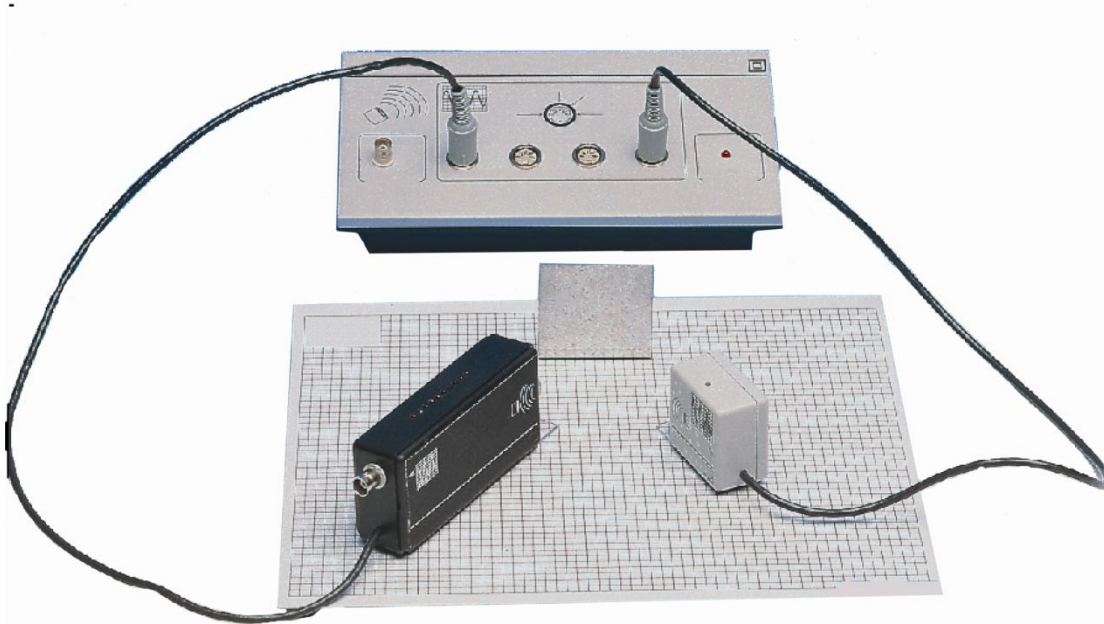


## Gerätesatz Ultraschallversuche

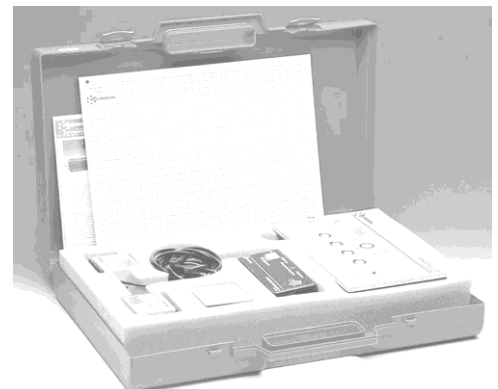


Gerätezusammenstellung für folgende Versuche mit Ultraschall:

- Wellenausbreitung, Geschwindigkeit, Überlagerung
- Reflektionsgesetze - Brechung
- Interferenz mit 2 Ultraschallquellen
- Beugung am Spalt - Stehende Wellen

### A. Der Gerätesatz besteht aus:

- 2 Ultraschallsendern in einem Gehäuse mit Magnetfolie am Boden. Leuchtdiode zur Anzeige der Aussendung von Ultraschallsignalen.
- 1 Empfänger im Gehäuse mit mehreren Leuchtdioden, die die Stärke des empfangenen Signals anzeigen, mit Magnetfolie am Boden. Ein Verbindungskabel ermöglicht den Anschluss an das Steuergerät.
- 1 Steuergerät ermöglicht die Versorgung von 3 Sendern und einem Empfänger. Der Empfänger und das Steuergerät verfügen jeweils über eine BNC-Buchse als Verbindung zu einem Oszilloskop. Für die Sender liefert das Gerät ein Ultraschallsignal von 40 kHz.
- 2 Metallwinkeln, die für die Beugung, Interferenz und Reflexion benötigt werden.
- 1 skalierten Metallgrundplatte, auf der Sender und Empfänger einfach ausgerichtet werden können (über Magnetfolien an der Unterseite).



