

## Versuch 406 – Beugung am Spalt

Marco Lafrentz      Philipp Leser

25.10.2005 – Abtestiert am 03.11.2005

Ziel des durchgeführten Versuchs war die Ermittlung von funktionalen Zusammenhängen zwischen der Gestalt eines Spalts<sup>1</sup> und dem Beugungsmuster (hier fester Einfach-Spalt, variabler Einfach-Spalt und Doppel-Spalt)

### Inhaltsverzeichnis

<b>1. Theorie und Durchführung</b>	<b>2</b>
1.1. Zusammenhang zwischen Beugungsfigur $I(\phi)$ und Spaltbreite $b$ . . .	2
1.1.1. Beugung am Parallelspalt . . . . .	2
1.1.2. Beugung am Doppelspalt . . . . .	4
1.2. Herleitung der Amplitudenverteilung $B(\phi)$ durch FOURIER-Transformation	6
1.3. Versuchsaufbau und Durchführung . . . . .	7
<b>2. Auswertung</b>	<b>7</b>
2.1. Messung der Spaltbreite des festen Einfachspalts mit dem Mikroskop	7
2.2. Messung der Beugungsfigur des festen Einfachspalts . . . . .	8
2.3. Messung der Beugungsfigur des variablen Einfachspalts . . . . .	11
2.4. Messung der Beugungsfigur des Doppelspalts . . . . .	13
<b>3. Diskussion der Ergebnisse</b>	<b>19</b>
<b>A. Anhang</b>	<b>20</b>
A.1. Normierte Messwerte . . . . .	20
A.2. Quellenangabe . . . . .	22
A.3. Messwerte . . . . .	22

---

<sup>1</sup>Aperturfunktion

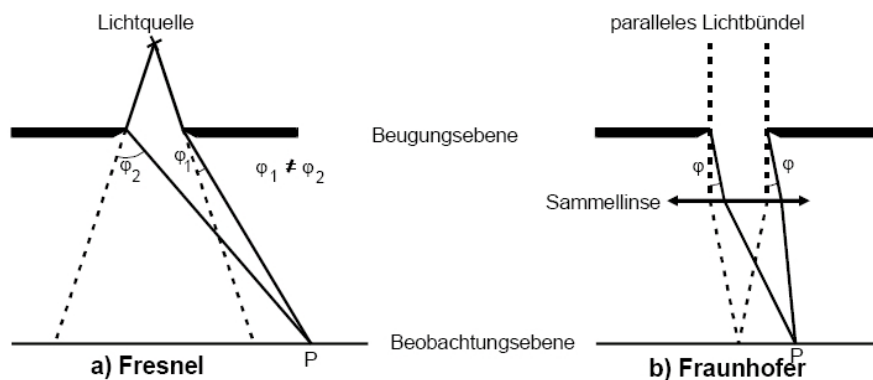
# 1. Theorie und Durchführung

Unter Beugung versteht man die Abweichungen von den Gesetzen der geometrischen Optik, die auftreten, wenn Licht auf kleine<sup>2</sup> Öffnungen oder Strukturen trifft. Wir nutzen den funktionalen Zusammenhang zwischen den auftretenden Beugungsmustern und der Spaltgeometrie zur Vermessung des Einzel- und Doppelspalts.

Vollständig lässt sich die Natur des Lichtes nur quantenmechanisch beschreiben. Hier stellt jedoch das klassische Wellenmodell eine brauchbare Näherung dar. Man greift dazu auf das HUYGENS-FRESNEL'sche Prinzip zurück. Dies besagt: Jeder Punkt einer Wellenfront sendet zur gleichen Zeit sogenannte kugelförmige Elementarwellen aus. Diese interferieren und bilden eine neue Wellenfront, die gleich der Einhüllenden aller Elementarwellen ist.

Somit berechnet sich ein Schwingungszustand in einem beliebigen Punkt durch die Superposition aller Elementarwellen, die zur gleichen Zeit in dem betrachteten Punkt eintreffen.

Die Intensität des Lichtes in Abhängigkeit vom Winkel (Beugungsfigur) stellt hierbei eine akzeptable Messgröße dar. Man unterscheidet dazu zwischen der FRESNEL'schen und der FRAUNHOFER'schen Lichtbeugung. Abbildung 1 macht



**Abbildung 1:** FRESNEL'sche und FRAUNHOFER'sche Beugung an einem Spalt (gestrichelte Linien entsprechen der geometrischen Optik)

deutlich, dass die FRAUNHOFER'schen Lichtbeugung mathematisch leichter zu diskutieren ist. Im Weiteren wird unsere Problemstellung für diese Versuchsanordnung gelöst.

## 1.1. Zusammenhang zwischen Beugungsfigur $I(\phi)$ und Spaltbreite $b$

### 1.1.1. Beugung am Parallelschlitz

Bei der FRAUNHOFER'schen Versuchsanordnung liegt die Lichtquelle im Unendlichen. So erhält man an dem Spalt ein paralleles Lichtbündel mit gerader Wel-

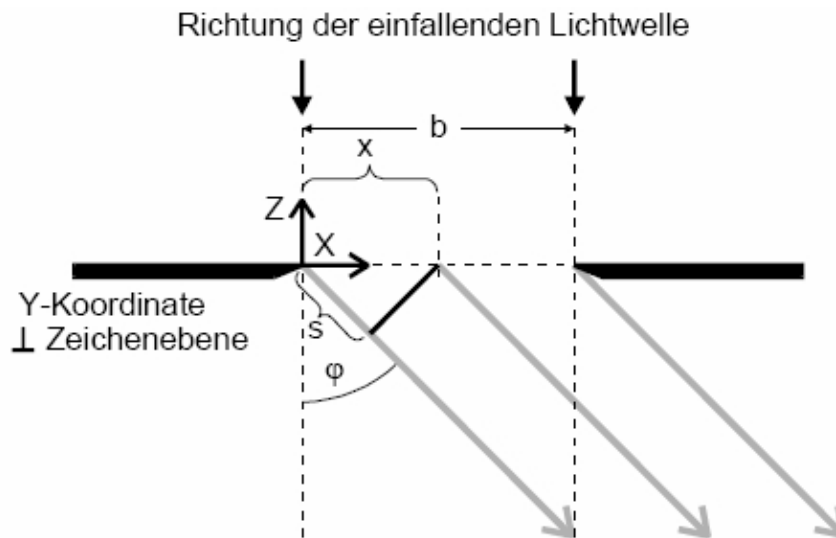
<sup>2</sup>gegen den Strahldurchmesser

lenfront. Praktisch zu realisieren ist dies z.B. durch einen Laser. Verlegt man nun noch den Aufpunkt ins Unendliche, erreicht man, dass alle Strahlen, die im Punkt P interferieren, unter demselben Winkel  $\phi$  gebeugt wurden (dies ist bei einer FRESNEL'schen Versuchsanordnung nicht gegeben).

