

---

# US Ultraschall

## 1. Vorbereitung

Vorausgesetzt werden Kenntnisse über:

- Interferenz
- Huygens-Fresnelsches Prinzip
- Beugung am Gitter
- Phasengitter, Amplitudengitter
- Schwingungen von Stäben bei verschiedenen Randbedingungen, insbesondere Longitudinalschwingungen von Stäben
- Piezo-Effekt, inverser Piezo-Effekt
- Ferromagnetismus
- Hysterese
- Magnetostriktion

## 2. Literatur

Zu diesem Versuch liegt in der Fachbereichsbibliothek eine Praktikumsmappe aus. Zu allen Punkten, die unter Vorbereitung genannt sind, finden Sie in dieser Mappe oder der Versuchsanleitung geeignetes Arbeitsmaterial für eine gründliche Vorbereitung. Sie können aber selbstverständlich auch andere Bücher benutzen.

## 3. Motivation und Grundlagen

Ultraschallwellen finden in der heutigen Zeit vielfältig Anwendung, zum Beispiel als Sonar (Ortung und Hinderniserkennung durch Richtstrahlreflexion) oder in der Medizin (Messung von Gewebestärken aus der Laufzeit von Ultraschallwellen). Der Vorteil von Ultraschallwellen liegt in ihrer Wellenlänge und der daraus resultierenden Möglichkeit zur Bündelung und in ihrer Ungefährlichkeit.

Im Rahmen des Versuchs lernen Sie piezo- und magnetostriktive Ultraschallgeber kennen. Sie beschäftigen sich außerdem mit der Ausbreitung von Longitudinalwellen in Flüssigkeiten und Longitudinal- und Transversalwellen in Festkörpern. Schließlich bestimmen Sie Schallgeschwindigkeiten und leiten daraus elastische Koeffizienten für die Materialien ab.

Schallwellen stellen Ausbreitungsvorgänge elastischer Deformationen in Medien aller Aggregatzustände dar. Das elastische Verhalten eines Mediums kann allgemein durch den

Kompressionsmodul  $K$  und den Schubmodul  $G$  oder auch das Torsionsmodul beschrieben werden. Für Gase und Flüssigkeiten ist der Schubmodul immer gleich null, was zur Folge hat, dass sich in ihnen keine Transversalwellen, sondern lediglich Longitudinalwellen ausbilden können. Der Kompressionsmodul ist zwar auch für Festkörper definiert, hat aber nur geringe Bedeutung, da eine reine Kompression praktisch kaum auftritt. Vielmehr hat man es meistens mit einer Deformation in nur einer Richtung zu tun, die aber bei einem endlichen Festkörper immer mit einer Querdeformation gekoppelt ist. Aus diesem Grund treten hier neben Longitudinalwellen immer gleichzeitig Transversalwellen auf. Das Elastizitätsverhalten bei diesen Vorgängen wird durch den Elastizitätsmodul  $E$  beschrieben. Für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schallwellen gilt:

$$\begin{aligned} \text{in Festkörpern (Longitudinalwellen):} \quad v &= \sqrt{\frac{E}{\rho}} \\ \text{in Flüssigkeiten:} \quad v &= \sqrt{\frac{K}{\rho}} \\ \text{in Gasen:} \quad v &= \sqrt{\frac{K}{\rho}} = \sqrt{\frac{P\kappa}{\rho}} \end{aligned}$$

mit:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v}: \quad \text{Adiabatexponent}$$

$\rho$ : Dichte

$P$ : Druck

$E$ : Elastizitätsmodul

$K$ : Kompressionsmodul

Die Schallgeschwindigkeiten liegen etwa zwischen 200 m/s (in Gasen) und 4000 m/s (in Festkörpern). Für den Bereich des Ultraschalls (20 kHz bis 200 MHz) ergeben sich daraus Wellenlängen von 20 cm bis herab zu 1  $\mu\text{m}$ , also gerade bis in die Größenordnung der Wellenlänge des sichtbaren Lichtes (400..700 nm). Aus der Optik ist bekannt, dass an Objektstrukturen, deren Größe mit der Lichtwellenlänge vergleichbar ist, Beugung beobachtet werden kann.

