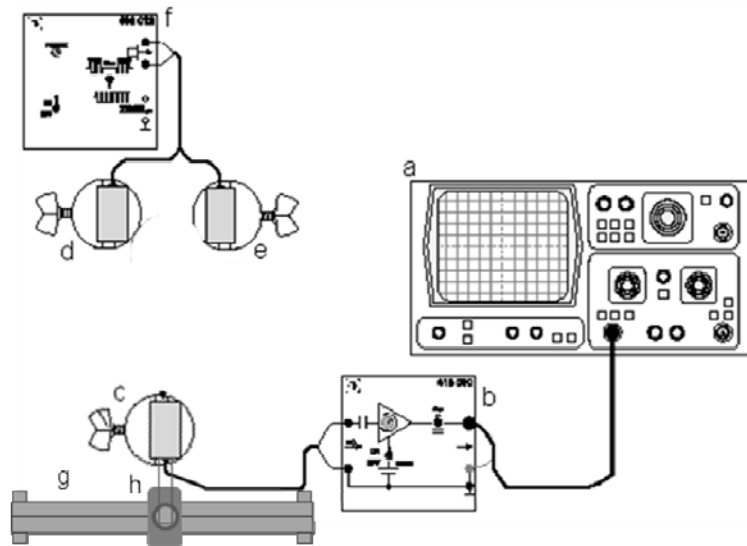


Labor für Technische Physik

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

Versuch 7d: Interferenz von Ultraschallwellen



- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| a: Oszilloskop | e: Ultraschallwandler 40 kHz |
| b: AC-Verstärker | f: Generator 40 kHz |
| c: Ultraschallwandler 40 kHz | g: Dreieckschiene mit Maßskala |
| d: Ultraschallwandler 40 kHz | h: Aufsetzschlitten |

1. Versuchsziele

Mit einem Oszilloskop soll die Interferenz zweier kohärenter Ultraschallbündel mit gleicher Amplitude verdeutlicht und somit das Superpositionsprinzip bewiesen werden. Bestimmung der Maxima des überlagerten Ultraschallbündels (konstruktive Interferenz) in Abhängigkeit des Winkels des Empfängers zum Mittelpunkt zwischen beiden Quellen.

2. Theoretische Grundlagen

Laufen mehrere Wellen (y_1, y_2, \dots, y_n) gleicher Frequenz durch ein gemeinsames Übertragungsmedium, so kann es an bestimmten Stellen des Raumes zu Überlagerungen der einzelnen Wellen kommen. Es zeigt sich, dass im Allgemeinen das *Superpositionsgesetz* anwendbar ist. Es wird davon ausgegangen, dass sich jede Welle so ausbreitet, als ob die anderen Wellen nicht vorhanden wären. Die Einzelwellen überlagern sich additiv zur resultierenden Welle y_R .

$$y_R(x, t) = y_1(x, t) + y_2(x, t) + \dots + y_n(x, t) \quad (1)$$

Erscheinungen, die an einer bestimmten Stelle des Raumes durch Überlagerung von Wellen hervorgerufen werden, nennt man *Interferenzen*.

Im Folgenden werden zwei Wellen gleicher Ausbreitungsrichtung und gleicher Amplitude überlagert. Die erste Welle sei gegeben durch

$$y_1(x, t) = A \cos(\omega t - kx) \quad (2)$$

Die zweite Welle weise gegenüber der ersten die Phasenverschiebung φ bzw. den Gangunterschied $\Delta x = \frac{\lambda}{2\pi} \varphi$ auf.

$$y_2(x, t) = A \cos(\omega t - kx + \varphi) = A \cos\left(\omega t - kx + \frac{2\pi}{\lambda} \Delta x\right) \quad (3)$$

Die resultierende Welle y_R , die durch Addition der beiden Teilwellen entsteht, besitzt die gleiche Frequenz und Wellenlänge, aber eine andere Amplitude und Phasenlage.

