

Versuch V406

## Beugung am Spalt

Richard Leven	Joell D. Jones
<a href="mailto:richard.leven@udo.edu">richard.leven@udo.edu</a>	<a href="mailto:joell-david.jones@udo.edu">joell-david.jones@udo.edu</a>

Abgabe: 23.06.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>7</b>
4.1	Einzelspalt . . . . .	7
4.2	Doppelspalt . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
	<b>Literatur</b>	<b>10</b>

## 1 Ziel

Das Ziel des Versuchs ist es anhand der Beugungsfigur die Spaltbreite zu bestimmen und diese mit den gegebenen Wert zu vergleichen und die Auswirkungen der Spaltenzahl zu untersuchen.

## 2 Theorie

Die Beugung ist ein Phänomen, welches auftritt, sobald Lichtwellen auf ein Hindernis treffen, dessen Spaltbreite klein genug ist. Diese muss klein im Vergleich zur Strahlenbreite des Lichtstrahls sein. Das kann mit dem Huygenschen Prinzip erklärt werden. Demnach ist jeder Punkt der Wellenfront eine Quelle einer neuen Welle. Das bedeutet, dass aus dem Teil der Wellenfront, welche durch den Spalt durchkommt, weitere kugelförmige Wellen austreten. Folglich bildet sich ein Intensitätsmuster am Schirm mit Maxima und Minima, wohingegen das globale Maxima jenes nullter Ordnung ist. Die Höhen der anderen Maxima nehmen in der Theorie stets ab.

Für die Berechnung der Intensität des abgelenkten Lichts gibt es zwei Näherungen. Zunächst gibt es die Fresnelsche Näherung, welche unter der Gegebenheit, dass Lichtquelle und jeglicher Beobachtungspunkt auf dem Schirm eine endliche Distanz zueinander haben, angenommen werden kann. Dabei haben die Lichtstrahlen einen divergierenden Verlauf. Eine andere Näherung, die Fraunhofersche Näherung, ist die Annahme, dass die Distanz zwischen Lichtquelle und Schirm unendlich groß ist. Dementsprechend divergieren die Lichtstrahlen so wenig voneinander, dass diese als parallel angenommen werden können. Mithilfe vom letzteren kann die Beugung am Spalt durch folgende Skizze beschrieben werden:

Dabei entstehen zwischen den Lichtstrahlen zusätzlich Wegunterschiede  $\delta$ , die durch

$$\delta = \frac{2\pi x \sin(\phi)}{\lambda} \quad (1)$$

Dabei ergibt sich für die Amplitude  $B$  nach Integration

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

Dabei ist  $\omega$  die Kreisfrequenz, des Lichts,  $\lambda$  die Wellenlänge,  $b$  die Spaltenbreite,  $z$  der Abstand zum Schirm bzw. dem Beobachtungspunkt darauf und  $\phi$  ist in der Skizzierung zu sehen.

$B$  hat unendlich viele Null- und Extremstellen, wobei sie für wachsendes  $\phi$  gegen Null konvergiert.