Geht man davon aus, dass die aus z-Richtung einfallende ebene Welle mit der Wellenlänge  $\lambda$ , der Kreisfrequenz  $\omega$  und der Amplitude  $A_0$  der Form

$$A(z, t) = A_0 e^{i(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda})}$$

nur in einer Dimension begrenzt wird, d.h. die Länge des Parallelspalts sei groß gegen die Breite  $b$ , reicht die Betrachtung des Problems im zweidimensionalen Raum aus. Nach der Beugung am Spalt berechnet sich die Amplitude  $B$  in Rich-



**Abbildung 2:** Skizze zur Herleitung der Phasenbeziehung zwischen Teilstrahlen bei der FRAUNHOFER'schen Versuchsanordnung.

tung  $\phi$  durch Summation aller Strahlbündel, die von sämtlichen Orten in der Öffnung in Richtung  $\phi$  abgegeben wurden. Hierbei ist zu beachten, dass die eintreffenden Strahlen, auf Grund des Gangunterschiedes, eine Phasendifferenz  $\delta$  haben. Diese berechnet sich bei zwei infinitesimal kleinen Strahlenbündel mit dem Abstand  $x$  und dem Gangunterschied  $s$  nach Abbildung 2 durch

$$\delta = \frac{2\pi s}{\lambda} = \frac{2\pi x \sin \phi}{\lambda}$$

Die Summation infinitesimaler Strahlenbündel wird zu einer Integration über die gesamte Spaltbreite  $b$ . Somit erhält man für die Amplitude  $B$  in Richtung  $\phi$ :

$$\begin{aligned} B(z, t, \phi) &= A_0 \int_0^b e^{i(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda} + \delta)} dx \\ &= A_0 e^{i(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda})} \int_0^b e^{\frac{2i\pi x \sin \phi}{\lambda}} dx \\ &= A_0 e^{i(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda})} \frac{\lambda}{\pi \sin \phi} e^{\frac{i\pi b \sin \phi}{\lambda}} \frac{1}{2i} \left( e^{\frac{i\pi b \sin \phi}{\lambda}} - e^{-\frac{i\pi b \sin \phi}{\lambda}} \right) \end{aligned}$$

Nach Anwendung der EULER'schen Formel

$$\sin \alpha = \frac{1}{2i} (e^{i\alpha} - e^{-i\alpha})$$

ergibt sich dann

$$B(z, t, \phi) = A_0 e^{i(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda})} e^{\frac{i\pi b \sin \phi}{\lambda}} \frac{\lambda}{\pi \sin \phi} \sin \left( \frac{\pi b \sin \phi}{\lambda} \right).$$

Somit ist das Problem der Beugung gelöst und die gesuchte Beziehung ist hergeleitet. Von Interesse sind jedoch nur die beiden letzten Faktoren, da die beiden Exponentialfunktionen lediglich Phasenfunktionen sind. Die erste beschreibt die Orts- und Zeitabhängigkeit der Amplitude in Ausbreitungsrichtung und die zweite einen richtungsabhängigen Phasenfaktor. Beide haben keinerlei Einfluss auf die Intensitätsmessung.  $B$  lässt sich also auch schreiben als

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

Somit ist  $B(\phi)$  symmetrisch zur  $y$ -Achse mit Nullstellen bei  $\sin \phi_n = \pm n \frac{\lambda}{b}$  (mit  $n = 1, 2, \dots$ ). Die Funktion hat unendlich viele Nullstellen und hat in etwa die Gestalt wie in Abbildung 3 gezeigt. Man erkennt die lokalen Maxima und Minima, deren Beträge mit steigendem  $|\phi|$  gegen Null gehen. Da die Messung der Amplitude jedoch nicht möglich ist<sup>3</sup>, misst man die zeitlich gemittelte Intensität  $I(\phi)$ , die proportional zum Amplitudenquadrat ist:

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

Diese nicht negative Funktion nennt man Beugungsfigur. Sie hat an den Nulldurchgängen der Amplitudenfunktion Minima und die Beträge der Maxima nehmen genähert mit dem Quadrat des Beugungswinkels ab.

### 1.1.2. Beugung am Doppelspalt

Die Intensitätsfunktion  $I(\phi)$  berechnet sich für die Beugung am Doppelspalt fast analog zur Beugung am Einzelspalt. Man überlagert hierzu die Beugungsfiguren zweier sich im Abstand  $s$  voneinander befindenden Einfachspalte der Breite

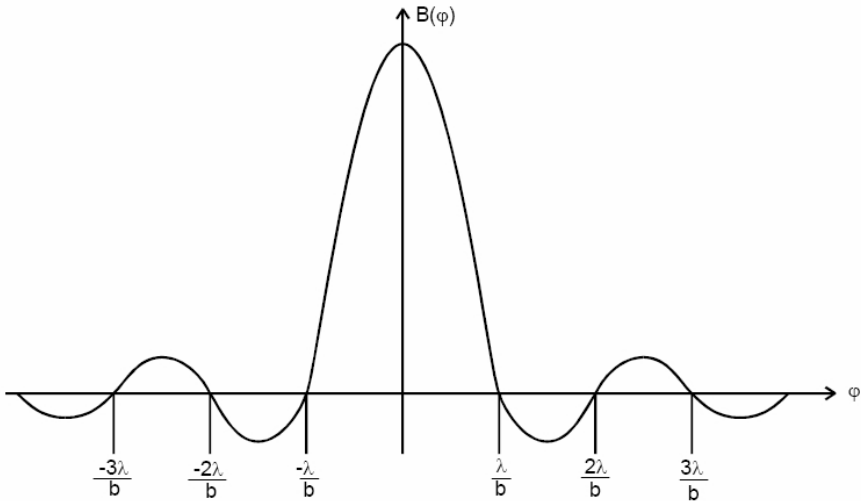


Abbildung 3: Graph der Amplitude einer ebenen Welle, nach der Beugung an einem Parallelschlitz.

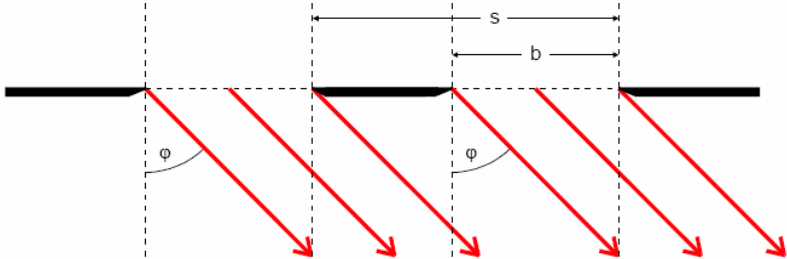


Abbildung 4: Skizze des Strahlenverlaufs an einem Doppelschlitz

$b$  (siehe Abbildung 4). Hier erhält man für eine eintreffende ebene Welle der Wellenlänge  $\lambda$  die Beugungsfigur

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

Die Beugungsfigur für den Doppelspalt setzt sich aus der des einfachen Parallelspaltes und einer  $\cos^2$ -Verteilung zusammen. Durch den  $\cos^2$ -Anteil erhält man neben den sogenannten Minima 1<sup>ter</sup>-Ordnung (die der Einzelspalt-Verteilung) noch weitere Nebenminima bei:

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

## 1.2. Herleitung der Amplitudenverteilung $B(\phi)$ durch FOURIER-Transformation

Man nennt den folgenden Ausdruck  $g(\xi)$  die FOURIER-Transformierte einer allgemeinen Funktion  $f(x)$ .

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

Es zeigt sich, dass die Transformierte der Aperturfunktion, also der Funktion, die die Gestalt des Spalts beschreibt, genau der Amplitudenfunktion des Beugungsmusters entspricht. Für eine Aperturfunktion  $f$  für einen Parallelspalt

$$\begin{aligned} f(x) &= A_0 & 0 \leq x \leq b \\ f(x) &= 0 & \text{sonst} \end{aligned}$$

ergibt sich hier (nach Einsetzen, Integrieren und der EULER'schen Formel):

$$g(\xi) = \frac{2A_0}{\xi} e^{i\frac{\xi b}{2}} \sin \frac{\xi b}{2}$$

Ersetzt man  $\xi$  wie folgt, so erhält man wieder  $B(\phi)$ .

$$\xi = \frac{2\pi \sin \phi}{\lambda}$$

Mit der Ersetzung erkennt man, dass  $e^{ix\xi}$  in dem Integral für eine phasengerechte Summation sorgt. Das HUYGEN'sche Prinzip ist folglich mathematisch durch die FOURIER-Transformation formuliert.

