

Praktikum Physik
Versuch 2.2: Stehende Wellen und Beugung am Doppelspalt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
1.1	Stehende Wellen	2
1.2	Beugung am Doppelspalt	2
2	Theorie	3
2.1	Mechanischer Oszillator	3
2.2	Elektrischer Oszillator	4
3	Häusliche Vorarbeit	6
3.1	Stehende Wellen	6
3.1.1	Berechnen von Gleichung 7 aus 6	6
3.1.2	Stehende Welle zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Periode skizzieren	6
3.1.3	Vergleich $A_{\text{res}}(x, t)$ und $A_{\text{res}}^2(x, t)$ im Bezug auf die Wellenlänge	7
3.2	Beugung am Doppelspalt	8
3.2.1	Gleichung für die konstruktive Interferenz herleiten	8
3.2.2	Gleichung für die destruktive Interferenz herleiten	8
4	Aufbau und Durchführung	10
4.1	Stehende Wellen	10
4.1.1	Aufbau	10
4.1.2	Durchführung	10
4.2	Beugung am Doppelspalt	10
4.2.1	Aufbau	10
4.2.2	Durchführung	11
5	Auswertung Versuch	12
5.1	Stehende Wellen	12
5.2	Beugung am Doppelspalt	13
6	Wertung/Fazit	15
6.1	Stehende Wellen	15
6.2	Beugung am Doppelspalt	15
7	Anhang	16
7.1	Messwerte Stehende Wellen	16
7.2	Messwerte Beugung am Doppelspalt	17
7.3	Skizze Aufbau - Stehende Wellen	18
7.4	Skizze Aufbau - Beugung am Doppelspalt	18
8	Literatur	19

1 Einleitung

1.1 Stehende Wellen

Bei diesem Versuch soll die Intensität in Abhängigkeit vom Abstand in ein Diagramm eingetragen werden. Dadurch lassen sich im Diagramm die charakteristischen Eigenschaften einer Stehenden Welle erkennen.

1.2 Beugung am Doppelspalt

Der Versuch handelt sowohl von der messtechnischen als auch der theoretischen Bestimmung der Maxima und Minima bei Beugung einer Welle am Doppelspalt. Dafür wird die Intensität in Abhängigkeit vom Beugungswinkel gemessen.

2 Theorie

Periodische Zustandsänderungen zwischen zwei oder mehreren Zuständen, nennt man Schwingungen. [3] Dabei wird Energie zwischen Energiereservoirs periodisch hin- und herbewegt, wodurch die Schwingung entsteht. Meist wird eine einmalige Energie, in Form von elektrischer oder mechanischer Energie zugeführt und anschließend das System sich selbst überlassen, wodurch eine sogenannte freie Schwingung entsteht. [2]

2.1 Mechanischer Oszillator

Am einfachsten lassen sich Schwingungen an einem mechanischen Oszillator, wie in diesem Fall einem Federpendel (im Versuch ein Rotationsschwinger), erläutern. Ein Feder-Masse-Schwinger besteht aus einer Masse auf einer waagrechten, reibungsfreien Unterlage, welche an einer Feder befestigt ist. Dabei wird die potenzielle Energie der Feder in die kinetische Energie der Masse und umgekehrt gewandelt [3].

Wird die Masse wie zuvor beschrieben ausgelenkt, also Energie zugeführt, und anschließend losgelassen, so schwingt das System um den Grundzustand. Über die Zeit betrachtet, führt die Masse eine Sinusschwingung aus, mit welcher sich allgemein Schwingungen beschreiben lassen:

$$y(t) = \hat{y} = \sin(\omega_0 t) \quad (2.1.1)$$

Dabei ist \hat{y} die Amplitude, also die Auslenkung der Schwingung und ω_0 die Kreisfrequenz mit welcher das System schwingt. Diese berechnet sich aus der Frequenz, bzw. der Periodendauer [3]:

$$T = \frac{1}{f} \omega_0 = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} \quad (2.1.2)$$

Für jedes schwingende System lässt sich eine Differentialgleichung aufstellen, mit welchem sich die verschiedenen wirkenden Kräfte beschreiben lassen. Für das lineare Feder-Masse-System ohne Dämpfung gilt: [2]

$$F_a = F_k \quad (2.1.3)$$

$$\text{nach dem 2. Newtonsche Axiom gilt für die Masse: } F_a = m \cdot a \quad (2.1.4)$$

$$\text{und für die Federkraft das Hookesches Gesetz: } F_k = -k \cdot y \quad (2.1.5)$$

Durch einsetzen erhält man ein Gleichungssystem:

$$-ky = ma \quad (2.1.6)$$

$$m \frac{\partial y}{\partial t} + ky = 0 \quad (2.1.7)$$

Mit dem Ansatz $y(t) = \hat{y}_0 \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$ ergibt sich für das DGL.:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.1.8)$$

Bei dem vorherigen System handelt es sich um eine freie ungedämpfte Schwingung. Diese gibt es in der Realität nur selten. Darum wird als nächstes die freie, gedämpfte Schwingung betrachtet. Bei dieser wirkt eine Kraft, welche sich proportional zur Geschwindigkeit verhält und dem System Energie entzieht.

$$F_D = -b \cdot v \quad (2.1.9)$$

Dabei ist b die Dämpfungskonstante.