**Technische Daten:**

Frequenzbereich: 40 kHz

Stromversorgung: 220 V / 50 Hz

**B. Theoretische Grundlagen:***Die Piezo-Elektrizität:*

Dieses Phänomen tritt auf bei einigen natürlichen anisotropen Dielektrika (z.B. Quarz) und künstlichen (Bariumtitanverbindung  $\text{BaTiO}_3$ ), wenn man diese Stoffe durch eine Kräfteinwirkung in bestimmter Richtung verformt. Durch entsprechende Kontakte an zwei gegenüberliegenden Seiten eines solchen Kristalls wird die Feststellung einer Potentialdifferenz ermöglicht, welche proportional der ausgeübten Kraft, Beschleunigung, Druck oder Schwingung ist, die auf den Kristall einwirkt.

Diese Erscheinung ist umkehrbar: das Kristallgitter verformt sich beim Anlegen einer Spannung an den gegebenen Kontaktpunkten. Bei der Verwendung von Wechselspannung kann man eine Resonanz nachweisen, die relativ hoch sein kann. Nutzung bei der Anfertigung von Quarzoszillatoren, Ultraschalltransduktoren, usw.

**Vereinfachtes Modell:**

Quarz besteht chemisch aus Silizium und Sauerstoff ( $\text{SiO}_2$ ). Die Kristallstruktur entspricht einem Rhomboeder. Ein piezoelektrischer Kristallstreifen ist im Allgemeinen wie folgt geformt:

Die Ebene des Streifens ist parallel zur optischen Achse (Z-Achse) und zur mechanischen Achse (Y-Achse). Eine Druckkraft wirkt senkrecht auf den Streifen in X-Richtung ein. Die Projektion eines einzelnen Kristalls senkrecht zur optischen Achse zeigt eine Deformierung in Richtung der mechanischen Achse. Dabei kommt es zu einer Verschiebung der positiven Ladungen (3  $\text{Si}^{4+}$  - Ionen) und der negativen Ladungen (6  $\text{O}_2$  - Ionen). Der Kristall wird bipolar, man kann eine Spannung feststellen.

Bei den künstlichen Dielektrika stellt sich zu Beginn eine Anisotropie ein, welche sich auf die einzelnen Moleküle bezieht.

Die Herstellung von piezoelektrischen Elementen beinhaltet demnach eine Polarisierung, durch die eine Ausrichtung der einzelnen Kristalle in eine vorgegebene Richtung stattfindet. Die Polarisierung erreicht man oberhalb der Temperatur  $T_C$  (Curie-Punkt von piezoelektrischem Material).

**Physikalische Zusammenhänge**

Bei einer dünnen polarisierten Scheibe wählt man die Scheibenachse, um eine symmetrische Polarisierung zu zeigen. Die Kräfte werden senkrecht zur Scheibenebene ausgeübt. Die numerischen Werte müssen relativ zu der Keramik  $\text{PbTi}_{1-x}\text{Zr}_x\text{O}_3$  gesehen werden. Dieses Material wird verwendet, um Buzzers (schwache Resonanz) und Ultraschalltransduktoren (starke Resonanz) herzustellen.

**Elektrische Größen**Dielektrizitätskonstante  $\epsilon_r = 1800$  (ohne Kräfteinwirkung)spezifischer Widerstand  $\rho = 10^{12} \Omega / m$ Verlustwinkel  $\tan \delta = 0.02$  (variiert mit dem elektrischen Feld und der Temperatur)

**Piezoelektrische Größen**

Lastkonstante  $d = 390 \cdot 10 \text{ C/N}$

Die Lastkonstante ergibt sich relativ zur "obersten" Achse. Sie charakterisiert die Deformation eines Elements, welches unter dem Einfluss eines weiteren Elements in gleicher Achsrichtung beim Anlegen eines elektrischen Feldes steht.