Die Aperturfunktion  $f(x)$  kann ohne weiters auf  $f(x, y)$  erweitert werden und man kann so über die FOURIER-Transformation das Problem der Beugung an zweidimensionalen Objekten, wie z.B. an einem rechteckigen Spalt, lösen. Weiter ist interessant, dass dieser Zusammenhang umkehrbar ist. Die Aperturfunktion entspricht der FOURIER-Transformierten von  $B(\phi)$ . Dies ermöglicht es an Hand der Beugungsfigur die Gestalt des beugenden Objektes zu bestimmen.

Damit handelt es sich bei den beiden Herleitungsmethoden um völlig äquivalente Verfahren.

---

<sup>3</sup>wegen der sehr hohen Frequenz des Lichts

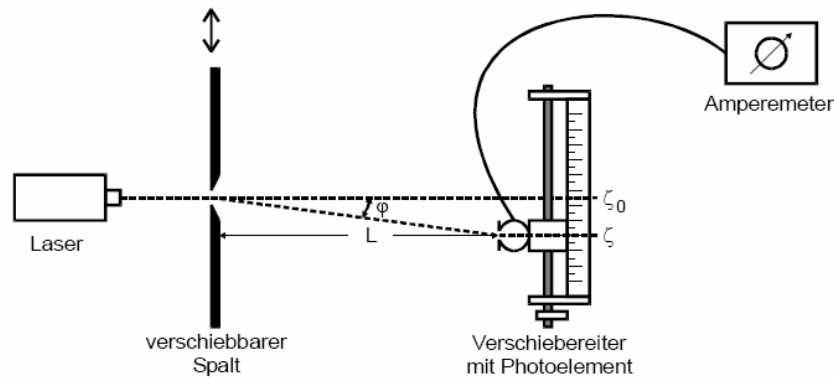


Abbildung 5: Skizze zum Versuchsaufbau zum Ausmessen einer Beugungsfigur

### 1.3. Versuchsaufbau und Durchführung

Der prinzipielle Versuchsaufbau ist in Abbildung 5 dargestellt. Der Laserstrahl eines He-Ne-Lasers (mit  $\lambda = 632.8\text{nm}$ ) beleuchtet einen schmalen Parallelspalt (bzw. Doppelspalt) mit einer kleinen Breite  $b$ . In einer Entfernung von ca. 1m befindet sich ein Detektor auf einem Messverschieber, der senkrecht zu optischen Achse aufgestellt ist. Ein angeschlossenes AMPEREMETER zeigt den, von der im Detektor befindlichen Photodiode erzeugten Strom.

Da der Raum nicht völlig abzudunkeln ist und trotz ausgeschaltetem Laser ein so genannter Dunkelstrom angezeigt wird, ist dieser zu Beginn des Versuchs zu ermitteln und von später erhaltenen Messergebnissen abzuziehen.

Im weiteren Verlauf bestimmten wir mit dem Messverschieber das Hauptmaximum und das dritte Hauptminimum, um die Abstände unserer 50 Messungen sinnvoll zu bestimmen. Beim Doppelspalt führten wir 100 Messungen durch, da sonst die Gefahr besteht, kleine Nebenminima und -maxima zu übermessen.

Für diesen Versuch benutzten wir zuerst einen festen Einfachspalt (Breite nach Herstellerangabe 0.08mm), dessen Breite wir nach der Beugungsmessung noch mit dem Mikroskop vermaßen, um die Ergebnisse der verschiedenen Methoden vergleichen zu können.

Als zweites Beugungsobjekt wählten wir einen variablen Einfachspalt, dessen Breite wir nur rechnerisch aus der Ausgleichsrechnung ermittelten.

Für die Vermessung des Doppelspalts wählten wir ein Exemplar mit der vom Hersteller angegebenen Breite 0.08mm und einem Spaltabstand von 0.25mm.

## 2. Auswertung

### 2.1. Messung der Spaltbreite des festen Einfachspalts mit dem Mikroskop

Bevor diese Messung durchgeführt werden konnte, mussten die Maßstriche im Mikroskop mit einem Objektmikrometer geeicht werden.

Es zeigte sich, dass ein Teilstrich der Mikroskopunterteilung  $40\mu\text{m}$  entsprach;

Die Breite des Spalts wurde mit 2.2 Teilstrichen ermittelt, also

$$b_{\text{gemessen}} = 0.088\text{mm} \pm 0.004\text{mm}$$

Bei diesem Fehler handelt es sich um einen Ablesefehler: Man kann die Skalierung im Okular mit dem Auge kaum deutlicher als in fünf Teilstücke unterteilen.

## 2.2. Messung der Beugungsfigur des festen Einfachspalts

Zuerst vermaßen wir den Abstand  $L$  zwischen Spalt und Detektor:

$$L = 890\text{mm}$$

Es war zweckmäßig, die 50 Messpunkte gleichmäßig vom Hauptmaximum aus gesehen bis zu den dritten Hauptminima zu verteilen. Dazu vermaßen wir die entsprechenden Positionen entlang der  $x$ -Achse und errechneten die Schrittweite:

$$x_0 = 26.86\text{mm}$$

$$x_{3.\text{Min.}} = 5.25\text{mm}$$

$$\text{Schrittweite} = 0.86\text{mm}$$

Den Dunkelstrom  $I_D$  maßen wir mit abgeblendetem Laser und erhielten

$$I_D = 0.09\mu\text{A}$$

Für alle weiteren Rechnungen wurden die Messwerte um diesen Strom korrigiert.

Vom dritten Hauptminimum aus vermaßen wir nun die Stromstärke  $I$  der Beugungsfigur entlang der  $x$ -Achse und erhielten die in Tabelle 1 genannten Ergebnisse.

Um nun die gesuchte Spaltbreite  $b$  zu bestimmen, führen wir eine nicht-lineare Ausgleichsrechnung durch. Dazu benutzen wir die aus dem Theorieteil bekannte Formel für die Intensität  $I$  (Hierbei ist  $\phi$  die Auslenkung der Strahlen,  $A_0$  die Amplitude der Intensität und  $\lambda = 0.632 \cdot 10^{-3}\text{mm}$  die Wellenlänge des benutzten Laserlichts):

$$I(\phi) = A_0^2 b^2 \left( \frac{\lambda}{\pi b \sin \phi} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin \phi}{\lambda} \right) \quad (2.1)$$

Wir tragen hier die Intensität gegen die Auslenkung entlang der  $x$ -Achse auf und nutzen dazu die Beziehung ( $x_0$  ist die Position des Maximums,  $L$  der Abstand zwischen Spalt und Detektor):

$$\phi \approx \tan \phi = \frac{x - x_0}{L}$$

Die Ausgleichsrechnung (mit den variablen Parametern  $A_0$ ,  $b$  und  $x_0$ , die wir mit dem Programm `GNUPLOT` durchführten, ergab die Ausgleichskurve aus Abbildung 6.