Die Intensität  $I$  ergibt sich mit

$$\eta = \frac{\pi b \sin(\phi)}{\lambda} \quad (3)$$

und  $I \propto B^2$  zu

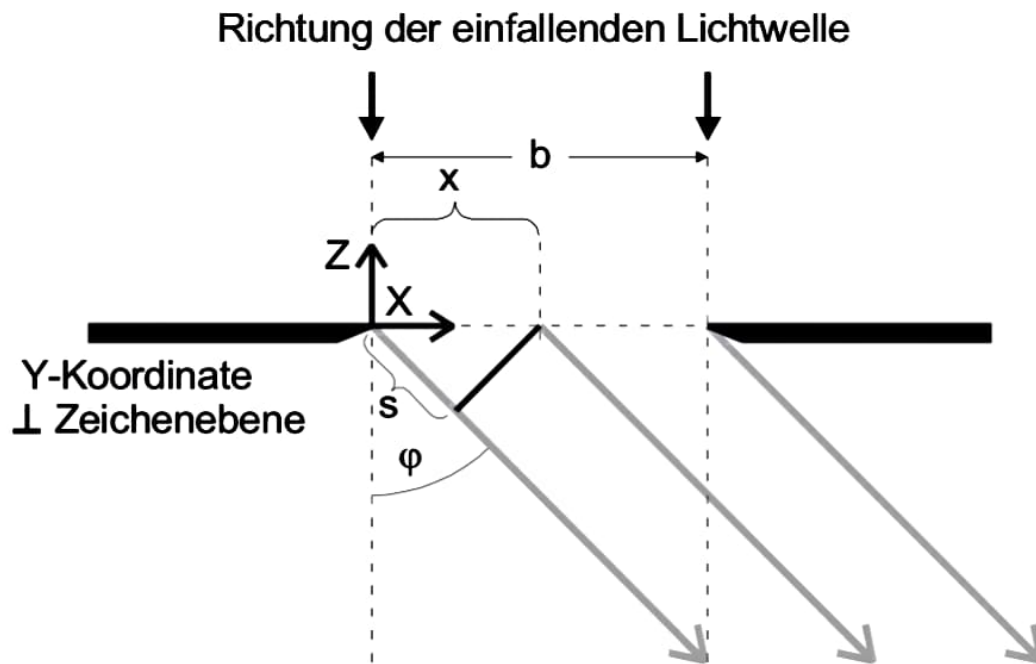


Abbildung 1: Hier zu sehen ist die graphische Darstellung der Beugung am Einzelspalt.

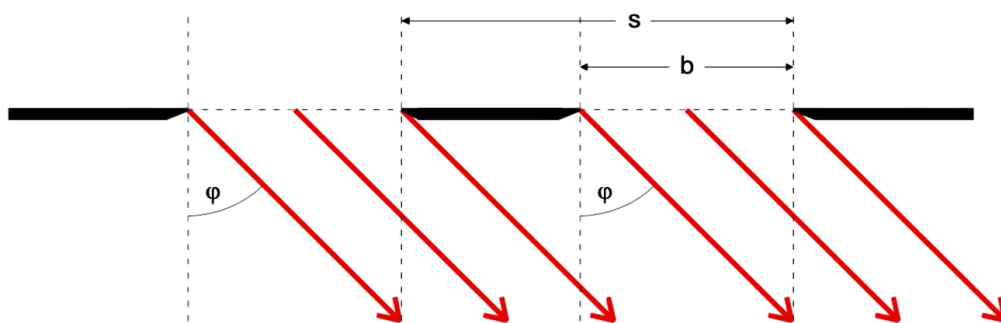


Abbildung 2: Hier zu sehen ist die graphische Darstellung der Beugung am Doppelspalt.

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

Speziell für die Beugung am Doppelspalt ergibt sich obige Gleichung zu

$$I \propto 4 \cos^2\left(\frac{\pi s \sin(\phi)}{\lambda}\right) \frac{\lambda^2}{\pi^2 b^2 \sin(\phi)^2} \sin^2\left(\frac{\pi b \sin(\phi)}{\lambda}\right). \quad (5)$$

Zum Schluss ist noch die Fourier-Transformation zu behandeln. Diese (komplex) ist definiert als

$$g(y) = \int_{-\infty}^{+\infty} B(x) e^{ixy} dx \quad (6)$$

und woraus folgt, dass

$$g(y) = \frac{2A_0}{y} e^{\frac{iyb}{2}} \sin\left(\frac{yb}{2}\right) \quad (7)$$

mit

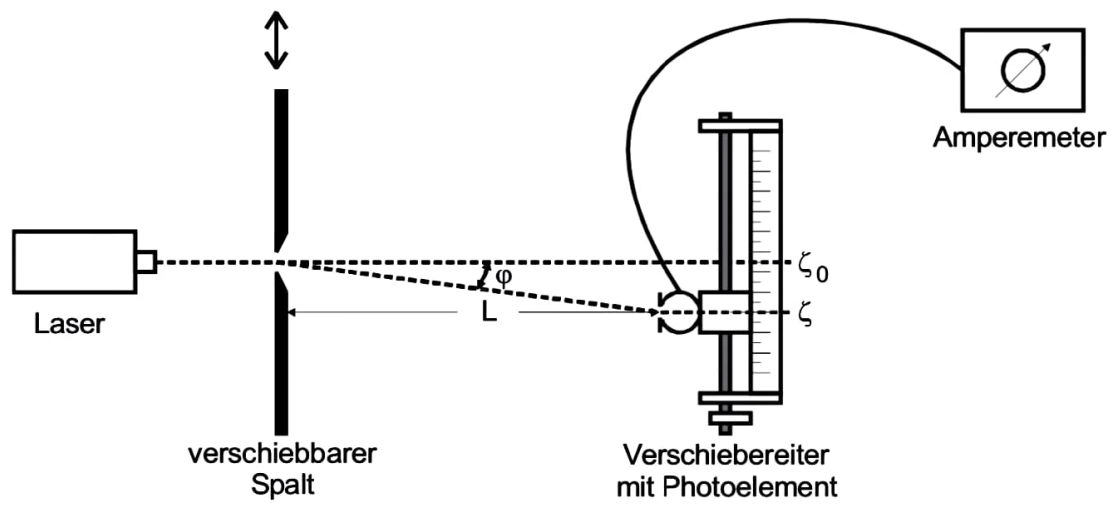
$$y = \frac{2\pi \sin(\phi)}{\lambda}. \quad (8)$$