**Mathematisches Beispiel**

Bestimmen Sie die Deformation (Dickenänderung) einer PXE5 Scheibe mit 5 mm Dicke bei dem Anlegen eines elektrischen Feldes mit 10 V/m.

$$\Delta e / e = d \cdot E = 390 \cdot 10 \cdot 10$$
$$\Delta e = 390 \cdot 10 \cdot 0,5 \cdot 10 = 0,02 \mu\text{m}$$

Spannungskonstante :  $g = 24,4 \text{ V} \cdot \text{m} / \text{N}$

Diese Konstante gilt wiederum relativ zur obersten Achse. Sie stellt das Verhältnis von der Größe des elektrischen Feldes in Ausbreitungsrichtung und Druck in gleicher Richtung dar.

**Mathematisches Beispiel**

Bestimmen Sie den Druck, der notwendig ist, um an einer PXE5-Scheibe ein elektrisches Feld von 10 V/m zu erzeugen.

$$P = E / g = 10^5 / 24,4 \cdot 10^{-3} = 4,1 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 41 \text{ bar}$$

**Frequenzkonstante**

Die Frequenzkonstante einer dünnen polarisierten Scheibe an der Scheibenachse bei symmetrischer Polarität ( $d > 5 \cdot e$ ) entspricht dem Produkt aus Resonanz und Scheibendurchmesser: die ausgesendete Schwingung ist eine ebene Schwingung.

$$N_p = f \cdot d \text{ (für PXE5 ist } N_p = 2000 \text{ Hz} \cdot \text{m)}$$

Mathematisches Beispiel: Berechnung des Scheibendurchmessers bei einer Resonanzfrequenz von 5 kHz.

$$d = 2000 / 5000 = 0,4 \text{ m}$$

## Versuch 1: Ausbreitung der Schallwellen

Erforderliche Geräte

- 1 Sender
- 1 Empfänger
- 1 Steuergerät

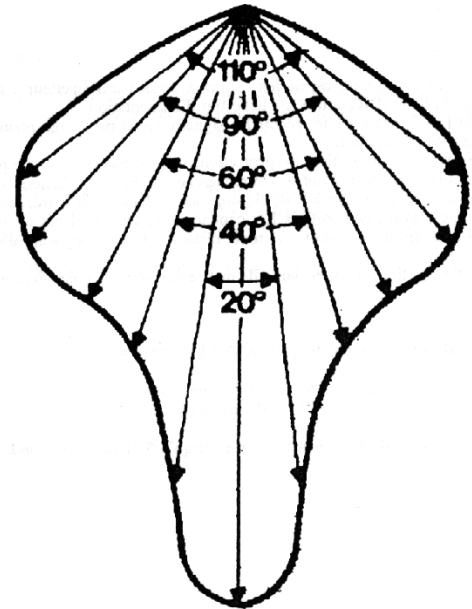
Die Leuchtdiodenanzeige des Empfängers würde ausreichen, jedoch kann man ein Oszilloskop verwenden, um die Genauigkeit zu erhöhen.

Aufbau:

Der Sender und der Empfänger werden auf die magnetische Grundplatte gesetzt.

Man stellt fest:

1. Die Signalamplitude wird mit dem Quadrat der Entfernung Empfänger-Sender schwächer (siehe Abb.1) .
2. Die Aussendung der Schallwellen ist keulenförmig. Diese Winkel aus der Abbildung 1 kann man bestimmen, indem man den Empfänger entlang eines Kreissegmentes mit  $R = 10$  cm an verschiedenen Positionen aufstellt. Die gleiche Charakteristik ergibt sich selbstverständlich auch beim Empfänger.
3. Achtung: eine sehr genaue Messung des Zusammenhanges unter 1 ermöglicht zudem das Erkennen von stehenden Wellen, die sich zwischen Sender und Empfänger einstellen können. Sie kommen durch Reflexionen am Empfänger zustande.
4. Reflexion: ein Schirm, der in ca. 10 cm Abstand zum Sender aufgestellt wird, ermöglicht einen Nachweis, dass Einfallswinkel und Reflexionswinkel identisch sind. Man kann auch Sender und Empfänger in beliebiger Position zueinander stellen und empirisch die Position des Schirms suchen, bei welcher sich ein Schwingungsmaximum einstellt.