Für die relevanten Parameter erhielten wir folgende Ergebnisse:

$$b = (0.07831 \pm 0.00051) \text{ mm}$$

$$x_0 = (26.670 \pm 0.020) \text{ mm}$$



**Tabelle 1:** Messergebnisse für den festen Einfachspalt

$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$	$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$
5.25	0.105	0.015	26.75	14.000	13.910
6.11	0.125	0.035	27.61	13.500	13.410
6.97	0.190	0.100	28.47	11.500	11.410
7.83	0.270	0.180	29.33	8.800	8.710
8.69	0.350	0.260	30.19	5.950	5.860
9.55	0.370	0.280	31.05	3.500	3.410
10.41	0.320	0.230	31.91	1.650	1.560
11.27	0.230	0.140	32.77	0.600	0.510
12.13	0.150	0.060	33.63	0.270	0.180
12.99	0.130	0.040	34.49	0.375	0.285
13.85	0.210	0.120	35.35	0.630	0.540
14.71	0.380	0.290	36.21	0.820	0.730
15.57	0.560	0.470	37.07	0.830	0.740
16.43	0.680	0.590	37.93	0.675	0.585
17.29	0.650	0.560	38.79	0.440	0.350
18.15	0.490	0.400	39.65	0.235	0.145
19.01	0.320	0.230	40.51	0.130	0.040
19.87	0.380	0.290	41.37	0.140	0.050
20.73	0.920	0.830	42.23	0.230	0.140
21.59	2.150	2.060	43.09	0.325	0.235
22.45	4.200	4.110	43.95	0.370	0.280
23.31	6.700	6.610	44.81	0.350	0.260
24.17	8.500	8.410	45.67	0.270	0.180
25.03	12.000	11.910	46.53	0.180	0.090
25.89	14.000	13.910	47.39	0.120	0.030

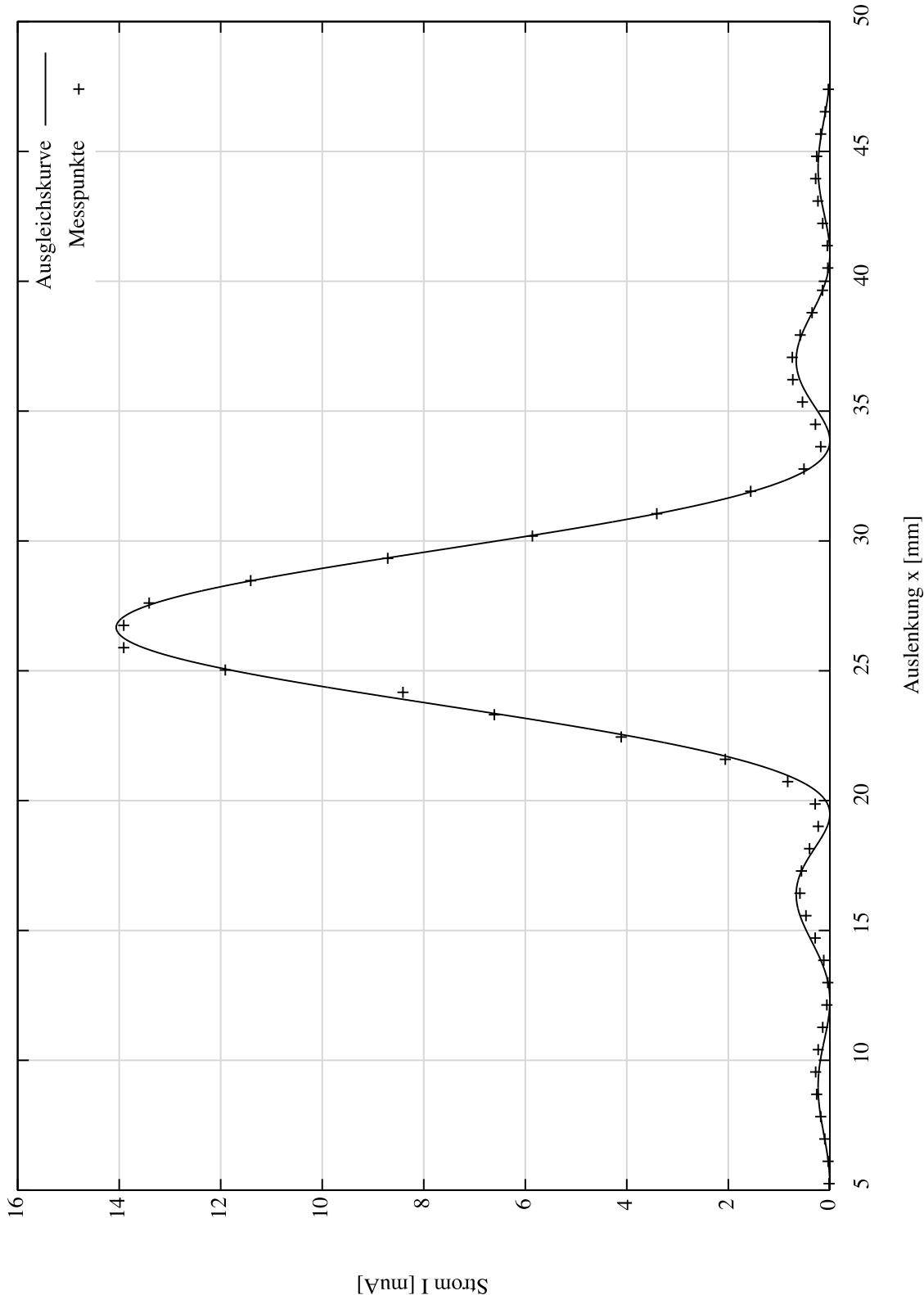


Abbildung 6: Messdaten und Ausgleichskurve für die Intensität des Beugungsmuster am einfachen Spalt

### 2.3. Messung der Beugungsfigur des variablen Einfachspalts

Beim variablen Einfachspalt gingen wir von den gleichen Voraussetzungen wie im letzten Abschnitt aus. Als Schrittweite wählten wir dieses mal 0.53mm, da sich das Hauptmaximum bei 26.65mm und das dritte Hauptminimum bei 14.46mm befand.

Die Messergebnisse sind in Tabelle 2 zu finden. Unter Nutzung der Gleichung 2.1 führten wir erneut eine nicht-lineare Ausgleichsrechnung durch und erhielten als Ergebnisse für die Parameter:

$$b = (0.13217 \pm 0.00036) \text{ mm}$$

$$x_0 = (26.8096 \pm 0.0049) \text{ mm}$$

**Tabelle 2:** Messergebnisse für den variablen Einfachspalt

$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$	$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$
14.46	0.150	0.060	27.71	38.500	38.410
14.99	0.205	0.115	28.24	30.000	29.910
15.52	0.370	0.280	28.77	21.000	20.910
16.05	0.560	0.470	29.30	12.500	12.410
16.58	0.660	0.570	29.83	6.000	5.910
17.11	0.605	0.515	30.36	2.000	1.910
17.64	0.420	0.330	30.89	0.640	0.550
18.17	0.230	0.140	31.42	0.880	0.790
18.70	0.225	0.135	31.95	1.700	1.610
19.23	0.520	0.430	32.48	2.350	2.260
19.76	1.050	0.960	33.01	2.350	2.260
20.29	1.600	1.510	33.54	1.850	1.760
20.82	1.850	1.760	34.07	1.100	1.010
21.35	1.600	1.510	34.60	0.500	0.410
21.88	0.950	0.860	35.13	0.250	0.160
22.41	0.420	0.330	35.66	0.355	0.265
22.94	0.860	0.770	36.19	0.620	0.530
23.47	3.200	3.110	36.72	0.840	0.750
24.00	8.000	7.910	37.25	0.860	0.770
24.53	15.500	15.410	37.78	0.690	0.600
25.06	24.500	24.410	38.31	0.435	0.345
25.59	34.000	33.910	38.84	0.230	0.140
26.12	41.000	40.910	39.37	0.170	0.080
26.65	44.000	43.910	39.90	0.255	0.165
27.18	43.000	42.910	40.43	0.400	0.310

