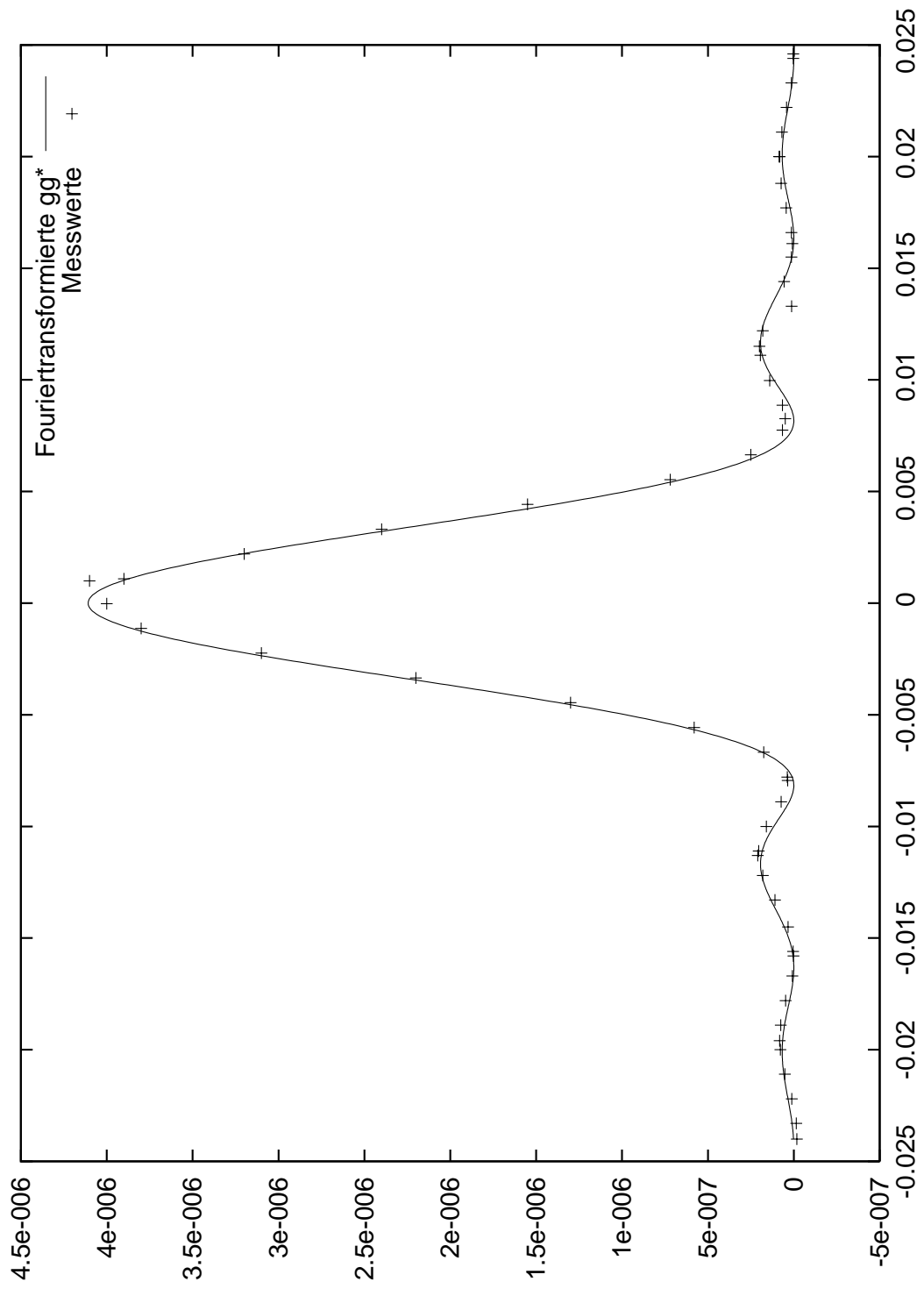


Abbildung 4.2: Fouriertransformierte für den festen Einzelspalt

4.3.3 Messung am variablen Einfach-Spalt

Beugungsfunktion

Wir gingen analog zu der Messung am Einfachspalt vor (Hauptmaximum bei 23,31 mm) und erhielten die in Tabelle 4.2 aufgetragenen Werte. Die nichtlineare Regression (vgl. Abb. 3.3) ergab hierbei