Für die gedämpfte Schwingung lässt sich das DGL. um diesen Teil erweitern, wodurch sich folgendes Gleichungssystem ergibt.

$$m\ddot{y} + d\dot{y} + ky = 0 \quad (2.1.10)$$

Der Ansatz für dieses DGL. ist:

$$y(t) = \hat{y}_0 e^{\delta t} \cos(\omega_d t + \varphi_0) \quad (2.1.11)$$

Daraus als Lösung ergibt sich:

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (2.1.12)$$

$$\delta = \frac{d}{2m} \quad (2.1.13)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.1.14)$$

Dabei ist δ der Abklingkoeffizient.

Abhängig von δ im Vergleich zu ω_0 ergeben sich drei Fälle:

Schwingfall:

Wenn $\omega_0 > \delta$ schwingt das System mit abnehmender Amplitude und kann mit der Bewegungsgleichung

$$y(t) = \hat{y}_0 e^{\delta t} \cos(\omega_d t + \varphi_0) \quad (2.1.15)$$

beschrieben werden. [1]

aperiodischer Grenzfall:

Wenn $\omega_0 = \delta$ schwingt das System nicht. Die Auslenkung strebt schnellstmöglich gegen Null. [1]

Kriechfall:

Wenn $\omega_0 < \delta$ schwingt das System ebenfalls nicht. Die Amplitude nimmt ganz langsam ab und erreicht asymptotisch die Null. [1]

Das folgende Diagramm zeigt das Verhalten bei den jeweiligen drei Fällen:

2.2 Elektrischer Oszillator

Der elektrische Oszillator ist dem mechanischen sehr ähnlich. Auch hier wird Ladungsenergie zwischen Kondensator und Spule stetig verschoben. Als Dämpfung wirkt der ohmsche Widerstand.

In dem dargestellten Schwingkreis muss [3]:

$$U_L + U_R + U_C = 0 \quad (2.2.1)$$

Durch einsetzen der Strom- Spannungsabhängigkeiten für Widerstand, Spule und Kondensator [3]:

$$U_L = L \cdot \frac{\partial i}{\partial t} \quad (2.2.2)$$

$$U_C = \frac{1}{C} \cdot q \quad (2.2.3)$$

$$U_R = R \cdot i \quad (2.2.4)$$

$$\text{und: } \frac{\partial q}{\partial t} = i \quad (2.2.5)$$

ergibt sich das DGL. [1]:

$$L \cdot \frac{\partial^2 q}{\partial t^2} + R \cdot \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{1}{C} \cdot q = 0 \quad (2.2.6)$$

dessen Lösungen sind analog zu der mechanischen Schwingung [1]:

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \delta^2} \quad (2.2.7)$$

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (2.2.8)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L \cdot C}} \quad (2.2.9)$$

3 Häusliche Vorarbeit

3.1 Stehende Wellen

3.1.1 Berechnen von Gleichung 7 aus 6 ¹

$$A_{\text{res}} = A_{\text{in}} + A_{\text{refl}} = A_0 \sin(\omega t - k_x x) + A_0 \sin(\omega t + k_x x) \quad (6) \quad (3.1.1)$$

mit

k_x	Wellenzahl	$k_x = \frac{2\pi}{\lambda}$
ω	Kreisfrequenz	$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$
T	Periodendauer	
A_0	Amplitude	
x	Ort	
y	Zeit	

Wir benötigen folgendes Additionstheorem, um die Gleichung zu vereinfachen:

$$\sin(x_1 + x_2) + \sin(x_1 - x_2) = 2\sin(x_1) \cdot \cos(x_2) \quad [5] \quad (3.1.2)$$

Nach Anwendung des Additionstheorems (Gleichung 3.1.2) auf Gleichung 3.1.1 vereinfacht sich die Gleichung:

$$A_{\text{res}} = 2A_0 \sin(\omega t) \cdot \cos(k_x x) \quad (7) \quad (3.1.3)$$

3.1.2 Stehende Welle zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Periode skizzieren

Um eine stehende Welle zu acht verschiedenen Zeitpunkten innerhalb einer Periode zu skizzieren, wird ein regelmäßiger Abstand von $\frac{1}{8}T$ gewählt. Diese acht Zeiten werden in die Gleichung 3.1.3 eingesetzt. Dadurch erhält man eine Gleichung, welche nur von x abhängig ist, die sich leicht skizzieren lässt.

Wenn man sich die acht Skizzen in Abbildung 1 anschaut, erkennt man eine stehende Welle, bei der sich die Amplitude in abhängigkeit der Zeit verändert. Es verändern sich nur die Berge (Maxima) und Täler (Minima), die Knoten (Wendepunkte) bleiben dabei an der selben Stelle.