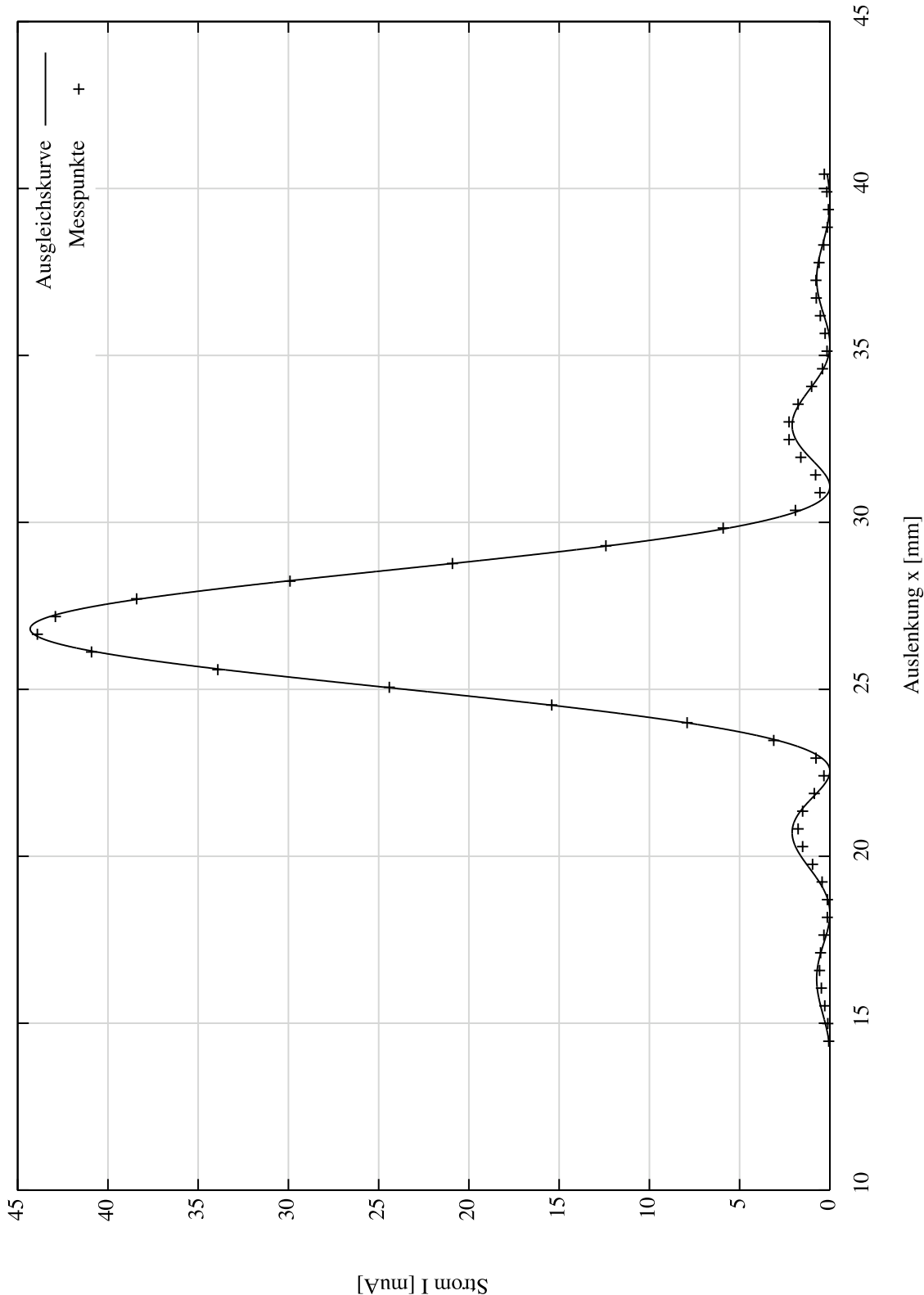


Abbildung 7: Messpunkte und Ausgleichskurve für den variablen Einfachspalt

## 2.4. Messung der Beugungsfigur des Doppelspalts

Da man wegen der  $\cos^2$ -Verteilung in der Intensitätsfunktion für den Doppelspalt eine wesentlich höhere Anzahl von Extrempunkten vorfindet, war es hier sinnvoll, 100 Messungen durchzuführen. Die restlichen Bedingungen der Messungen blieben unverändert (Ergebnisse in Tabelle 3).

Zur Bestimmung der Parameter benutzten wir die Intensitätsfunktion für den Doppelspalt (zusätzlich zu den bekannten Größen tritt hier der Spaltabstand  $s$  auf):

$$I(\phi) = 4A_0^2 b^2 \cos^2 \left( \frac{\pi s \sin \phi}{\lambda} \right) \left( \frac{\lambda}{\pi b \sin \phi} \right)^2 \sin^2 \left( \frac{\pi b \sin \phi}{\lambda} \right)$$

Die Ergebnisse des nicht-linearen Fits sind in Abbildung 8 zu finden. Die Werte der Parameter lauten:

$$\begin{aligned} b &= (0.0776 \pm 0.0014) \text{ mm} \\ x_0 &= (27.0430 \pm 0.0095) \text{ mm} \\ s &= (0.2476 \pm 0.0012) \text{ mm} \end{aligned}$$

Die verschiedenen Haupt- und Nebenextrema sind im Plot mit logarithmisch eingeteilter  $y$ -Achse noch etwas besser zu erkennen (Abbildung 9).

Es bietet sich nun an, die Ergebnisse für den festen Einfachspalt und für den Doppelspalt (beide mit gleicher Spaltbreite) in ein Diagramm einzutragen. Dies haben wir einmal mit den Messwerten getan (Abbildung 10, in logarithmischer Darstellung, damit man etwas erkennt), sowie mit den gefitteten Theoriekurven (Abbildung 11). Man erkennt deutlich, dass die Kurve des Einfachspalts eine Einhüllende der Kurve des Doppelspalts darstellt.

Um eine passende Darstellung zu erhalten, wurden die Daten so normiert, dass die jeweiligen Maxima bei 1 liegen. Um zu erreichen, dass die Maxima an der gleichen Stelle liegen, tragen wir hier nicht  $x$ , sondern den Winkel  $\phi$  auf. Die entsprechend umgerechneten Messwerte sind im Anhang in den Tabellen 4 und 5 zu finden.

**Tabelle 3:** Messergebnisse für den Doppelspalt

$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$	$x[\text{mm}]$	$I[\mu\text{A}]$	$I - I_D[\mu\text{A}]$
5.77	0.090	0.000	26.77	25.000	24.910
6.19	0.098	0.008	27.19	28.000	27.910
6.61	0.130	0.040	27.61	16.500	16.410
7.03	0.175	0.085	28.03	5.200	5.110
7.45	0.180	0.090	28.45	6.600	6.510
7.87	0.135	0.045	28.87	17.000	16.910
8.29	0.180	0.090	29.29	21.000	20.910
8.71	0.380	0.290	29.71	14.000	13.910
9.13	0.560	0.470	30.13	4.600	4.510
9.55	0.490	0.400	30.55	1.850	1.760
9.97	0.240	0.150	30.97	5.000	4.910
10.39	0.140	0.050	31.39	7.700	7.610
10.81	0.250	0.160	31.81	5.000	4.910
11.23	0.370	0.280	32.23	1.750	1.660
11.65	0.320	0.230	32.65	0.340	0.250
12.07	0.180	0.090	33.07	0.530	0.440
12.49	0.105	0.015	33.49	0.870	0.780
12.91	0.090	0.000	33.91	0.630	0.540
13.33	0.125	0.035	34.33	0.265	0.175
13.75	0.205	0.115	34.75	0.190	0.100
14.17	0.240	0.150	35.17	0.560	0.470
14.59	0.205	0.115	35.59	1.200	1.110
15.01	0.310	0.220	36.01	1.500	1.410
15.43	0.730	0.640	36.43	1.050	0.960
15.85	1.200	1.110	36.85	0.420	0.330
16.27	1.075	0.985	37.27	0.410	0.320
16.69	0.540	0.450	37.69	1.000	0.910
17.11	0.300	0.210	38.11	1.350	1.260
17.53	0.690	0.600	38.53	0.950	0.860
17.95	1.150	1.060	38.95	0.380	0.290
18.37	1.050	0.960	39.37	0.140	0.050
18.79	0.550	0.460	39.79	0.210	0.120
19.21	0.190	0.100	40.21	0.255	0.165
19.63	0.120	0.030	40.63	0.180	0.090
20.05	0.220	0.130	41.05	0.120	0.030
20.47	0.420	0.330	41.47	0.120	0.030
20.89	0.555	0.465	41.89	0.230	0.140
21.31	0.600	0.510	42.31	0.440	0.350
21.73	1.400	1.310	42.73	0.550	0.460
22.15	3.700	3.610	43.15	0.420	0.330
22.57	6.200	6.110	43.57	0.210	0.120
22.99	5.900	5.810	43.99	0.250	0.160
23.41	3.100	3.010	44.41	0.540	0.450
23.83	3.500	3.410	44.83	0.700	0.610
24.25	13.000	12.910	45.25	0.520	0.430
24.67	19.500	19.410	45.67	0.220	0.130
25.09	19.250	19.160	46.09	0.115	0.025
25.51	10.000	9.910	46.51	0.175	0.085
25.93	4.550	4.460	46.93	0.200	0.110
26.35	12.250	12.160	47.35	0.195	0.105