$$\begin{aligned}A_0 &= (45.3959 \pm 0.4675)A \\ b &= (72,42 \pm 0,084)\mu m .\end{aligned}$$

Fouriertransformierte

Wir gehen wieder genau analog zum festen Einzelspalt vor. Die Regression (vgl. Abb. 4.3) ergibt

$$\begin{aligned}A_0 &= (45,40 \pm 0,46)A \\ b &= (36,21 \pm 0,04)\mu m.\end{aligned}$$

Bemerkung	x[mm]	φ [°]	I [μ A]	I _{korrr.} [μ A]
Minimum	1,29	-0,024	0,01	0,01
	2,00	-0,024	0,02	0,02
	3,00	-0,023	0,06	0,07
	4,00	-0,021	0,14	0,14
	5,00	-0,020	0,21	0,21
Maximum	5,87	-0,019	0,23	0,23
	6,00	-0,019	0,23	0,23
	7,00	-0,018	0,20	0,20
	8,00	-0,017	0,13	0,13
Minimum	8,93	-0,016	0,09	0,10
	9,00	-0,016	0,10	0,10
	10,00	-0,015	0,16	0,16
	11,00	-0,014	0,32	0,32
	12,00	-0,013	0,48	0,48
Maximum	13,00	-0,011	0,57	0,57
	13,06	-0,011	0,58	0,58
	14,00	-0,010	0,48	0,48
Minimum	15,00	-0,009	0,29	0,29
	16,00	-0,008	0,18	0,18
	17,00	-0,007	0,46	0,46
	18,00	-0,006	1,45	1,45
	19,00	-0,005	3,20	3,20
	20,00	-0,004	5,60	5,60
	21,00	-0,003	8,20	8,20
	22,00	-0,001	10,05	10,05
	23,00	0,000	10,15	10,15
	Haupt Maximum	23,31	0,000	10,20
Minimum	24,00	0,001	10,15	10,15
	25,00	0,002	10,05	10,05
	26,00	0,003	8,00	8,00
	27,00	0,004	5,40	5,40
	28,00	0,005	2,95	2,95
	29,00	0,006	1,20	1,20
	30,00	0,007	0,34	0,34
	30,89	0,008	0,13	0,13
	31,00	0,009	0,14	0,14
	32,00	0,010	0,29	0,29
Maximum	33,00	0,011	0,50	0,50
	33,87	0,012	0,56	0,56
	34,00	0,012	0,55	0,55
	35,00	0,013	0,40	0,40
	36,00	0,014	0,21	0,21
Minimum	37,00	0,015	0,08	0,08
	37,63	0,016	0,06	0,06
	38,00	0,016	0,06	0,07
	39,00	0,017	0,14	0,14
	40,00	0,019	0,23	0,23
Maximum	41,00	0,020	0,28	0,28
	41,16	0,020	0,28	0,28
	42,00	0,021	0,25	0,25
	43,00	0,022	0,16	0,16
	44,00	0,023	0,07	0,08
Minimum	45,00	0,024	0,03	0,03
	45,32	0,024	0,02	0,03