Hier wird das Huygenssche Prinzip ersichtlich, da der zweite Faktor, also die E-Funktion, die Phasendifferenz der von  $x$  ausgehenden Kugelwelle beschreibt. Das Integral, also praktisch eine Aufsummation von allen Erregungszentren im Integrationsbereich, berücksichtigt auch die jeweiligen Phasen. Die Fourier-Transformation kann zudem auch noch umgekehrt und auf mehreren Dimensionen erweitert werden, was bei Kugelwellen ihre Praktikierbarkeit findet.

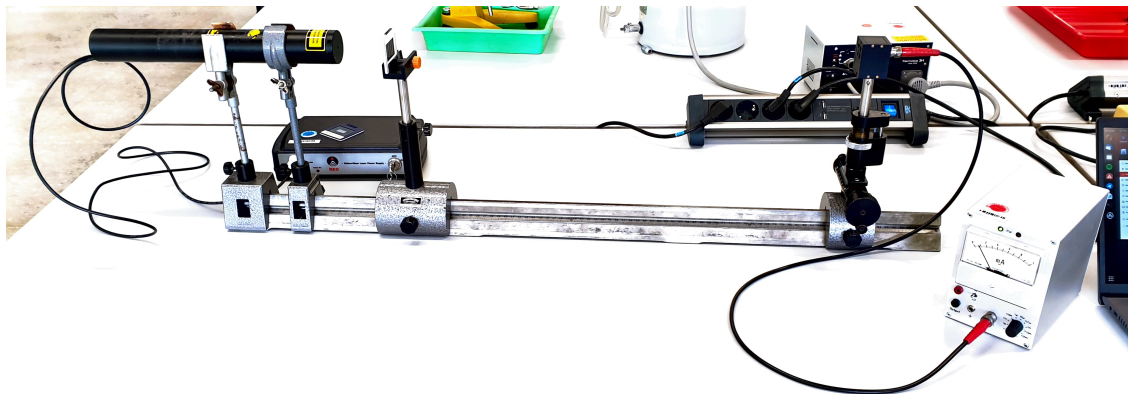
[1]

### 3 Durchführung

Zunächst wird mit dem Einfach-Spalt eine Beugungsfigur punktweise ausgemessen. Hierzu wird ein Einfach-Spalt mit 75 Mikrometer Spaltbreite in 62,5 Zentimeter Abstand zum Detektor gestellt und so positioniert, dass dieser sich im Maximum der Intensität befindet. Nun wird der Detektor von einem Laser mit einer Wellenlänge von 633 Nanometern beschienen. Der Detektor wird daraufhin nach jeder Messung um 300 Mikrometer senkrecht zur Abstandslinie zwischen Spalt und Detektor für  $\phi = 0$  verschoben, bis 50 Messungen erhalten sind. Der Detektor wurde mit einer Noise von acht Nanoampere eingestellt. Im Nachhinein wird der Einzelspalt durch den Doppelspalt ausgetauscht und das Prozedere wiederholt. Die Spaltenbreite beträgt nun 150 Mikrometer und der Abstand beider Spalten beträgt 250 Mikrometer. Die Schrittweite ist nun 100 Mikrometer. Die restlichen Einstellungen bleiben gleich.