## 4. Debye-Sears-Effekt

### 4.1. Beugung von Lichtwellen an Ultraschallwellen als Phasengitter

Beugungsgitter werden in Amplituden- und Phasengitter unterteilt. Beim Amplitudengitter wird die Amplitude einer durchtretenden Lichtwelle in regelmäßig angeordneten Bereichen (z.B. lichtundurchlässige Streifen) abgeschwächt, so dass sich direkt hinter dem Gitter eine periodische Amplitudenverteilung ergibt. Beim Durchgang einer Lichtwelle durch ein reines Phasengitter wird die Amplitude nicht verringert (d.h. das Gitter ist für das Auge transparent). Durch einen ortsabhängigen Brechungsindex wird hier aber die Phase der Lichtwelle

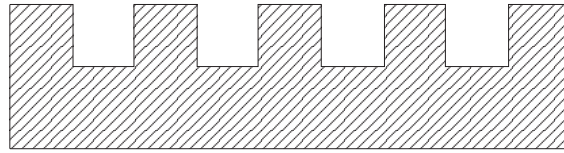


Abbildung US.1: Glasplatte mit periodischer Struktur als Phasengitter

unterschiedlich beeinflusst, so dass sich direkt hinter dem Gitter eine periodische Phasenverschiebung ergibt.

Ob ein Gitter als Amplituden- oder Phasengitter wirkt (in der Praxis treten oft beide Effekte nebeneinander auf), lässt sich an dem auftretenden Beugungsmuster nicht ohne weiteres erkennen, denn für beide Typen gilt für die Winkel, unter denen Intensitätsmaxima auftreten:

$$\sin\varphi_k = \frac{k\lambda}{d} \quad \text{für } k = 0, 1, 2, \dots; \quad d = \lambda_{\text{Ultraschall}} \quad (\text{US.1})$$

Eine in einer Flüssigkeit laufende Ultraschallwelle stellt eine elastische Welle dar, bei der in regelmäßigen Abständen Verdichtungen und Verdünnungen hintereinander her laufen. Der Abstand zweier aufeinanderfolgender Verdichtungen entspricht der Wellenlänge der Schallwelle. Für einen bestimmten Zeitpunkt betrachtet hat die Flüssigkeit in Ausbreitungsrichtung der Schallwelle eine periodisch veränderliche Dichte und damit auch einen periodisch veränderlichen Brechungsindex. Vergleichen Sie den Effekt mit einer durchsichtigen Platte, deren eine Oberfläche eine periodische Struktur aufweist (Abb. US.1).

Auf eine senkrecht dazu durchtretende Lichtwelle wirkt diese Anordnung als Phasengitter. Da die Schallwelle sich aber im Laufe der Zeit fortpflanzt, stellt sie ein sich mit Schallgeschwindigkeit verschiebendes Phasengitter dar. Aufgrund von Brechung des Lichtes in den Flüssigkeitsbereichen, in denen sich durch die Schallwelle Dichtegradienten ausbilden (nicht aufgrund von Amplitudenschwächung!), kann sich zusätzlich noch eine Wirkung als Amplitudengitter ergeben. Die Bewegung des Phasengitters kann bei Beobachtung der Fraunhofer-Beugung (d.h. auf einem Schirm, der sehr weit vom Gitter entfernt ist) vernachlässigt werden. Der auftretende Doppler-Effekt ist wegen des großen Unterschiedes zwischen der Licht- und der Schallgeschwindigkeit sehr klein. Diese Beugungserscheinung von Lichtwellen an Ultraschallwellen (erstmalig 1932 von Debye und Sears beobachtet) ermöglicht eine einfache und genaue Messung der Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten. Bei bekannter Dichte der Flüssigkeit kann daraus der Kompressionsmodul bestimmt werden.

#### 4.2. Erzeugung von Ultraschallwellen durch einen Piezo-Kristall

Schallwellen werden durch Schwingungen von Festkörpern erzeugt. Im US-Gebiet finden neben magnetostriktiven hauptsächlich piezoelektrische US-Quellen Verwendung. Um die Vorgänge bei der Erzeugung von US-Wellen durch einen Piezo-Kristall (meistens Quarz) zu verstehen, muss man von den Schwingungseigenschaften des Quarzschwingers ausgehen. In unserem Fall handelt es sich um eine Quarzscheibe, die hier als ein (wenn auch kurzer) Stab betrachtet wird. Dieser kann neben anderen Schwingungsformen auch Longitudinalschwingungen ausführen, deren genauere Form von der Art seiner Halterung abhängig ist. Alle auftretenden Eigenschwingungen können als stehende Schallwellen in ihm betrachtet werden.