## Versuch 2: Messung von Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit

Erforderliche Geräte:

- 1 Sender
- 1 Empfänger
- 1 Spannungsversorgung
- 1 Oszilloskop

### Versuchsordnung

Auf den Kanal A des Oszilloskops wird das vom Sender ausgesendete Schallsignal gegeben. Auf den Kanal B legt man das empfangene Signal. Konstruktionsbedingt können Sender und Empfänger nicht unmittelbar gegenüber gestellt werden. Sender und Empfänger werden so gegeneinander aufgestellt, dass bei einem Abstand von 3 - 4 mm eine Phasengleichheit der Sinusschwingungen am Oszilloskop beobachtet wird. Die Wellenlänge beträgt etwa 1cm.

Ausgehend von dieser Position ist es möglich, eine Reihe von phasengleichen Punkten zu zeigen.

*Beispiel:*

20 Wellenlängen = 17.9 cm, Frequenz 39.4 kHz,  $\theta = 30^\circ$

Die Anwendung der Formel  $c = \lambda \cdot f$  ergibt einen Wert von:

$$c = 0.179 \cdot 39.4 \cdot 1000 / 20 = 352 \text{ m/s } (\lambda = 8.8 \text{ mm})$$

Diese Messungen können leicht bis zu einer Entfernung von 30 Wellenlängen durchgeführt werden.

### Versuch 3: Interferenzen

Erforderliche Geräte:

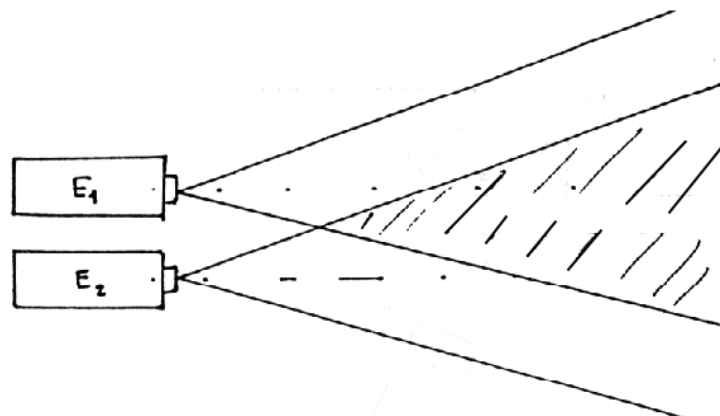
- 2 Sender
- 1 Empfänger
- 1 Steuergerät
- 1 Oszilloskop
- 1 Metall-Grundplatte

#### Versuchsanordnung:

*Vorsichtsmaßnahme:* Achten Sie darauf, dass die beiden Sender ein Signal mit gleicher Amplitude aussenden. Notfalls muss man mit Hilfe des sich am Gehäuse befindlichen Potentiometers einen Abgleich vornehmen.

Beide Sender werden parallel zueinander aufgestellt. Der Abstand sollte mindestens 30 mm betragen. Jeder Sender strahlt nun in einem konischen Bereich Schallwellen ab (s.u. Ausbreitung).

Das Interferenzgebiet beginnt ca. 10 cm vor den beiden Sendern.



Wenn man nun den Empfänger in das Interferenzgebiet stellt, kann man die einzelnen Amplitudenmaxima bestimmen. Dies geschieht durch Versetzen des Empfängers und dem Punktweisen Notieren der maximalen Amplituden. Da man die ausgesendete Wellenlänge

und die Abstände von Sendern und Empfänger zueinander kennt, kann man die Punkte auch leicht rechnerisch überprüfen.

Die stattfindende Überlagerung lässt sich leicht nachweisen, indem man den Empfänger an einen Punkt stellt, wo sich beide Signale gegenseitig auslöschen. Wenn man nun einen Finger vor einen der Sender setzt, erhält man ein Signal am Empfänger.

