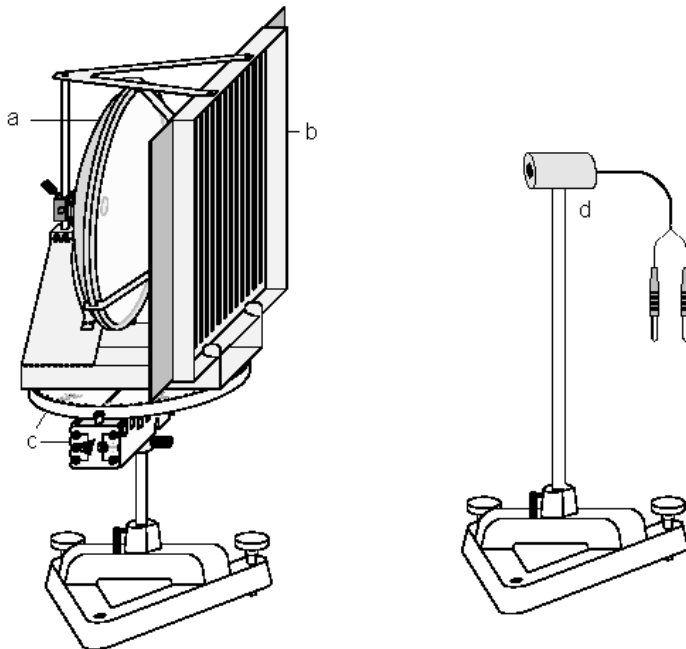


Labor für Technische Physik

Prof. Dr.-Ing. Dieter Kraus, Dipl.-Ing. W.Pieper

Versuch 7e:

Beugung von Ultraschallwellen am Einzel-, Doppel- und Mehrfachspalt


 a: Hohlspiegel mit Ultraschallsender
 b: Gitter und Hohlspiegelblenden

 c: Drehtisch mit Motorantrieb
 d: Ultraschallwandler 40 kHz

1. Versuchsziele

Der Versuch soll die Beugung von Ultraschallwellen an einem Einfach-, Doppel-, bzw. Mehrfachspalt verdeutlichen. Gemessen wird die Beugung am Einzelspalt für verschiedene Spaltbreiten b , die Beugung am Doppelspalt für verschiedene Spaltabstände d und die Beugung an Mehrfachspalten für verschiedene Spaltzahlen N .

2. Theoretische Grundlagen

Einzelspalt

Ultraschallwellen, die an scharfen Kanten vorbeilaufen, werden in den Schattenraum gebeugt. An den Kanten eines engen Spalts bilden sich nach dem *Huygensschen Prinzip* Elementarwellen. Je nach Richtung besteht zwischen diesen ein bestimmter Gangunterschied, der bei der Überlagerung Maxima (Verstärkung) und Minima (Auslöschung) ergibt.

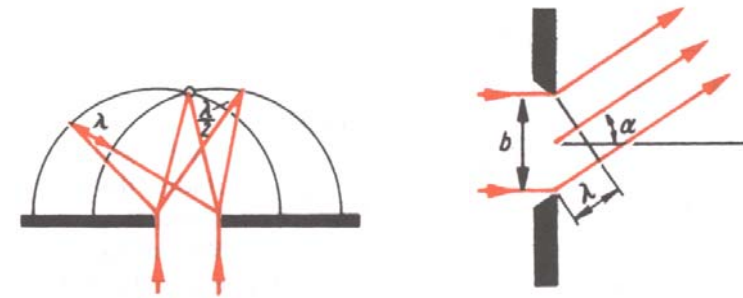


Abb. 1: a) Elementarwellen

b) Beugung am Einfachspalt

Da zwischen den entsprechenden Strahlen der linken und der rechten Hälfte des Strahlenbündels ein Gangunterschied von jeweils $\lambda/2$ besteht, gilt für die Richtung der

Intensitätsminima

$$\sin(\alpha_{\min}) = \pm k \frac{\lambda}{b} \quad \text{mit } k=1,2,3,\dots \quad (1)$$

Nebenintensitätsmaxima

$$\sin(\alpha_{\max}) = \pm \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{b} \quad \text{mit } k=1,2,3,\dots \quad (2)$$

- b : Spaltbreite
- λ : Wellenlänge
- α_{\max} : Beugungswinkel für die Richtung der Maxima
- α_{\min} : Beugungswinkel für die Richtung der Minima

Bei den mit Hilfe von Gl. (2) berechneten Winkeln handelt es sich um Nebenmaxima mit einer wesentlich geringeren Intensität als beim Hauptmaximum. Das Hauptmaximum liegt in Richtung $\alpha = 0$.