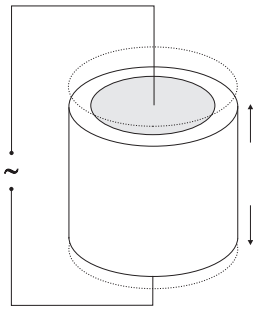


Abbildung US.2: Der Piezoeffekt

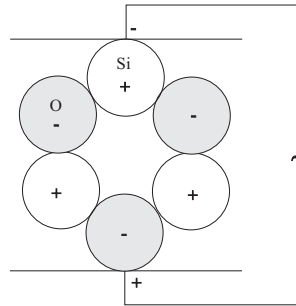
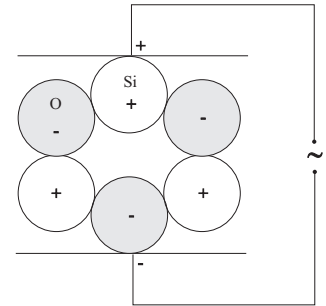


Abbildung US.3: Der piezoelektrisch ange-regte Quarz



Oberhalb einer Grundfrequenz sind weitere diskrete Eigenfrequenzen möglich. Schwingt der Stab mit *einem freien und einem festen* Ende, so verhalten sich die Wellenlängen  $\lambda_k$  der Eigenschwingungen ( $k = 0$ : Grundschiwingung,  $k = 1$ : erste Oberschiwingung usw.) zur Länge  $l$  des Stabes folgendermaßen:

$$l = (2k + 1) \frac{\lambda_k}{4} \tag{US.2}$$

Mit  $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  für Festkörper und  $v = \lambda \nu$  ergibt sich für die Eigenfrequenzen:

$$\nu_k = \frac{2k + 1}{4l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \tag{US.3}$$

Legt man an einen Schwingquarz eine hochfrequente Wechselspannung an, wird dieser durch den inversen longitudinalen Piezo-Effekt zu erzwungenen Schwingungen angeregt. Bei Annäherung der anregenden Frequenz an eine Eigenfrequenz nimmt die Schwingungsamplitude stark zu (Resonanz). Resonanz tritt aber nur bei den Eigenschwingungen auf, bei denen die Enden des Stabes wie bei der piezoelektrischen Anregung gegeneinander gerichtet schwingen (Grundschiwingung und geradzahligem Oberschiwingungen).

Die Beugung von Lichtwellen an den US-Wellen lässt sich am besten in der Nähe der Resonanzfrequenzen des Piezo-Quarzes beobachten (die Amplitude des Quarzes und damit auch die der US-Wellen ist maximal). Allerdings tritt bei hohen Amplituden des Quarzes und Frequenzen über 1 MHz im Resonanzmaximum der „Quarzwind“ als störender Nebeneffekt auf. Er kann aber zur Bestimmung der Resonanzfrequenzen ausgenutzt werden.

Der Quarzwind stellt eine von einem schwingenden Quarz in Flüssigkeiten oder Gasen hervorgerufene, vom Quarz weggerichtete Strömung der Flüssigkeit oder des Gases dar. Sie wird durch eine Pumpwirkung des Quarzes verursacht. Bei der Dilatation des Quarzes wird die vor ihm befindliche Flüssigkeit weggestoßen und komprimiert. Bei sehr schneller Kontraktion des Quarzes kann die komprimierte Flüssigkeit nicht schnell genug wieder expandieren, so dass eine Verdünnung entsteht, in die von der Seite her Flüssigkeitsteilchen nachfließen. Bei der erneuten Ausdehnung werden auch diese Teilchen mit nach vorne weggestoßen.

Durch die permanente Wiederholung des Vorgangs ergibt sich die Pumpwirkung.

Mit der dadurch hervorgerufenen Strömung in der Flüssigkeit oder im Gas ist eine Schlierenbildung verbunden. In Bereichen, in denen verschieden schnell strömende Flüssigkeitsteilchen aneinander vorbei gleiten, tritt senkrecht zur Strömungsrichtung ein Dichtegradient und damit ein Gradient des Brechungsindex auf. Diese Schlieren lassen sich optisch einfach durch die Schatten- oder Schlierenmethode nachweisen:

Wird mit einer punktförmigen Lichtquelle ein Schattenbild einer ruhenden Flüssigkeit auf eine Wand projiziert, ergibt sich überall gleichmäßige Intensität. Treten nun Schlieren auf, wird in der Schliere das Licht aus seiner ursprünglichen Ausbreitungsrichtung herausgebrochen und auf dem Schirm erscheint ein, dem Verlauf der Schliere entsprechender, dunkler Bereich, dem ein Streifen erhöhter Intensität an einer anderen Stelle des Schirmes zugeordnet ist.