Tabelle 4.2: Intensitätsverteilung am variablen Einzelspalt

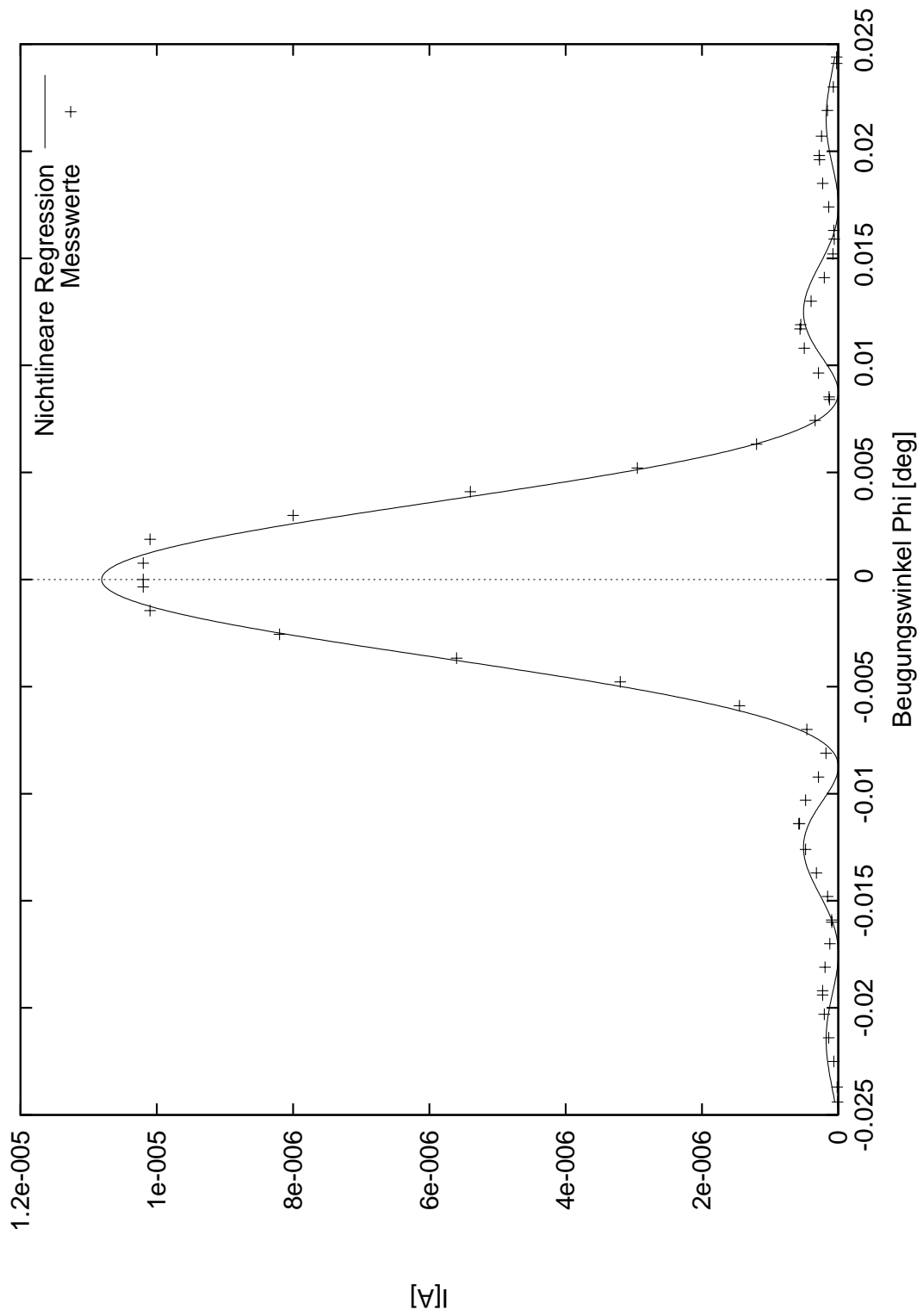


Abbildung 4.3: Intensitätsverteilung am variablen Einzelspalt

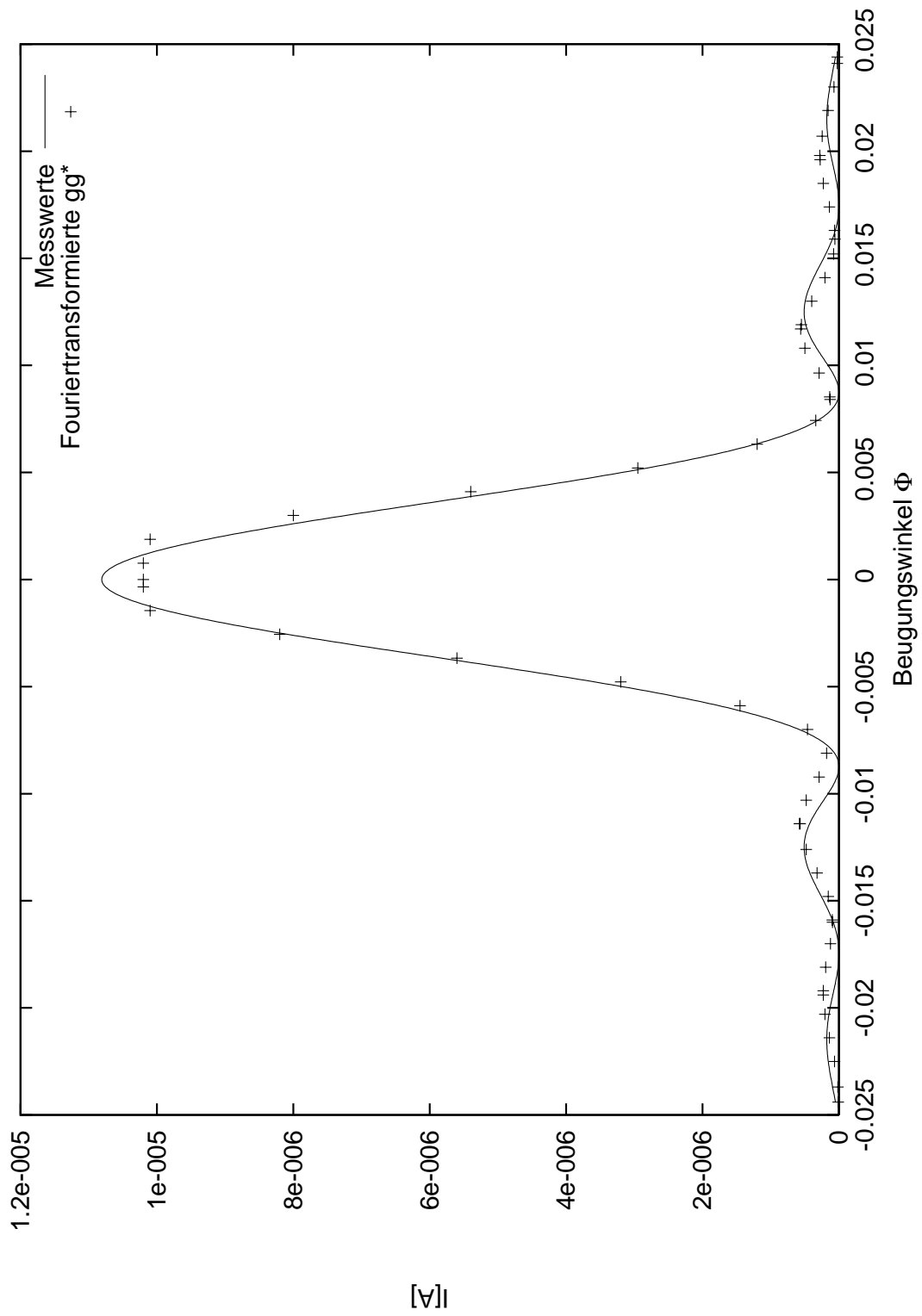


Abbildung 4.4: Fouriertransformation am variablen Einzelspalt

4.3.4 Messung am Doppelspalt

Analog zu den Einzelspaltmessungen gingen wir beim Doppelspalt vor. Für die Intensitätsverteilung verwendeten wir Gleichung 2.4, die auf unsere Messwerte angepasst wurde. Die Werte sind in Tabelle 4.3 enthalten. Die Regression ist in Abb. 4.5 zu finden. Das Hauptmaximum bestimmten befand sich bei 23,21 mm.