**Abbildung 3:** Hier zu sehen ist die Skizzierung von dem Aufbau, welches im Experiment verwendet wurde.

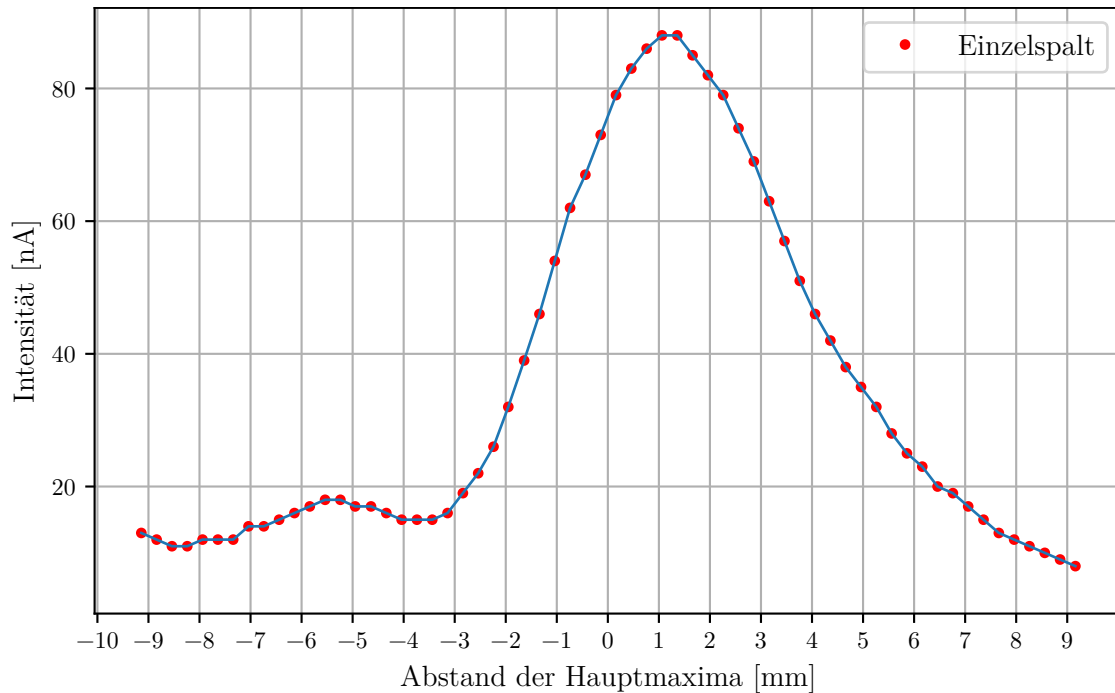


**Abbildung 4:** Dies ist ein Foto von dem Aufbau, welcher für diesen Versuch verwendet wurde.

## 4 Auswertung

Hier wurden die gemessenen Intensitäten graphisch in Abhängigkeit von den Verschiebungen dargestellt, welche sich zu Beugungsbildern ergibt.