**Hinweis:** Der nicht aufgeweitete oder ungeschwächte Laserstrahl darf unter keinen Umständen Ihr ungeschütztes Auge treffen!

### 4.3. Versuchsdurchführung und Aufgaben

Als Lichtquelle wird ein He-Ne-Laser ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ) verwendet. Der Schwingquarz befindet sich in einer Küvette, die mit Ethanol gefüllt wird.

1. **Ausmessung der Resonanzfrequenzen des Schwingquarzes** mit Hilfe des Schlierenverfahrens. Hierzu wird zwischen Laser und Küvette eine Linse mit kleiner Brennweite so eingebracht, dass ein Schatten der Küvette an die Wand geworfen wird. Zur Bestimmung der Resonanzfrequenzen des Quarzes wird die Anregungsfrequenz langsam über den ganzen zur Verfügung stehenden Bereich verändert und der sich ausbildende Quarzwind beobachtet. Durch einfaches Verschieben der Linse lässt sich auf dem Schirm das durch die Beugung an der Ultraschallwelle entstehende Beugungsbild beobachten. Wie ändert sich dieses Beugungsbild, wenn man nicht mit der Resonanzfrequenz erregt? Wie groß ist der Fehler bei der Bestimmung der Resonanzfrequenz?
2. **Bestimmung der Dicke des Quarzes** aus den in 1. gemessenen Resonanzfrequenzen. Beachte: der Piezo ist einseitig eingespannt! Fehlerrechnung!
3. **Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und des Kompressionsmoduls in Ethanol** aus der Beugung von Lichtwellen an den Ultraschallwellen.  
Dazu wird jeweils bei den Resonanzfrequenzen das Fraunhofer-Beugungsbild ausgemessen. Dazu bringt man in großem Abstand hinter der Küvette einen Beobachtungsschirm an. Dieser Schirm ist mit einem Fadenkreuz versehen und lässt sich über eine Mikrometerschraube verschieben. Für die kleinen auftretenden Beugungswinkel liegen die Intensitätsmaxima in guter Näherung äquidistant. Durch Verschieben des Schirmes über das Beugungsbild kann die Lage der Intensitätsmaxima bestimmt werden.  
Die Bestimmung des Abstandes der einzelnen Maxima erfolgt zweckmäßigerweise so, dass die Distanz über mehrere Maxima gemessen wird und anschließend durch die

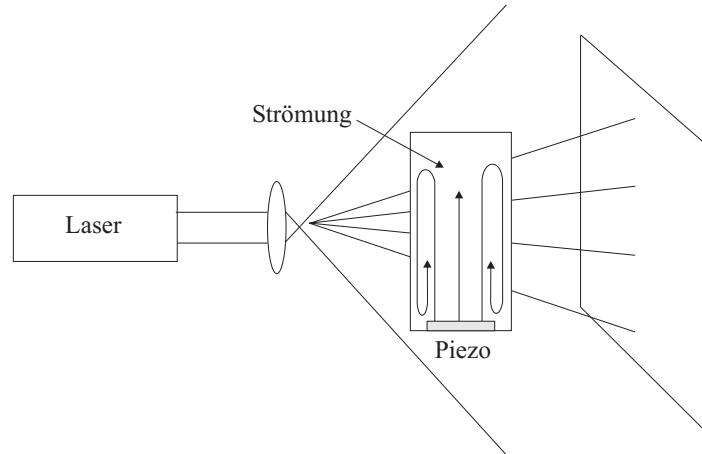


Abbildung US.4: Schattenwurf bei der Schlierenmethode

entsprechende Anzahl (der Zwischenräume) geteilt wird. Die Breite der Maxima kann zur Abschätzung des Fehlers herangezogen werden. Aus den Abständen der Maxima wird die Gitterkonstante des Beugungsgitters und mit der in 1. gemessenen Frequenz die Schallgeschwindigkeit und das Kompressionsmodul berechnet. Fehlerrechnung!