¹Die Bezeichnungen der Gleichungen stammen aus dem Skript „Versuch 2.2 - Stehende Wellen und Beugung am Doppelspalt“

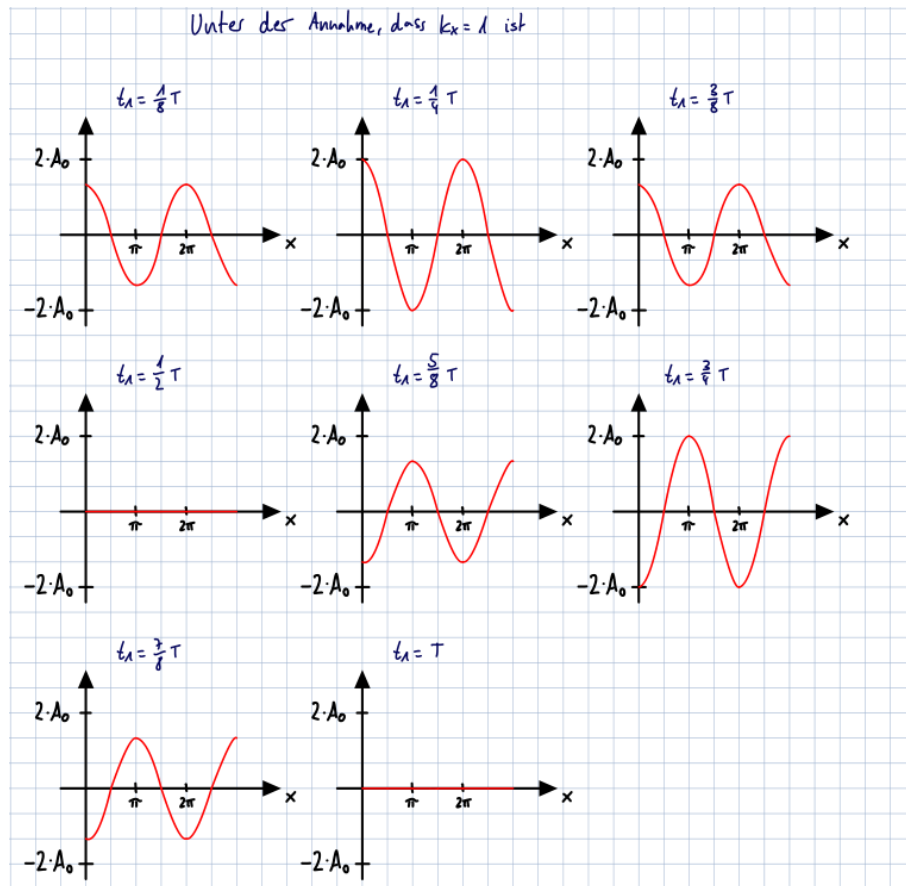


Abbildung 1: Skizze - $A_{\text{res}}(x, t)$ für verschiedene Zeitpunkte t

3.1.3 Vergleich $A_{\text{res}}(x, t)$ und $A_{\text{res}}^2(x, t)$ im Bezug auf die Wellenlänge

Durch das Quadrieren einer Funktion, verdoppelt sich die Frequenz. (siehe Abbildung 2) Dadurch ist die Periodendauer von $A_{\text{res}}^2(x, t)$ halb so lang, wie die von $A_{\text{res}}(x, t)$. Folglich ist der Abstand zwischen zwei Maxima/Minima gleich $\frac{\lambda}{2}$.

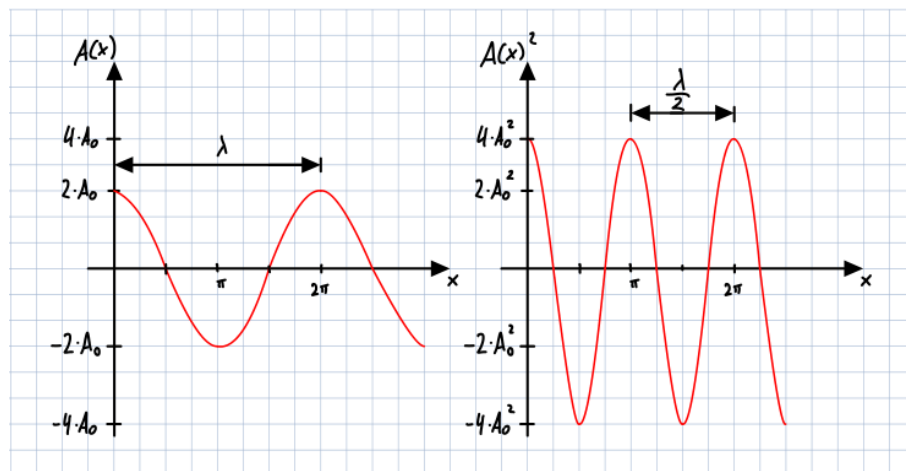


Abbildung 2: Skizze - $A_{\text{res}}(x, t)$ und $A_{\text{res}}^2(x, t)$

3.2 Beugung am Doppelspalt

Im folgenden Abschnitt wird die konstruktive und destruktive Interferenz am Doppelspalt hergeleitet. Dafür wird die Skizze in Abbildung 3 verwendet.