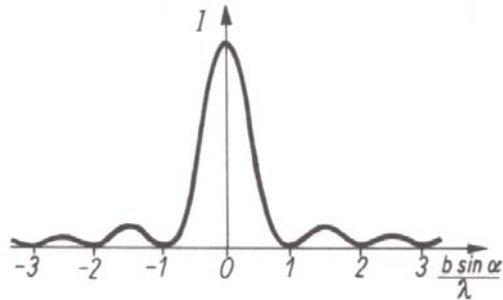


Abb. 2: Intensitätsverteilung am Einzelspalt

Doppelspalt

Bei einem Doppelspalt sind die Verhältnisse ähnlich. Zur Interferenz gelangen jeweils entsprechende Strahlen beider Spalten. Je nach Gangunterschied zwischen ihnen entstehen Maxima oder Minima.

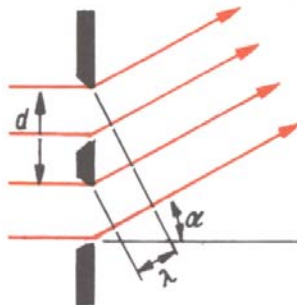


Abb. 3: Beugung am Doppelspalt

Intensitätsmaxima

$$\sin(\alpha_{\max}) = \pm k \frac{\lambda}{d} \quad \text{mit } k = 0, 1, 2, \dots \quad (3)$$

Intensitätsminima

$$\sin(\alpha_{\min}) = \pm \left(k + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} \quad \text{mit } k = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

- d : Abstand beider Spalte
- λ : Wellenlänge
- α_{\max} : Beugungswinkel für die Richtung der Maxima
- α_{\min} : Beugungswinkel für die Richtung der Minima

Mehrfachspalt

Die Beugungerscheinungen entsprechen denen am Doppelspalt. Durch die hohe Zahl parallel nebeneinander angeordneter Spalte sind die Maxima jedoch wesentlich heller. Den Abstand zweier Spaltmitten, also die Summe von Spaltbreite und Zwischenraum bezeichnet man als Gitterkonstante g (in diesem Versuch: $g = 3 \text{ cm}$).

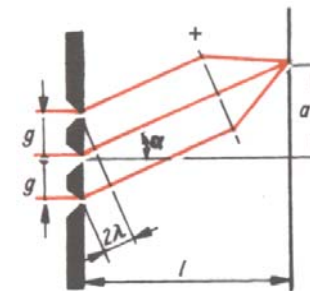


Abb. 4: Beugung am Mehrfachspalt

Intensitätsmaxima

$$\sin(\alpha_{\max}) = \pm k \frac{\lambda}{g} \quad \text{mit } k = 0, 1, 2, \dots \quad (5)$$

- g : Gitterkonstante
- λ : Wellenlänge
- α_{\max} : Beugungswinkel für die Richtung der Maxima

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

2	Ultraschallwandler, 40 kHz	416 000
1	AC-Verstärker	416 010
1	Generator 40 kHz	416 013
1	Sensorhalter für Hohlspiegel	416 020
1	Gestell mit Halterung	416 021
1	Gitter und Spalt für Ultraschallversuche	416 030
1	Drehtisch mit Motorantrieb	311 902
1	Hohlspiegel	389 241
1	Sensor-CASSY	524 010
1	Stromquellen-Box	524 031
1	CASSY Lab	524 200
1	DC-Netzgerät 0..20 V	521 54
1	Verbindungskabel, abgeschirmt	501 031
1	Großer Stativfuß, v-förmig	300 01
1	Kleiner Stativfuß, v-förmig	300 02
1	Stativstange, 250 mm	300 41
1	Stativstange, 470 mm	300 42
1	Leybold-Muffe	301 01

- Den Drehteller mit Motor auf die 25 cm lange Stativstange montieren. Die Stange samt Drehteller auf dem großen Dreiecksfuß befestigen.
- Den Hohlspiegel und das Gestell mit Halterung gemäß der Abbildung auf der Titelseite dieser Anleitung montieren. Der Hohlspiegelaufbau wird auf dem Drehteller platziert und mit dem Messingstift arretiert. Das Gitter zunächst noch nicht einsetzen!
- Die Blenden mit der Schaumstoffseite zum Reflektor hin in die dafür vorgesehene Schiene hineinschieben.
- Einen Ultraschallwandler als Sender in die dafür vorgesehene Halterung mit Abstrahlrichtung in den Hohlspiegel anbringen.
- Einen Ultraschallwandler als Empfänger auf die 47 cm langen Stativstange aufschrauben und die Stange in einen kleinen Stativfuß befestigen. Die Höhen von Sender und Empfänger einander angleichen.