Dadurch erhielten wir die Parameter

$$\begin{aligned}A_0 &= (43,0 \pm 1,93)A \\b &= (4,4 \pm 0,02)mm \\s &= (1,4 \pm 0,002)cm .\end{aligned}$$

Bem.	X [mm]	φ [°]	I [μA]	I_{korr} [μA]	Bem.	X [mm]	φ [°]	I [μA]	I_{korr} [μA]
Min	-0,61	-0,027	0,02	0,02		23,50	0,000	36,00	36,00
	-0,50	-0,027	0,02	0,02		24,00	0,001	11,00	11,00
	0,00	-0,026	0,05	0,05	Min	24,31	0,001	4,20	4,20
Maximum	0,45	-0,026	0,06	0,07		24,50	0,001	6,20	6,20
	1,00	-0,025	0,05	0,05		25,00	0,002	25,00	25,00
Min	1,32	-0,025	0,03	0,04		25,40	0,002	34,00	34,00
	1,50	-0,024	0,04	0,04	Max	25,50	0,002	32,00	32,00
	2,00	-0,024	0,16	0,16		26,00	0,003	18,00	18,00
	2,50	-0,023	0,38	0,38		26,50	0,003	3,40	3,40
Maximum	2,73	-0,023	0,41	0,41	Min	26,66	0,004	2,65	2,65
	3,00	-0,023	0,34	0,34		27,00	0,004	6,00	6,00
	3,50	-0,022	0,11	0,11	Max	27,58	0,005	13,00	13,00
Min	3,68	-0,022	0,07	0,08		28,00	0,005	7,80	7,80
	4,00	-0,022	0,19	0,19		28,50	0,006	3,20	3,20
	4,50	-0,021	0,68	0,68	Min	29,10	0,006	0,90	0,90
Maximum	4,87	-0,021	0,86	0,86		29,50	0,007	1,55	1,55
	5,50	-0,020	0,42	0,42	Max	29,69	0,007	1,65	1,65
Min	6,10	-0,019	0,07	0,08		30,00	0,007	1,35	1,35
	6,50	-0,019	0,19	0,19		30,50	0,008	0,48	0,48
Maximum	7,05	-0,018	0,34	0,34	Min	30,96	0,008	0,15	0,15
	7,50	-0,018	0,25	0,25		31,50	0,009	0,48	0,48
	8,00	-0,017	0,11	0,11		32,00	0,009	1,15	1,15
Min	8,49	-0,017	0,05	0,05	Max	32,29	0,010	1,40	1,40
	9,00	-0,016	0,17	0,17		32,50	0,010	1,30	1,30
	9,50	-0,016	0,43	0,43		33,00	0,011	0,60	0,60
Maximum	9,75	-0,015	0,47	0,47	Min	33,41	0,011	0,20	0,20
	10,00	-0,015	0,40	0,40		34,00	0,012	1,20	1,20