$$y_R(x, t) = 2A \cos\left(\frac{\varphi}{2}\right) \cos\left(\omega t - kx + \frac{\varphi}{2}\right) = 2A \cos\left(\pi \frac{\Delta x}{\lambda}\right) \cos\left(\omega t - kx + \pi \frac{\Delta x}{\lambda}\right) \quad (4)$$

Weist der Gangunterschied Δx beider Teilwellen ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge λ auf

$$\Delta x = n \cdot \lambda \text{ mit } n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

so verdoppelt sich die Amplitude der resultierenden Welle. Die Phasenlage bleibt unverändert. Diesen Sonderfall nennt man *konstruktive Interferenz* (siehe Abb.2).

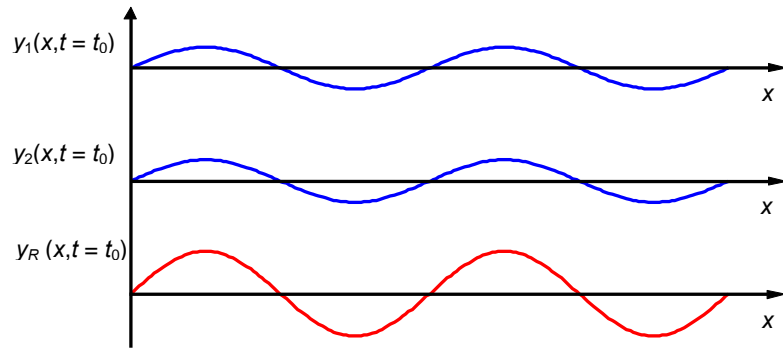


Abb. 2: Konstruktive Interferenz

Weist der Gangunterschied Δx beider Teilwellen hingegen ein ungeradzahlig Vielfaches der halben Wellenlänge λ auf

$$\Delta x = (2n+1) \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{mit } n = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

so löschen sich beide Teilwellen gegenseitig aus. Dieser Sonderfall wird *destruktive Interferenz* genannt (siehe Abb.3).

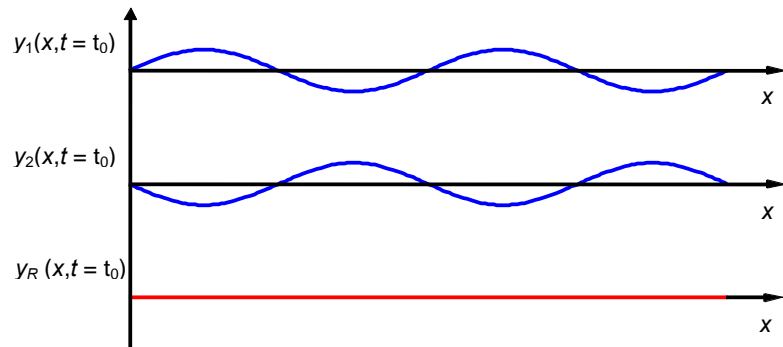


Abb. 3: Destruktive Interferenz

Werden zwei Quellen gleicher Frequenz, gleicher Phasenlage und Ausbreitungsrichtung in einem definierten Abstand d zueinander positioniert, so interferieren sie miteinander. Das Interferenzbild entspricht der Beugung von ebenen Wellen an einem Doppelspalt. Konstruktive Interferenzen können auf der roten Kurve beobachtet werden (siehe Abb.4).

Der Beugungswinkel α (gemessen vom Zentrum zwischen den Quellen) ergibt sich zu

$$\sin \alpha = n \frac{\lambda}{d} \quad \text{mit } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (7)$$

Für die destruktiven Interferenzen gilt

$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{d} \quad \text{mit } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (8)$$

Für die Wellenlänge λ gilt

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (9)$$

wobei c die Schallgeschwindigkeit und f die Frequenz des Signals angibt.