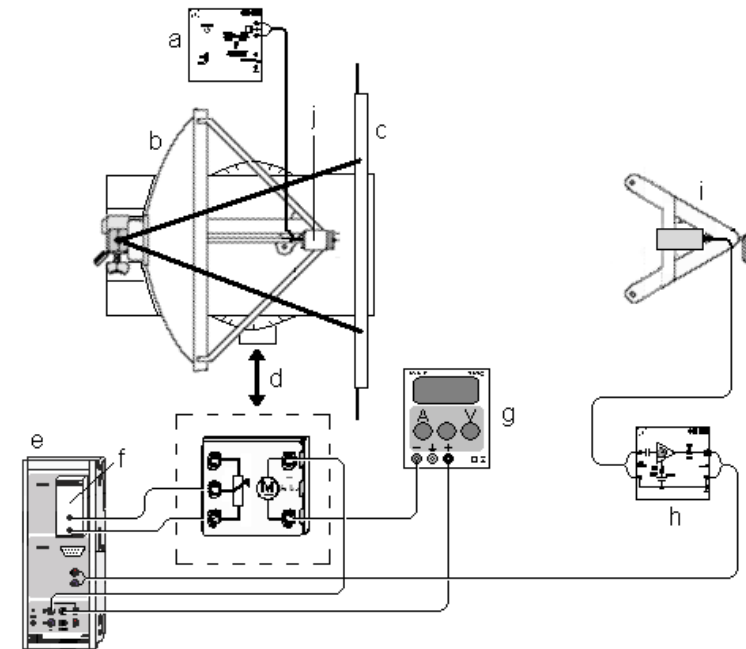


Abb. 1: Versuchsaufbau

- | | | | |
|----|----------------------------------|----|--------------------------|
| a: | Frequenzgenerator | f: | Stromquellenbox |
| b: | Hohlspiegel mit Halter und Motor | g: | DC Netzgerät |
| c: | Blenden optional mit Gitter | h: | AC-Verstärker |
| d: | Drehtisch mit Motor | i: | Ultraschallwandler 40kHz |
| e: | Sensor-CASSY | j: | Ultraschallwandler 40kHz |

- Die Stromquellen-Box auf den Steckplatz "Input A" des Sensor-CASSY stecken.




Alle Komponenten werden in Abb. 1 dargestellt miteinander verbunden:

- der empfangende Ultraschallwandler über den AC-Verstärker mit Eingang B von Sensor-CASSY
- der Drehwiderstand am Drehteller mit der Stromquellen-Box an Eingang A von Sensor-CASSY
- das DC-Netzgerät über R (in geschlossener Schalterstellung) mit dem Motor
- Die Spannung am Netzgerät herunter drehen und das Netzgerät einschalten. Die Spannung am Netzgerät soweit erhöhen (ca. 2,5 V), dass der Motor anläuft und sich mit langsamer Geschwindigkeit dreht.
- Anschließend den Stecker an R in offene Schalterstellung umstecken (vom linken auf den rechten Buchse).
- Der Abstand zwischen Sender und Empfänger sollte ungefähr 1,5 m betragen, damit sich der Empfänger im Fernbereich befindet und die oben genannten Formeln näherungsweise gültig sind.
- Den Funktionsschalter am AC-Verstärkers auf Betriebsart kontinuierlich (=) stellen.
- Den Funktionsgenerator einschalten und die Betriebsart kontinuierlich wählen.

Hinweis:

Der AC-Verstärker und der Funktionsgenerator verfügen über eine Abschaltautomatik, deshalb bei Signalverlust die Geräte auf Funktionsbereitschaft überprüfen.

Bedienungshinweise zu CASSY Lab 2:

- Messung starten oder stoppen: Button  oder Taste F9.
- Letzte Messung löschen: Button  oder Taste F4
- Einstellungen aufrufen: Button , rechte Maustaste über Kanal-Button (rechts oben) oder Anzeigeinstrument, oder über Menü Fenster
- Im Kontextmenü (rechte Maustaste auf Tabelle oder Diagramm) gibt es weitere Einträge z.B. ‚Letzte Tabellenzeile löschen‘ oder ‚Markierung setzen‘.