### 4.1 Einzelspalt

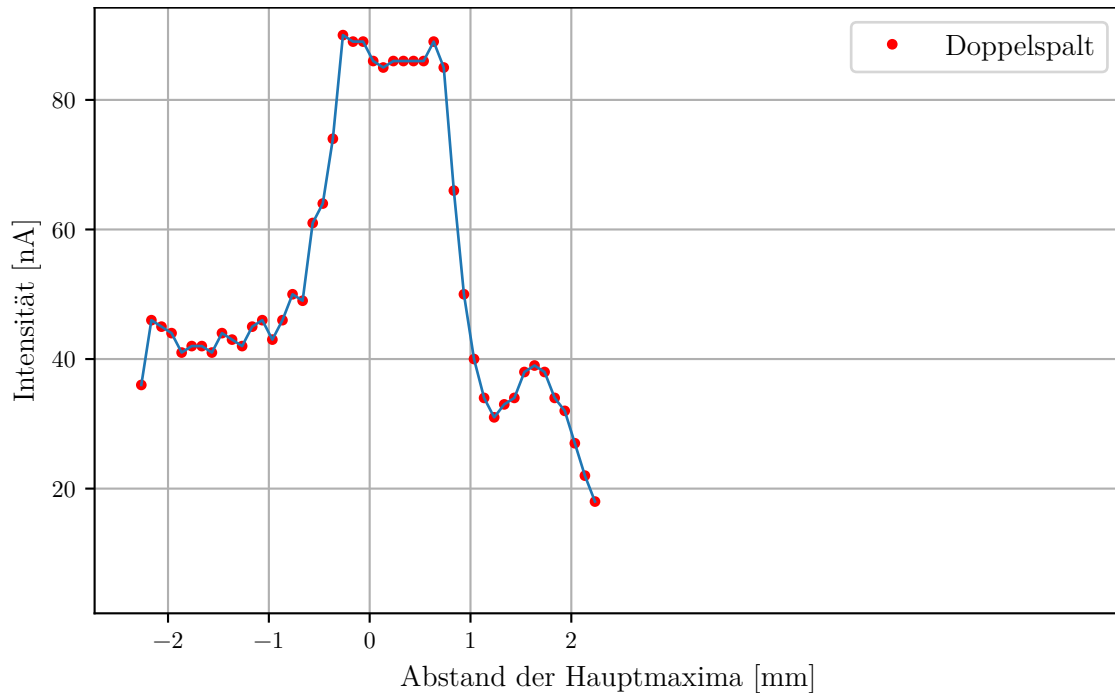


**Abbildung 5:** Hier zu sehen ist die graphische Darstellung des Beugungsbildes von dem Einzelspalt.

Hier ist das Maximum nullter Ordnung deutlich zu sehen, und zwar bei etwa 1,2 Millimeter. Das Maximum erster Ordnung ist links schwach zu erkennen. Sie liegt bei etwa -5,5 Millimeter im Graphen. Links am Ende wird noch eine Steigung deutlich, was womöglich auf das Maximum zweiter Ordnung hinweist. Rechts hingegen ist nichts Schlüssiges.

### 4.2 Doppelspalt

Hier befindet sich das Maximum nullter Ordnung in einem Bereich zwischen -0,3 Millimeter und 0,7 Millimeter. Die Maxima erster Ordnung befinden sich bei etwa -2,3 und 1,6 Millimeter. Deutlich unter den anderen kleinen Maxima werden sie unter Betrachtung der nächsten Messpunkte, welche viel weiter unten liegen als jegliche davor.



**Abbildung 6:** Hier zu sehen ist die graphische Darstellung des Beugungsbildes von dem Doppelspalt.

## 5 Diskussion

Anhand des Beugungsbildes am Einzelspalt wird deutlich, wo sich das Maximum nullter Ordnung befindet. Bei den Maxima höherer Ordnung wird das schon schwieriger, da die Höhendifferenzen zwischen Maximum nullter Ordnung und Maximum erster Ordnung, sowie die von den höheren Ordnungen, groß sind. Die Funktion des Beugungsbildes konvergiert für große Winkel rapide gegen null. Zudem erschweren die vorkommenden Unsicherheiten das Erkennen weiterer Maxima, da diese die Differenzen zwischen hohen Intensitäten und niedrigeren Intensitäten durch die Diskrepanzen der Unsicherheiten weiter verringert werden.

Das Beugungsbild am Doppelspalt dagegen weist deutliche Maxima auf. Allerdings wird das Maximum nullter Ordnung nicht so deutlich sichtbar, zumindest wird nur mit Sicherheit abgelesen werden können, im welchen Intervall es sich befindet. Daran wird deutlich, dass die Peaks mit den Maxima für höhere Spaltenzahlen diskreter und dünner werden. Der Messbereich für den Einzelspalt hätte größer werden sollen, um die Maxima und Minima noch weiter verdeutlichen zu können, wohingegen es bei höheren Spaltenzahlen nicht nötig ist. Zudem wird die Asymmetrie der Beugungsbilder deutlich, was laut Theorie (siehe Gleichung 2) nicht so ist. Grund dafür könnte zudem sein, dass der Detektor nicht gut genug ist, um dem idealen und symmetrischen Bild nahe zu kommen. Es ist im Experiment nämlich aufgefallen, dass der Detektor den höchsten Maxima, also den nullter Ordnung, an einem Punkt gemessen hat, welcher nicht in der Mitte gewesen



ist, sondern etwas weiter weg. Es könnte aber auch an einigen ungerade oder eventuell sogar rissige Stellen am Spalt liegen. Natürlich könnten die Experimentatoren auch etwas fehlerhaft gemessen haben.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.