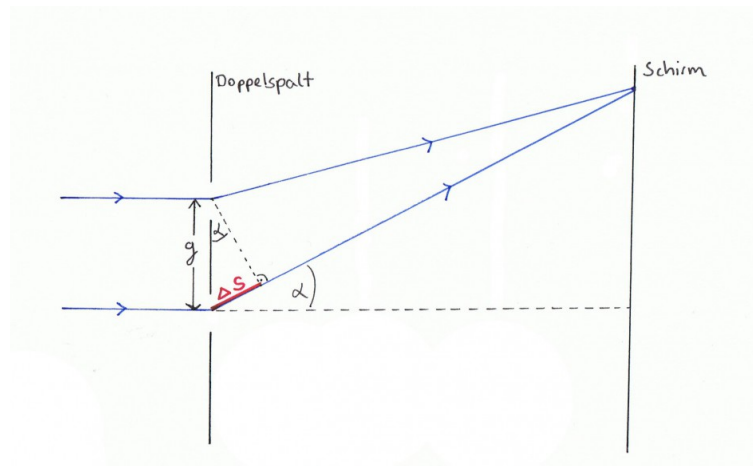


Abbildung 3: Skizze - Beugung am Doppelspalt [4]

3.2.1 Gleichung für die konstruktive Interferenz herleiten

Um die Gleichung 3.2.3 zu verstehen, kann man einen Blick auf Abbildung 3 werfen. Alternativ kann auch die Abbildung 2(b) [1] verwendet werden.

Zur Herleitung der Gleichung werden die Winkelfunktionen benötigt. In diesem Fall wird die trigonometrische Funktion des Sinus verwendet:

$$\sin(x) = \frac{\text{Gegenkathete}}{\text{Hypotenuse}} \quad (3.2.1)$$

In unserem Fall wird für die Gegenkathete Δs und für die Hypotenuse d eingesetzt.

$$\sin(\theta) = \frac{\Delta s}{d} \quad (3.2.2)$$

Die Strecke Δs beträgt bei konstruktiver Interferenz ein vielfaches der Wellenlänge λ . Setzt man nun $\Delta s = m \cdot \lambda$ in die Gleichung 3.2.2 ein, erhält man:

$$\sin(\theta) = \frac{m \cdot \lambda}{d} \quad (3.2.3)$$

mit

θ Beugungswinkel

d Spaltabstand

m Ordnung des Maximums

3.2.2 Gleichung für die destruktive Interferenz herleiten

Es wird wieder die Abbildung 3 verwendet. Alternativ kann auch Abbildung 2(c) [1] verwendet werden. Für diese Gleichung wird ebenfalls die Winkelfunktion des Sinus zur Hilfe genommen. Bei destruktiver Interferenz entspricht die Strecke Δs nur $\frac{\lambda}{2}$. Durch einsetzen der Bedingung $\Delta s = (2m - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$ in Gleichung 3.2.2, erhält man folgende Gleichung:

$$\sin(\theta) = \frac{(2m - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}}{d} \quad (3.2.4)$$

mit

θ Beugungswinkel
 d Spaltabstand
 m Ordnung des Minimums

4 Aufbau und Durchführung

4.1 Stehende Wellen

4.1.1 Aufbau

In Abbildung 4 ist der Versuchsaufbau dargestellt. Man benötigt einen Mikrowellensender (bestehend aus Versorgungsspannung und Hornstrahler), ein Multimeter, eine E-Feld-Sonde und eine Metallplatte, an der die Welle reflektiert wird.

Im Anhang finden Sie außerdem eine Skizze zum Aufbau. (Abschnitt 7.3/Abbildung 8)

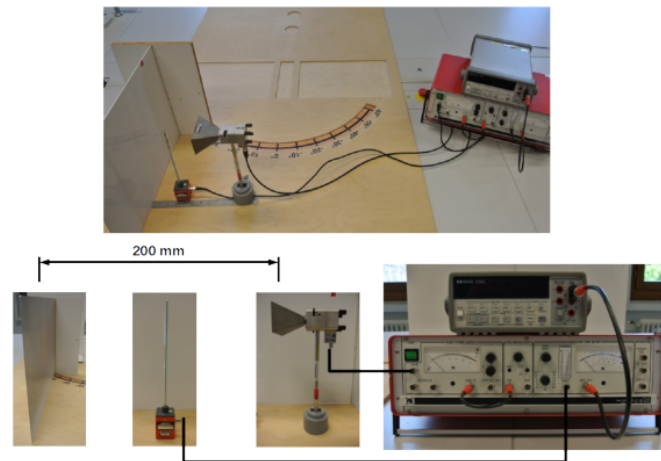


Abbildung 4: Versuchsaufbau - Stehende Wellen [1]

4.1.2 Durchführung

Zuerst wird die E-Feld-Sonde 50 mm von der Metallplatte entfernt aufgestellt. Danach wird in Schritten von 2 mm im Bereich (50 – 112) mm ein Spannungswert mit Hilfe des Multimeters gemessen.