Einstellungen in Cassy Lab:

Die Versuchsparameterdatei aus dem Verzeichnis „Voreinstellungen für CASSY-Lab“: „V7 - Ultraschallwellen - Reflexion und Interferenz- Einstellungen für CASSY-Lab.lab“ laden. Evtl. die korrekte Einstellung der nachfolgenden Parameter überprüfen:

Einstellungen aufrufen: F5 oder Button  - Baumstruktur öffnen

- CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang A_1 (Stromquellen-Box, 524031)
 - Messgröße: Widerstand R_{A1} aktivieren
 - Bereich: 0 k Ω ... 10 k Ω
 - Messwerterfassung: gemittelte Werte: 500 ms
- CASSYs - Sensor-CASSY – Eingang B_1 (ohne Sensorbox)
 - Messgröße: Spannung U_{B1} aktivieren
 - Bereich: 0 V ... 7 V
 - Messwerterfassung: Effektivwerte über 500 ms
- CASSYs - Sensor-CASSY – Relais R_1 aktivieren
 - R_1 : 0
 - Umschalten während automatischer Aufnahme aktivieren
- CASSYs - Sensor-CASSY – Spannungsquelle S_1 aktivieren
 - S_1 : 1
- Messparameter
 - Aufnahme: automatisch
 - Intervall: 100 ms
- Rechner - Formel
 - Neu
 - Name: Winkel ; Symbol: Alpha; Einheit: Grad;
 - von: -60 Grad; bis: 60 Grad; Dezimalen: 2
 - Formel: $(R_{A1} \cdot 1000 - 5000) \cdot 0,038$
 - (5000 entspricht dem Kalibrierwiderstand $R_{A1 \text{ kal}}$)
- Darstellungen - Standard
 - x-Achse: Alpha auswählen; Darstellungsart: x
 - y-Achse: $UB1$ auswählen; Darstellungsart: y^2
 - Stil: Linien, evtl. Farbe auswählen

Den Drehteller drehen, bis Winkel Alpha $\approx 0^\circ$ und $R_{A1} \approx 5000$ (entspricht $R_{A1 \text{ kal}}$) angezeigt wird. Danach den gesamten Hohlspiegelaufbau am Stativ drehend in Richtung des Empfängers ausrichten. (Ansonsten muss für $R_{A1 \text{ kal}}$ der aktuelle Wert von R_{A1} bei Nullstellung eingegeben werden.)

4. Versuchsdurchführung

Einfachspalt

Messen Sie das Beugungsmuster am Einfachspalt für Spaltbreiten von $b = 10$ cm, $b = 5$ cm und $b = 2$ cm in einem Winkelbereich von ± 60 Grad.

Dazu die Hohlspiegelblenden mittig mit der gewünschten Spaltbreite justieren.

- Achten Sie darauf, dass der Empfänger mittig zum Spalt positioniert ist.
- Den Hohlspiegel manuell in Anfangsposition drehen und Messung starten.
- Bei Erreichen der Endposition die Messung manuell stoppen und speichern.

Doppelspalt

Messen Sie mit Hilfe des Gitters das Beugungsmuster am Doppelspalt für Spaltmittenabstände (Abstand der Spalte entsprechend Abb. 3) von $d = 3$ cm, $d = 6$ cm und $d = 9$ cm in einem Winkelbereich von ± 60 Grad. Hierzu das Gitter montieren und den gewünschten Spaltabstand durch Abschatten unter Verwendung der Blenden einstellen. Für Spaltabstände von $d = 6$ cm und $d = 9$ cm zusätzlich die Einzelblenden verwenden.

Mehrfachspalt

Messen Sie das Beugungsmuster am Mehrfachspalt für eine Spaltanzahl von $N = 3$, $N = 4$ und $N = 5$ mit einer Gitterkonstante (vergl. Abb. 4) $g = 3$ cm in einem Winkelbereich von ± 60 Grad.

Hinweis:

Der AC-Verstärker und der Funktionsgenerator verfügen über eine Abschaltautomatik, deshalb bei fehlendem Signal die Geräte manuell aus- und wieder einschalten.

5. Auswertung

- Stellen Sie ihre Messergebnisse grafisch in Diagrammen dar und bestimmen Sie die Intensitätsmaxima.
- Überprüfen Sie Ihre Messergebnisse mit den theoretisch zu errechnenden Werten für den Beugungswinkel α der Intensitätsmaxima.
- Diskutieren Sie Ihre Messergebnisse kritisch.

Literatur

[1] Hering, Martin, Stohrer: Physik für Ingenieure, Springer-Lehrbuch

[2] Kuchling: Taschenbuch der Physik, Fachbuchverlag Leipzig

[3] Eichler, Kronfeld, Sahn: Das Neue Physikalische Grundpraktikum, Springer-Lehrbuch