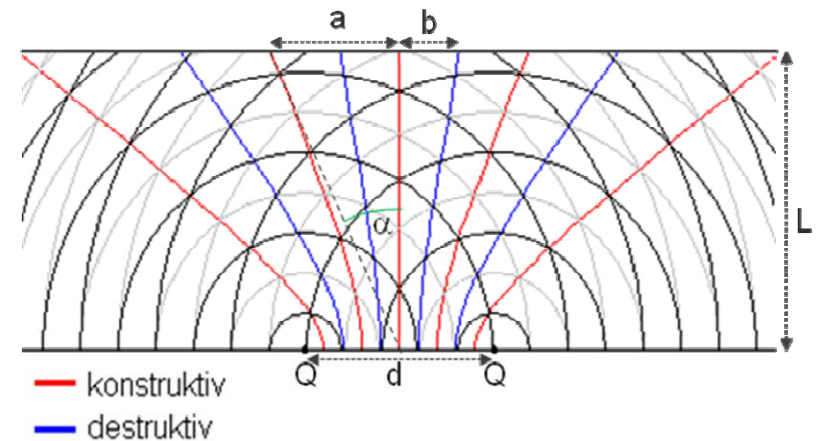


Abb. 4: Interferenzbild der von zwei Quellen ausgehenden Wellen

3. Versuchsaufbau

Geräteliste

3	Ultraschallwandler, 40 kHz	416 000
1	Generator 40 kHz	416 013
1	AC-Verstärker	416 010
1	Oszilloskop	
1	Messkabel BNC/4 mm	575 24
3	Sockel	300 11
1	Dreieckschiene mit Maßskala	
1	Aufsetzschlitten	
1	Styroporblock	

Der Versuchsaufbau ist auf der Titelseite dieser Anleitung dargestellt:

- Die beiden als Sender verwendeten Ultraschallwandler (d) und (e) in einem Abstand von $d = 10 \text{ cm}$ mit paralleler Abstrahlrichtung aufstellen und beide mit einem Frequenzgenerator (f) verbinden. Für den Generator die Betriebsart „kontinuierliches Signal“ (Schalter nach unten) wählen.
- Den empfangenden Ultraschallwandler (c) an dem Aufsetzschlitten (h) befestigen und diesen mittig auf die Dreieckschiene mit Maßskala (g) setzen.
- Die Dreieckschiene mit dem Empfänger mit einem Abstand von $L = 50 \text{ cm}$ von den Sendern so positionieren, dass der Empfänger parallel zur Abstrahlrichtung und mittig zu den Sendern ausgerichtet ist.
- Den empfangenden Ultraschallwandler (c) über den AC-Verstärker (b) mit dem Oszilloskop (a) verbinden. Den AC-Verstärker auf Betriebsart (\sim) und minimale Verstärkung einstellen.

Um eine genügend hohe Schallamplitude zu erhalten, muss die Generatorfrequenz mit der Resonanzfrequenz der Ultraschallwandler abgestimmt werden:

Die Frequenz am Generator dahingehend variieren, dass die Signalamplitude auf dem Oszilloskop ein Maximum erreicht.

(Eventuell die Verstärkung des AC-Verstärkers und die Einstellungen am Oszilloskop anpassen)

4. Versuchsdurchführung

- Bestimmen sie die Generatorfrequenz und die Signalamplituden der beiden Ultraschallwandler mit Hilfe des Oszilloskops, indem mit dem beiliegenden Styroporblock jeweils eine Quelle zugehalten wird.
- Bewegen sie den Empfänger auf der Dreieckschiene senkrecht zu den Quellen und ermitteln sie die Positionen der auftretenden Maxima und Minima entlang der Dreieckschiene. Protokollieren sie jeweils die Position und die Signalamplitude.

Hinweis:

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

5. Auswertung

- Berechnen sie aus ihren Messwerten mit Hilfe der \tan - Funktion die Beugungswinkel der auftretenden Maxima und Minima des Interferenzbildes.
- Errechnen sie mit Hilfe der Gleichung (7) und (8) die theoretisch auftretenden Beugungswinkel α und vergleichen diese mit den aus ihrer Messung ermittelten Werten.

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