Als Messunsicherheit wurde $U_s = 2 \text{ mm}$ angenommen.

4.2 Beugung am Doppelspalt

4.2.1 Aufbau

In Abbildung 5 ist der Versuchsaufbau dargestellt.

Im Anhang finden Sie außerdem eine Skizze zum Aufbau. (Abschnitt 7.4/Abbildung 9)

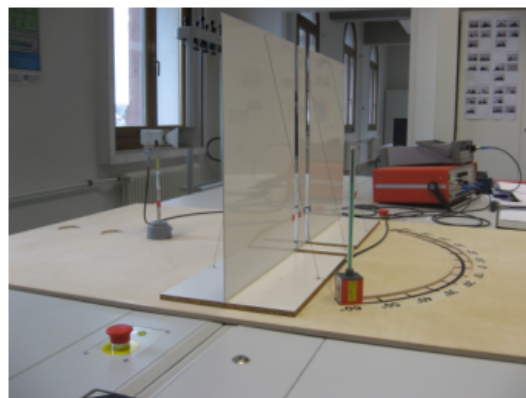


Abbildung 5: Versuchsaufbau - Beugung am Doppelspalt [1]

4.2.2 Durchführung

Die E-Feld-Sonde wird in einem Bereich von $+60^\circ$ bis -60° in 5° Schritten bewegt. An jeder Stelle wurden drei Messwerte mit dem Multimeter aufgenommen.

Als Messunsicherheit wurde $U_\theta = 2^\circ$ angenommen.

5 Auswertung Versuch

Alle Messwerte wurden mit Excel wie folgt berechnet:
Mittelwerte:

$$= \text{RUNDEN}(\text{MITTELWERT}(\dots); \text{Anzahl Nachkommastellen}) \quad (5.0.1)$$

Messunsicherheit:

$$= \frac{\text{STABW.S}(\dots)}{\text{WURZEL}(\text{ANZAHL}(\dots))} \cdot k \quad (5.0.2)$$

mit

$$k \quad \text{Erweiterungsfaktor} = 2$$

Messunsicherheiten werden immer auf zwei signifikante Stellen aufgerundet.

5.1 Stehende Wellen

Die Messwerte in Tabelle 3 (Abschnitt 7.1) wurden in Abbildung 6 graphisch dargestellt.

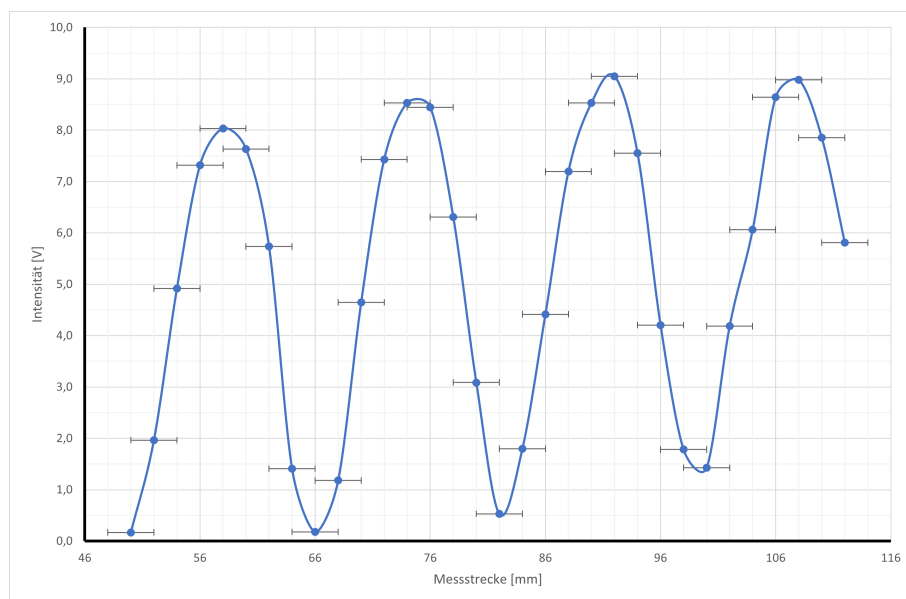


Abbildung 6: Intensität der Stehenden Welle

Die Wellenlänge λ wurde in der Tabelle 1 mit Hilfe von Abbildung 6 wie folgt bestimmt:

$$\lambda = (\text{Minimum} - \text{Maximum}) \cdot 4 \quad (5.1.1)$$

oder:

$$\lambda = (\text{Maximum} - \text{Minimum}) \cdot 4 \quad (5.1.2)$$

Da in den Gleichungen 5.1.1 und 5.1.2 jeweils der Abstand von einem Maximum zu einem Minimum, was einer halben Periode entspricht, berechnet wird, und die Funktion quadriert ist, muss mit dem Faktor 4 multipliziert werden um λ zu berechnen.