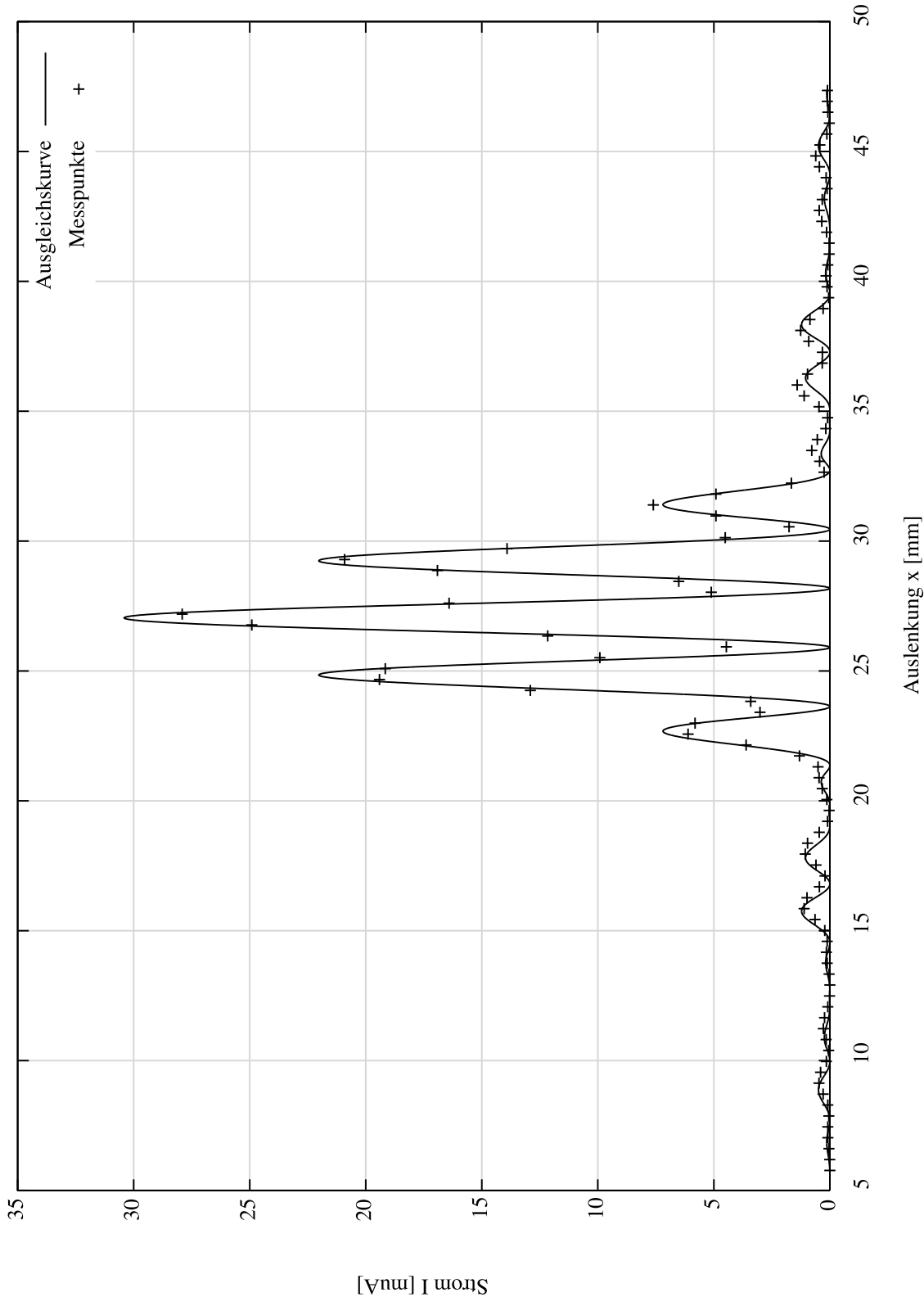


Abbildung 8: Messwerte und Ausgleichskurve für den Doppelspalt