#### Versuch 4: Beugung

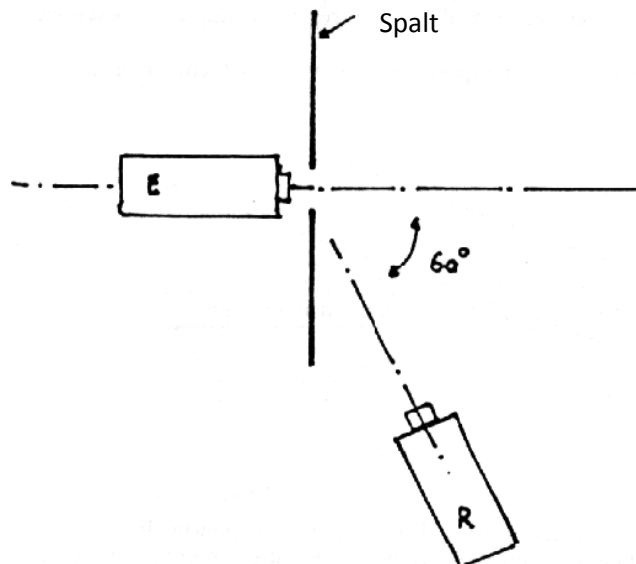
Erforderliche Geräte:

- 1 Sender
- 1 Empfänger
- 1 Steuergerät
- 1 Oszilloskop

#### Versuchsanordnung

Man stellt Sender und Empfänger in einem Winkel von mindestens  $60^\circ$  zueinander auf (s. Abb.)

Der Empfänger steht nun außerhalb des Ausbreitungskegels des Senders. Man erhält kein Signal. Nun wird ein Spalt mit einer Weite von 3 - 5 mm in einem Abstand von ca. 1 cm vor den Sender gesetzt. Die Schallwellen werden jetzt an diesem Spalt gebeugt. Der Empfänger zeigt ein Signal an, die Beugung ist dadurch bestätigt.



#### Bemerkungen

*Stehende Wellen:*

Dieser Versuch kann mit Hilfe einer Kundt'schen Röhre durchgeführt werden. Der Rohrdurchmesser (17 mm) ist bedeutend größer als die Wellenlänge bei Ausbreitung in der Luft. Die Wellen breiten sich jetzt in dem Rohr aus und es kommt zu vielfachen Überlagerungen durch Reflexion.

**Mögliche Einstellungen und Abgleiche:****1. Frequenzeinstellung**

Diese Einstellung sollte nur durchgeführt werden, wenn sie wirklich notwendig ist. Ein Potentiometer in dem Steuergerät ermöglicht den Abgleich der 40 kHz - Frequenz. Man sollte mit einem Funktionsgenerator eine Vergleichsmessung durchführen oder aber den Wert mit einem Frequenzmesser überprüfen.

**2. Einstellung der Amplitude der beiden Sender**

Jeder Sender besitzt am Gehäuse ein Potentiometer, mit dem die Amplitude der Schwingung beeinflusst werden kann. Dies ist insbesondere bei den Versuchen zur Interferenz hilfreich. Man stellt die piezoelektrischen Geber eines Empfängers und eines Senders direkt gegenüber. Nun kann man über ein Oszilloskop, das mit dem Empfänger verbunden wird, direkt die Höhe der Amplitude verfolgen. Diese Einstellung ist notwendig, um die leichten Abweichungen bei den verschiedenen Transduktoren auszugleichen, da der benutzte Frequenzbereich nicht der Resonanzfrequenz entspricht.

Anmerkung: In unseren Werkstätten ist dieser Abgleich bereits geschehen und er dürfte nach den ersten Versuchen nicht mehr notwendig sein.

**3. Einstellung der Empfindlichkeit der LED-Anzeige**

Diese Einstellung kann hilfreich sein, wenn man die Versuche nicht mit einem Oszilloskop durchführt. Denken Sie daran, dass Sie relativ schnell in den Sättigungsbereich kommen, wenn man größere Amplituden verwendet.

Wenn Sie Änderungs- und/oder Verbesserungsvorschläge haben, so können Sie uns diese gerne mitteilen.