Die theoretische Herleitung dazu finden Sie in den Häuslichen Vorbereitungen. (Abschnitt 3.1.3)

Messstrecke in mm	Typ	λ in mm
58	Max	
66	Min	32
75	Max	36
82	Min	28
91	Max	36
99	Min	32
107	Max	32

Tabelle 1: Messwerte Max/Min

Ermitteln des Mittelwertes der Spalte λ aus Tabelle 1 \pm Messunsicherheit mit der Gleichung 5.0.2:

$$\lambda = (32, \bar{6} \pm 2,45854...) \text{ mm}$$

Korrekt auf zwei signifikante Stellen gerundet:

$$\lambda = (32,7 \pm 2,5) \text{ mm}$$

Man erhält die Wellenzahl k_x :

$$k_x = \frac{0,192 \pm 0,015}{\text{mm}}$$

5.2 Beugung am Doppelspalt

Wie in Abschnitt 5 beschrieben wurden die Mittelwerte und Messunsicherheiten in Tabelle 4 (Abschnitt 7.2) berechnet und graphisch in Abbildung 7 dargestellt.

Der Spaltabstand d war beim Versuchsaufbau (siehe Abbildung 5) durch die Metallplatte gegeben:

$$d = (90 \pm 2) \text{ mm}$$

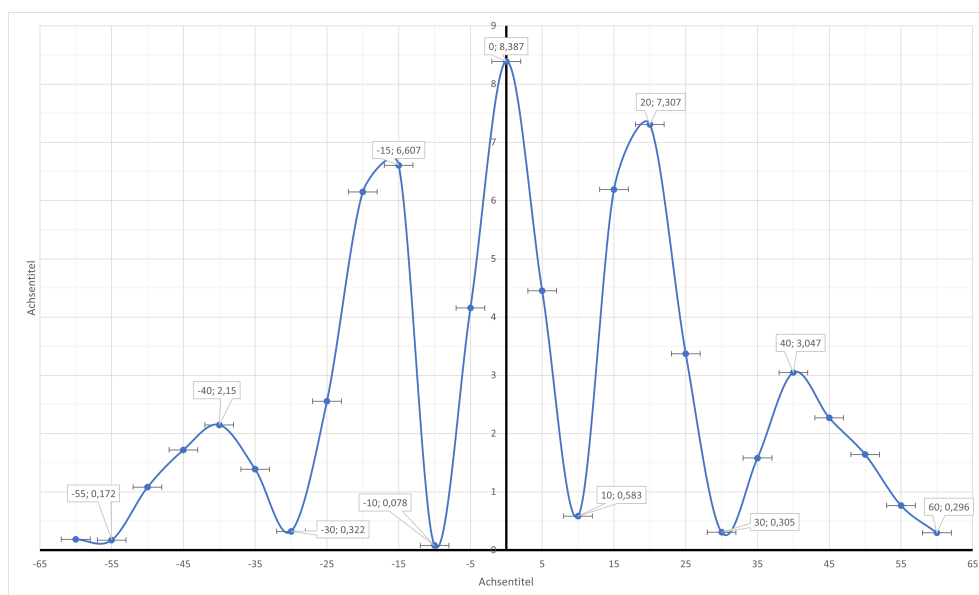


Abbildung 7: Intensität der gebeugten Welle nach Doppelspalt

In Tabelle 2 wurden die Maxima/Minima mit Hilfe der Gleichungen für konstruktive (3.2.3) und destruktive (3.2.4) Interferenz bestimmt.

Für die Berechnung der Messunsicherheit U_θ in Tabelle 2 müssen die Gleichungen 3.2.3 und 3.2.4 nach θ umgestellt und partiell abgeleitet werden.

Partielle Ableitungen für konstruktive Interferenz (Gleichung 3.2.3):

$$\frac{\partial \theta}{\partial \lambda} = \sqrt{\frac{m^2}{d^2 - m^2 \lambda^2}} \quad (5.2.1)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial d} = -\sqrt{\frac{m^2 \lambda^2}{d^4 - m^2 \lambda^2 d^2}} \quad (5.2.2)$$

Daraus ergibt sich für Maxima:

$$U_\theta = \left(\left| \frac{\partial \theta}{\partial \lambda} \right| \cdot U_\lambda + \left| \frac{\partial \theta}{\partial d} \right| \cdot U_d \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (5.2.3)$$

Partielle Ableitungen für destruktive Interferenz (Gleichung 3.2.4):

$$\frac{\partial \theta}{\partial \lambda} = \sqrt{\frac{(m - \frac{1}{2})^2}{d^2 - ((2m - 1) \cdot \frac{\lambda}{2})^2 d^2}} \quad (5.2.4)$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial d} = \sqrt{\frac{(\lambda m - \frac{1}{2})^2}{d^4 - ((2m - 1) \cdot \frac{\lambda}{2})^2 d^2}} \quad (5.2.5)$$

$$(5.2.6)$$

Daraus ergibt sich für Minima:

$$U_\theta = \left(\left| \frac{\partial \theta}{\partial \lambda} \right| \cdot U_\lambda + \left| \frac{\partial \theta}{\partial d} \right| \cdot U_d \right) \cdot \frac{180^\circ}{\pi} \quad (5.2.7)$$