Min	10,55	-0,014	0,15	0,15	Max	34,55	0,012	2,05	2,05
	11,00	-0,014	0,60	0,60		35,00	0,013	1,45	1,45
	11,50	-0,013	1,75	1,75		35,50	0,013	0,40	0,40
Maximum	11,81	-0,013	2,05	2,05	Min	35,81	0,014	0,20	0,20
	12,00	-0,013	1,95	1,95		36,00	0,014	0,23	0,23
	12,50	-0,012	0,82	0,82		36,50	0,014	0,54	0,54
Min	12,92	-0,012	0,26	0,26	Max	36,72	0,015	0,60	0,60
	13,50	-0,011	1,10	1,10		37,00	0,015	0,52	0,52
Max	14,06	-0,010	1,65	1,65		37,50	0,016	0,21	0,21
	14,50	-0,010	1,10	1,10	Min	38,05	0,016	0,08	0,09
	15,00	-0,009	0,34	0,34		38,50	0,017	0,14	0,14
Min	15,41	-0,009	0,13	0,13		39,00	0,017	0,22	0,22
	16,00	-0,008	0,46	0,46	Max	39,27	0,018	0,24	0,24
	16,50	-0,008	0,92	0,92		39,50	0,018	0,21	0,21
Max	16,65	-0,008	0,95	0,95		40,00	0,018	0,08	0,08
	17,00	-0,007	0,68	0,68	Min	40,26	0,019	0,04	0,05
Min	17,30	-0,007	0,42	0,42		40,50	0,019	0,09	0,09
	17,50	-0,007	0,66	0,66		41,00	0,019	0,46	0,46
	18,00	-0,006	4,20	4,20	Max	41,54	0,020	0,79	0,79
	18,50	-0,006	9,60	9,60		42,00	0,021	0,50	0,50
Max	18,77	-0,005	10,05	10,05		42,50	0,021	0,12	0,12
	19,00	-0,005	8,80	8,80	Min	42,76	0,021	0,08	0,08
	19,50	-0,004	2,55	2,55		43,00	0,022	0,14	0,14
Min	19,67	-0,004	1,80	1,80		43,50	0,022	0,36	0,36
	20,00	-0,004	6,00	6,00	Max	43,74	0,022	0,38	0,38
	20,50	-0,003	22,50	22,50		44,00	0,023	0,32	0,32
Max	20,98	-0,003	31,00	31,00		44,50	0,023	0,14	0,14
	21,50	-0,002	16,50	16,50		45,00	0,024	0,05	0,05
Min	22,01	-0,002	3,80	3,80		45,50	0,024	0,04	0,04
	22,50	-0,001	19,00	19,00		46,00	0,025	0,03	0,03
	23,00	-0,001	42,00	42,00		46,50	0,026	0,02	0,02
H. Max.	23,21	0,000	44,00	44,00	Min	46,86	0,026	0,01	0,02