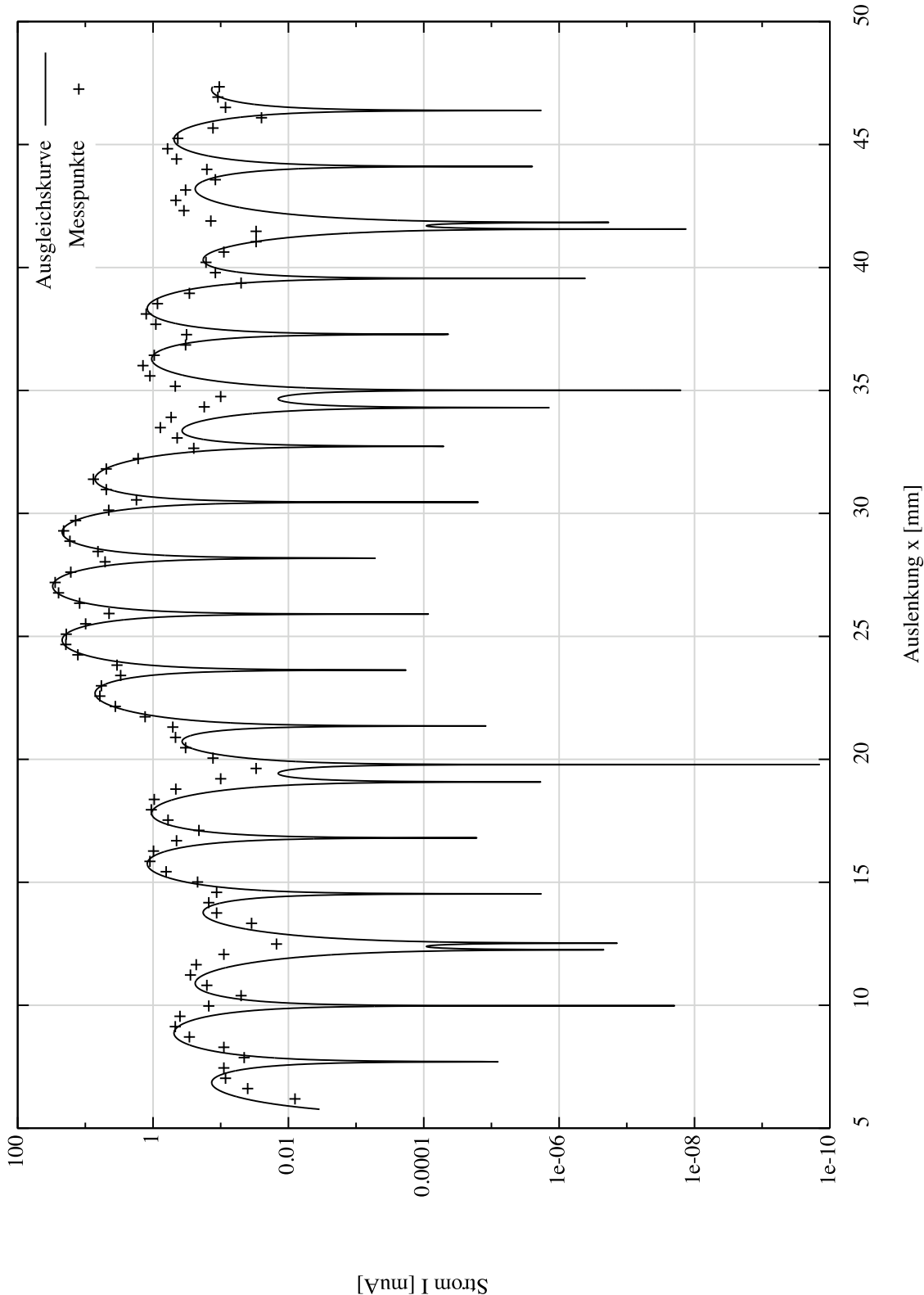
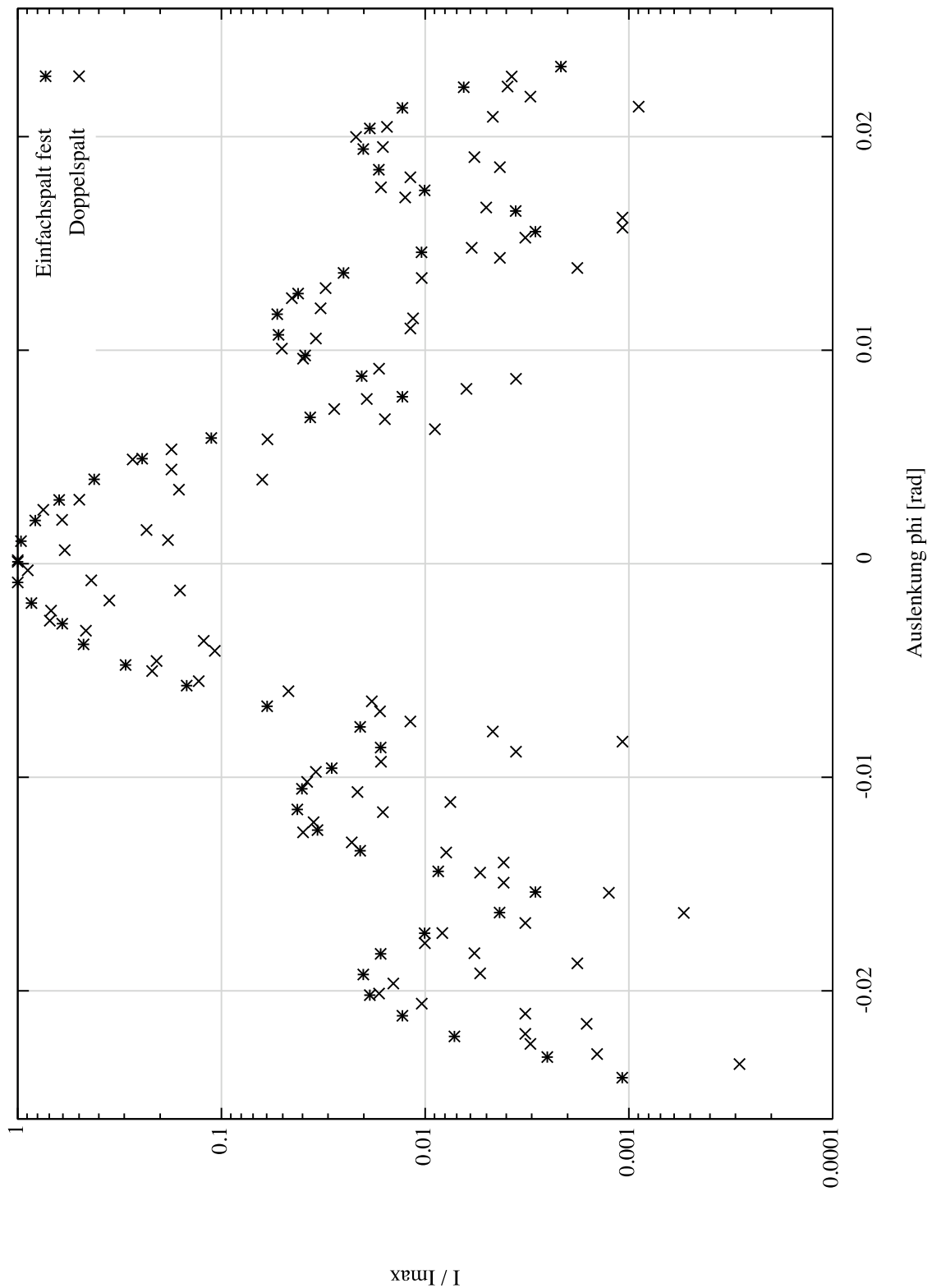
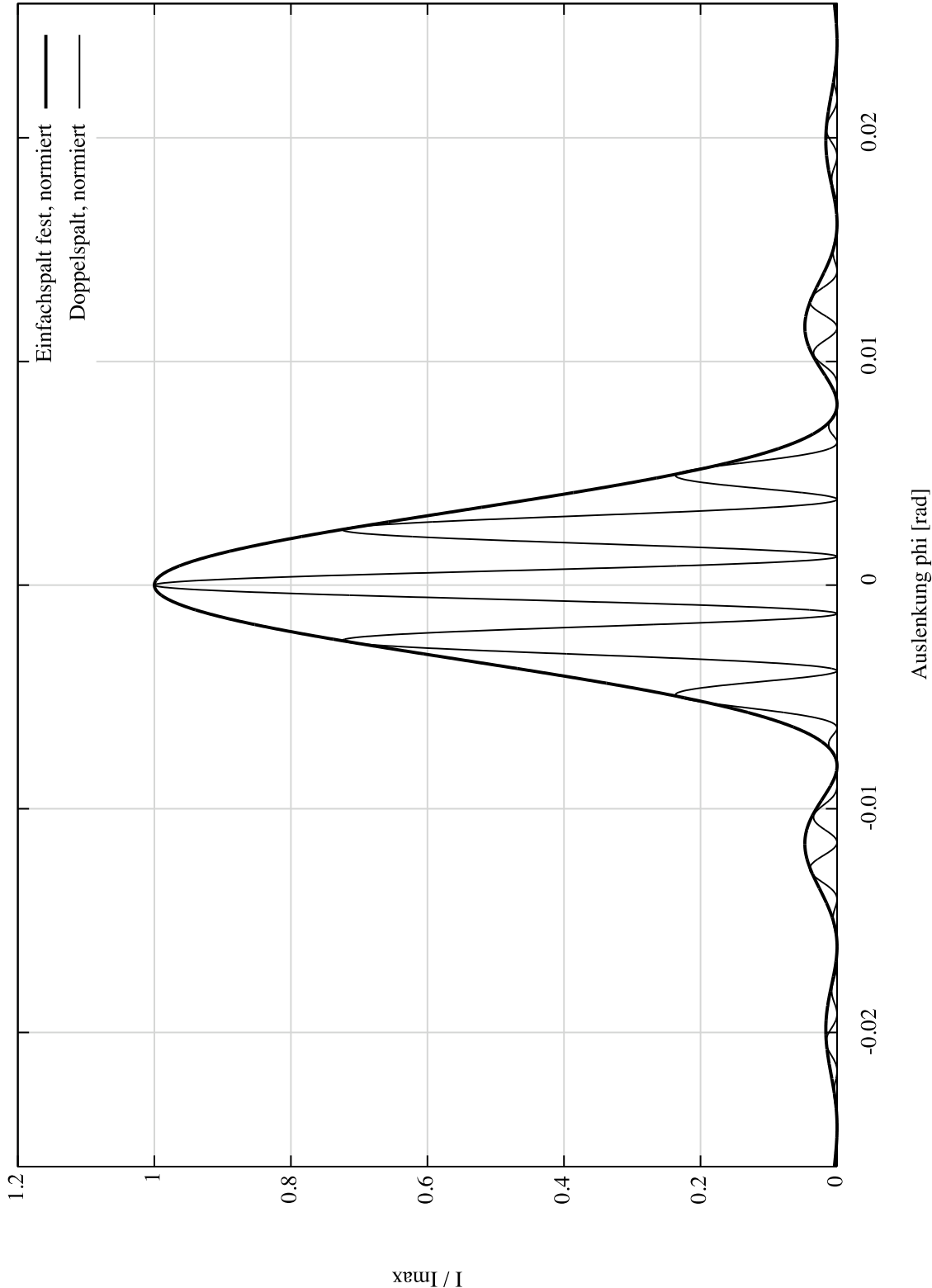