Typ	θ in °	U_θ in °
Min	-65,0	12,0
Max	-47,0	6,0
Min	-33,0	3,5
Max	-21,3	2,3
Min	-10,47	0,82
Max	0,0	0,0
Min	10,47	0,82
Max	21,3	2,3
Min	33,0	3,5
Max	47,0	6,0
Min	65,0	12,0

Tabelle 2: Messwerte Max/Min Doppelspalt

6 Wertung/Fazit

6.1 Stehende Wellen

Bei der Durchführung des Versuches ließen sich die charakteristischen Eigenschaften einer stehenden Welle deutlich erkennen. Es gab jedoch einige Fehlerquellen wodurch unsere Messwerte von den theoretischen Werten abweichen. Unsere Messunsicherheit für den Abstand der Feldsonde zur Metallplatte $U_s = 1,5 \text{ mm}$. (Positionierungsungenauigkeit) Da wir nur einen Messwert pro Stelle gemessen haben, gibt es einen Einfluss zufälliger Messabweichungen. Würde man mehr Messwerte aufnehmen, wäre die Standardabweichung kleiner und das Ergebnis genauer. Außerdem wurde die Kurve (siehe Abbildung 6) automatisch von Excel geglättet (interpoliert). Es ist nicht klar wie stark Excel geglättet hat. Zudem gibt es eine Ungenauigkeit beim Ablesen der Wellenlänge aus dem Diagramm. (siehe Tabelle 1) Wenn man die Theorie betrachtet, müssten die Abstände zwischen den Extrema immer gleich weit sein. Außerdem müsste die Amplitude der Extrema immer gleich hoch sein. Dies ist bei unseren Messungen nicht der Fall (siehe Abbildung 6) Wenn man allerdings die Messungenauigkeit abzieht und mit einberechnet, dass es keine optimalen Bedingungen waren (kein Vakuum) ist das Ergebnis zufriedenstellend.

6.2 Beugung am Doppelspalt

Bei diesem Versuch ließen sich die Intensitätsverteilungen durch Beugung am Doppelspalt gut erkennen. Jedoch gab es auch bei diesem Versuch deutliche Abweichungen von der Theorie. Die Maxima mit den Ordnungszahlen $m = +1$ und $m = -1$ sollten die selbe Intensität aufweisen. Dies ist in unserem Diagramm (siehe Abbildung 7) nicht der Fall. Hier gibt es ähnliche Fehlerquellen wie beim ersten Versuchsteil. Auch hier wurde die Kurve von Excel geglättet. Ebenfalls gab es eine Positionierungsungenauigkeit $U_\theta = 2^\circ$. In diesem Versuchsteil wurden zumindest drei Werte pro Messung genommen. Trotzdem ist die Anzahl der Messung noch viel zu gering um zufällige Messfehler ausschließen zu können. Allerdings kann man auch hier, wenn man die Messungenauigkeit abzieht mit den Ergebnissen zufrieden sein.

7 Anhang

7.1 Messwerte Stehende Wellen

Messstrecke in mm	Intensität in V
50	0,1697
52	1,9653
54	4,917
56	7,3168
58	8,0344
60	7,6345
62	5,7353
64	1,4112
66	0,17926
68	1,1798
70	4,647
72	7,4326
74	8,532
76	8,4462
78	6,3072
80	3,0878
82	0,53118
84	1,7968
86	4,4163
88	7,1951
90	8,531
92	9,0499
94	7,5516
96	4,2053
98	1,7835
100	1,4284
102	4,1849
104	6,0622
106	8,6432
108	8,9794
110	7,8536
112	5,8124

Tabelle 3: Messwerte Stehende Wellen

7.2 Messwerte Beugung am Doppelspalt

Winkel θ in °	Intensität U_1 in V	Intensität U_2 in V	Intensität U_3 in V	Mittelwert U in V	Messunsich- erheit U_U
-60	0,21092	0,19389	0,15306	0,186	0,035
-55	0,11987	0,26127	0,13519	0,172	0,09
-50	0,97434	1,09808	1,15873	1,08	0,11
-45	1,7386	1,62026	1,79813	1,72	0,11
-40	2,2366	2,15912	2,05928	2,15	0,11
-35	1,3924	1,30459	1,46728	1,388	0,095
-30	0,25861	0,410026	0,29674	0,322	0,091
-25	2,5242	2,59579	2,54115	2,554	0,044
-20	6,0398	6,17433	6,23615	6,15	0,12
-15	6,5486	6,70058	6,5704	6,607	0,095
-10	0,0322	0,02523	0,17621	0,078	0,099
-5	4,2487	4,12123	4,09701	4,156	0,095
0	8,3576	8,42298	8,38182	8,387	0,039
5	4,3908	4,56691	4,39258	4,45	0,12
10	0,55335	0,65671	0,53882	0,583	0,075
15	6,0748	6,22082	6,27775	6,19	0,13
20	7,3946	7,23969	7,2876	7,307	0,092
25	3,539	3,36077	3,21241	3,37	0,19
30	0,28608	0,32275	0,30667	0,305	0,022
35	1,4377	1,56126	1,74111	1,58	0,18
40	3,0691	3,01681	3,05532	3,047	0,032
45	2,3662	2,26506	2,17826	2,27	0,11
50	1,5174	1,67359	1,74355	1,64	0,14
55	0,78921	0,77537	0,73164	0,765	0,035
60	0,20322	0,33983	0,34433	0,296	0,093