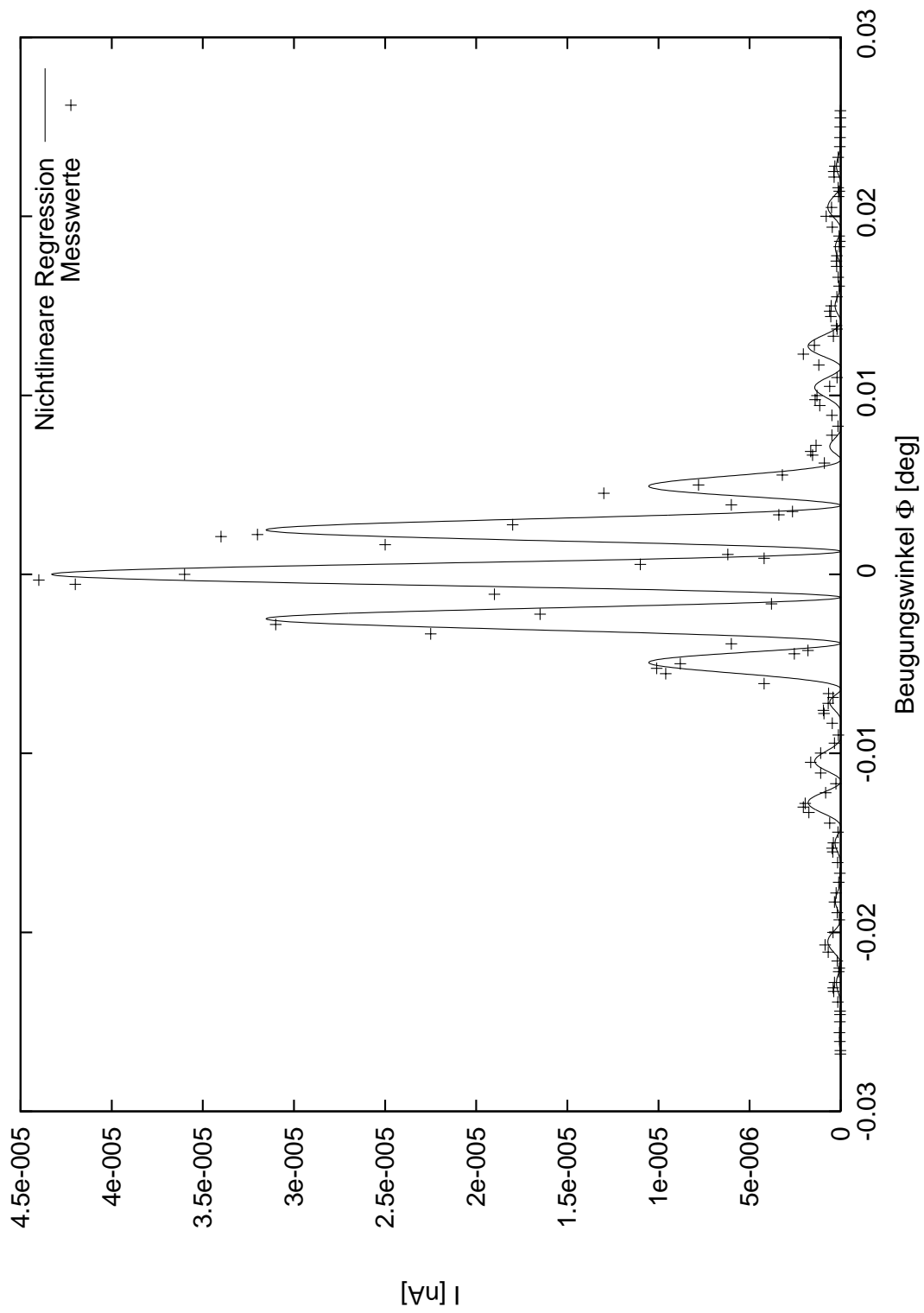


Abbildung 4.5: Intensitätsverteilung am Doppelspalt

4.4 Zusammenfassung, Vergleich und Fehlerbetrachtung

Im folgenden Vergleich werden die erhaltenen Werte für den festen Einzel- sowie den den Doppelspalt. Aufgrund fehlender vergleichender Messungen für den variablen Einzelspalt und der Tatsache, dass seine Breite nicht bekannt war, erfolgt für diesen keinen Vergleich.

Methode	Einzelspalt b [mm]	Doppelspalt b [mm]	Doppelspalt s [mm]
Angegebener Wert	0,08	0,08	0,25
Messung durch Mikroskop	$0,076 \pm 0,001$	$0,076 \pm 0,001$	$0,229 \pm 0,005$
Messung durch Beugungsmuster	$0,078 \pm 0,005$	$14 \pm 0,02$	$4,4 \pm 0,02$
Bestimmung durch FT.	$0,038 \pm 0,0002$	-	-

Während die Messung für den Einzelspalt Werte liefert, die nahe an realen Spaltbreiten liegen, ergeben sich sehr große Abweichungen um mehrere Zehnerpotenzen für die Messung am Doppelspalt. Die Ursache dafür liegt wahrscheinlich an der geringen Anzahl von Messwerten im Bereich des Hauptmaximums.

Die Fouriertransformation liefert einen Wert, der in der gleichen Größenordnung wie die Messung durch Mikroskop und Beugungsfigur liegt, jedoch ziemlich exakt nur halb so groß ist.

Im Allgemeinen erweist sich die Ausmessung mit dem Mikroskop als exakteste und am wenigsten störanfällige Methode, da gerade auch die komplizierte nicht-lineare Regression der Messwerte entfällt.