Abbildung 9: Messwerte und Ausgleichskurve für den Doppelspalt mit logarithmischer Einteilung der y-Achse





**Abbildung 10:** Gemeinsame Darstellung der Messwerte des Doppelspalts und des festen Einfachspalts in einem Diagramm, logarithmisch eingeteilte  $y$ -Achse



**Abbildung 11:** Gemeinsame Darstellung der gefitteten Kurven für den Doppelspalt und den festen Einfachspalt

### 3. Diskussion der Ergebnisse

Betrachtet man die verschiedenen Ergebnisse für die Breite des festen Einfachspalts, so stellt man fest, dass sich die Werte recht stark unterscheiden:

	Breite $b_1$ [mm]
Herstellerangabe	0.080
Mikroskopmessung	0.088
Beugungsmessung	$0.07831 \pm 0.00051$

Dabei ist anzumerken, dass die Genauigkeit der Mikroskopmessung vermutlich nicht sehr gut war, da man nur eine recht grobe Skaleneinteilung im Okular zur Verfügung hat.

Die Messung der Breite des variablen Spalts fand mit noch größerer Genauigkeit über das Vermessen des Beugungsmusters statt. Hier kamen wir auf eine Breite von  $b_2 = (0.13217 \pm 0.00036)$ mm

Beim Doppelspalt kamen wir auf Werte, die den Herstellerangaben ( $s_h = 0.25$ mm und  $b_h = 0.08$ mm) recht nah kamen und vernünftig scheinen:

$$b_3 = (0.0776 \pm 0.0014) \text{ mm}$$

$$s_3 = (0.2476 \pm 0.0012) \text{ mm}$$

## A. Anhang

### A.1. Normierte Messwerte

**Tabelle 4:** Messergebnisse für den variablen Einfachspalt

$\phi$ [rad]	$I/I_{max}$ [ $\mu$ A]	$\phi$ [rad]	$I/I_{max}$ [ $\mu$ A]
-0.02407	0.00108	0.00009	1.00000
-0.02310	0.00252	0.00106	0.96405
-0.02213	0.00719	0.00202	0.82027
-0.02117	0.01294	0.00299	0.62617
-0.02020	0.01869	0.00396	0.42128
-0.01924	0.02013	0.00492	0.24515
-0.01827	0.01653	0.00589	0.11215
-0.01730	0.01006	0.00685	0.03666
-0.01634	0.00431	0.00782	0.01294
-0.01537	0.00288	0.00879	0.02049
-0.01440	0.00863	0.00975	0.03882
-0.01344	0.02085	0.01072	0.05248
-0.01247	0.03379	0.01169	0.05320
-0.01151	0.04242	0.01265	0.04206
-0.01054	0.04026	0.01362	0.02516
-0.00957	0.02876	0.01458	0.01042
-0.00861	0.01653	0.01555	0.00288
-0.00764	0.02085	0.01652	0.00359
-0.00667	0.05967	0.01748	0.01006
-0.00571	0.14809	0.01845	0.01689
-0.00474	0.29547	0.01942	0.02013
-0.00378	0.47520	0.02038	0.01869
-0.00281	0.60460	0.02135	0.01294
-0.00184	0.85622	0.02231	0.00647
-0.00088	1.00000	0.02328	0.00216

**Tabelle 5:** Auf 1 normierte Intensitäten des Doppelspalts, aufgetragen gegen die Auslenkung  $\phi$

$\phi$ [rad]	$I/I_{max}$ [ $\mu$ A]	$\phi$ [rad]	$I/I_{max}$ [ $\mu$ A]
-0.02390	0.00000	-0.00031	0.89251
-0.02343	0.00029	0.00017	1.00000
-0.02296	0.00143	0.00064	0.58796
-0.02249	0.00305	0.00111	0.18309
-0.02201	0.00322	0.00158	0.23325
-0.02154	0.00161	0.00205	0.60588
-0.02107	0.00322	0.00252	0.74919
-0.02060	0.01039	0.00300	0.49839
-0.02013	0.01684	0.00347	0.16159
-0.01966	0.01433	0.00394	0.06306
-0.01918	0.00537	0.00441	0.17592
-0.01871	0.00179	0.00488	0.27266
-0.01824	0.00573	0.00536	0.17592
-0.01777	0.01003	0.00583	0.05948
-0.01730	0.00824	0.00630	0.00896
-0.01682	0.00322	0.00677	0.01576
-0.01635	0.00054	0.00724	0.02795
-0.01588	0.00000	0.00772	0.01935
-0.01541	0.00125	0.00819	0.00627
-0.01494	0.00412	0.00866	0.00358
-0.01446	0.00537	0.00913	0.01684
-0.01399	0.00412	0.00960	0.03977
-0.01352	0.00788	0.01008	0.05052
-0.01305	0.02293	0.01055	0.03440
-0.01258	0.03977	0.01102	0.01182
-0.01210	0.03529	0.01149	0.01147
-0.01163	0.01612	0.01196	0.03260
-0.01116	0.00752	0.01243	0.04515
-0.01069	0.02150	0.01291	0.03081
-0.01022	0.03798	0.01338	0.01039
-0.00974	0.03440	0.01385	0.00179
-0.00927	0.01648	0.01432	0.00430
-0.00880	0.00358	0.01479	0.00591
-0.00833	0.00107	0.01527	0.00322
-0.00786	0.00466	0.01574	0.00107
-0.00739	0.01182	0.01621	0.00107
-0.00691	0.01666	0.01668	0.00502
-0.00644	0.01827	0.01715	0.01254
-0.00597	0.04694	0.01763	0.01648
-0.00550	0.12934	0.01810	0.01182
-0.00503	0.21892	0.01857	0.00430
-0.00455	0.20817	0.01904	0.00573
-0.00408	0.10785	0.01951	0.01612
-0.00361	0.12218	0.01999	0.02186
-0.00314	0.46256	0.02046	0.01541
-0.00267	0.69545	0.02093	0.00466
-0.00219	0.68649	0.02140	0.00090
-0.00172	0.35507	0.02187	0.00305
-0.00125	0.15980	0.02234	0.00394
-0.00078	0.43569	0.02282	0.00376

### **A.2. Quellenangabe**

Die Abbildungen im Theorieteil stammen aus der Versuchsanleitung.

### **A.3. Messwerte**