Tabelle 4: Messwerte Beugung am Doppelspalt

7.3 Skizze Aufbau - Stehende Wellen

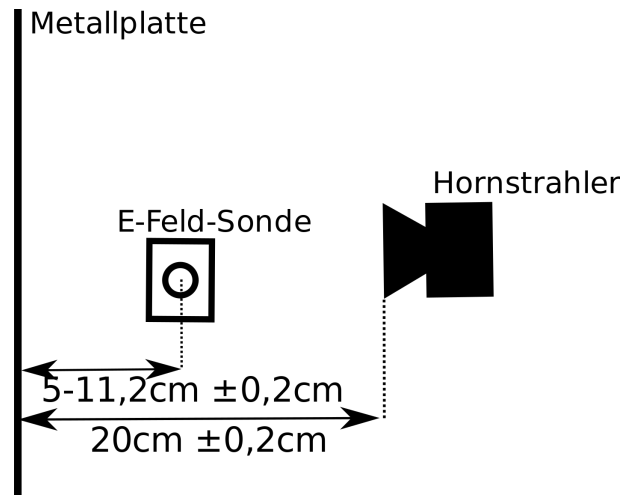


Abbildung 8: Skizze Aufbau - Stehende Wellen

7.4 Skizze Aufbau - Beugung am Doppelspalt

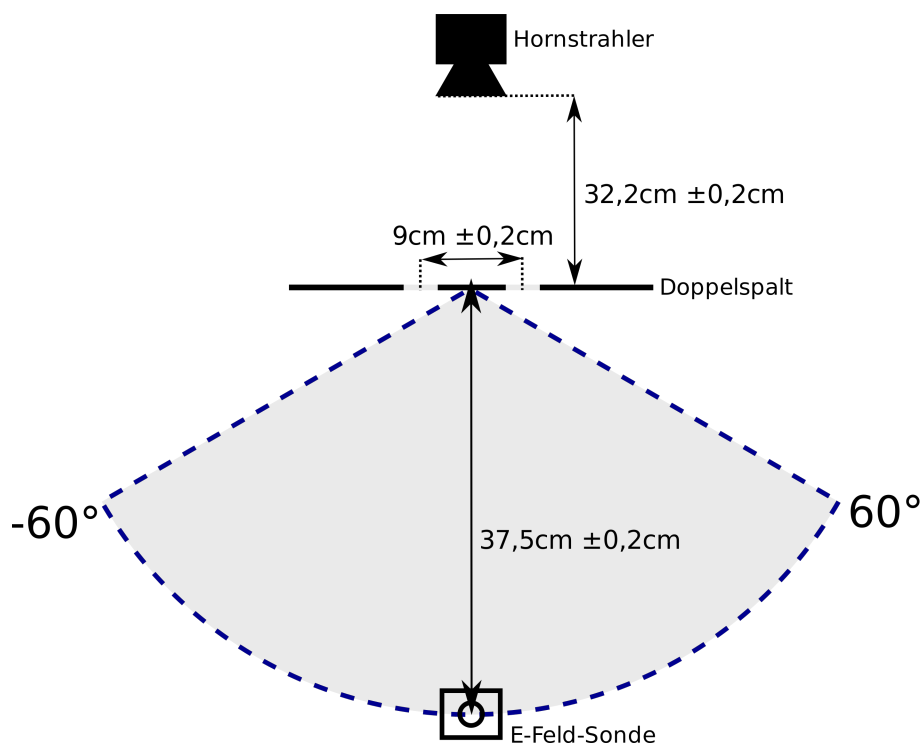


Abbildung 9: Skizze Aufbau - Beugung am Doppelspalt

8 Literatur

- [1] Skript: Versuch 2.2 - Stehende Wellen und Beugung am Doppelspalt
- [2] Vorlesungsfolien: 1. Semester Physik, Herr Prof. Kaloudis
- [3] Hering, Ekbert ; Martin, Rolf ; Stohrer, Martin: Physik für Ingenieure. Springer-Verlag
- [4] Abbildung 3: Skizze - Beugung am Doppelspalt von <http://aviacia.info> (08.04.2022)
- [5] Formeln + Hilfen Höhere Mathematik, G.Merziger; G.Mühlbach; D.Wille; T.Wirth, Binomi Verlag (8. Auflage)