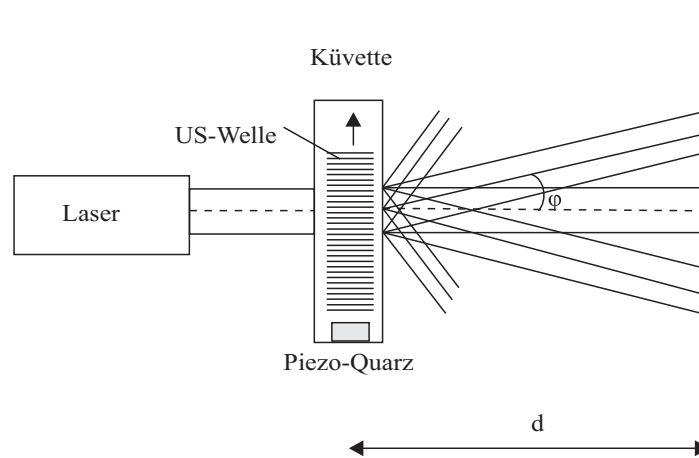


Abbildung US.5: Ultraschallwelle als beugendes Gitter

4. Erklären Sie am Beispiel einer stehenden Schallwelle in welchem Zusammenhang Auslenkung und Dichte stehen. Zeichnen Sie deren Verlauf über eine volle Periode auf ( $t = 0, T/4, T/2, 3T/4, T$ ). Wo sind die Orte größter Dichteänderungen?

**Daten:**

- Dichte von Quarz:  $\rho = 2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
- Dichte von Ethanol:  $\rho = 0,79 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
- Elastizitätsmodul von Quarz:  $E = 8,6 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- Wellenlänge des Lasers:  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$

**5. Magnetostriktion**

Dieser Versuch kann alternativ zum Versuchsteil Longitudinal- und Transversalwellen in Aluminium durchgeführt werden.

Ein magnetostriktiver Ultraschallgeber besteht aus einem Stab aus ferromagnetischem Material, welcher sich innerhalb einer Spule befindet. Fließt ein Strom durch die Spule, wird ein Magnetfeld parallel zum Stab erzeugt und der Stab wird länger (z.B. Stahl) oder kürzer (z.B. Nickel). Die elastische Verformung  $\epsilon$  ist für einen freien Stab gegeben durch

$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\kappa \Gamma}{E} H \quad (\text{US.4})$$

- $l$  = Länge des Stabes
- $\Delta l$  = Längenänderung des Stabes
- $E$  = Elastizitätsmodul des Stabes
- $H = \frac{N}{L} I$  magnetische Feldstärke einer langen Spule
- $N$  = Windungszahl der Spule
- $L$  = Länge der Spule
- $I$  = Strom durch die Spule
- $\kappa \Gamma$  = Magnetostruktionskonstante

Ein ferromagnetisches Material zeigt Kristallbereiche gleicher Magnetisierung, die Weiss-Bereiche genannt werden. Die Weiss-Bereiche sind durch Blochwände getrennt, die sich unter Einwirkung eines Magnetfeldes so bewegen, dass Weiss-Bereiche mit Einstellrichtung parallel zum Magnetfeld auf Kosten anderer wachsen. Die Magnetostriktion wird durch die mit zunehmendem Magnetfeld eintretende Ausrichtung der Weisschen Elementarbezirke und eine damit verbundene Verzerrung des Gitters hervorgerufen. Das Vorzeichen des Magnetfeldes spielt dabei keine Rolle. Der Effekt ist abhängig von der magnetischen Vorbehandlung und der Temperatur des Materials.

Bei Anlegen einer Wechselspannung wechseln die Richtung und Stärke des äußeren Magnetfeldes und damit die Größe der Weisschen Bezirke mit Einstellrichtung in  $\vec{B}$ -Richtung periodisch. Der Stab schwingt daher in Längsrichtung parallel zum Magnetfeld. Die Schwingungsamplitude des magnetostriktiven Schwingers erreicht ein Maximum, wenn die Frequenz des Wechselstroms mit der elastischen Eigenfrequenz des Stabes zusammenfällt. Die elastischen Eigenfrequenzen des Stabes sind durch Gl. (US.2) gegeben.

Auch der magnetostriktive Effekt ist umkehrbar: Eine mechanische Beanspruchung eines ferromagnetischen Werkstoffs ruft eine Magnetisierung hervor. Die höchsten mit einiger Intensität erreichbaren Frequenzen liegen bei 60 kHz.

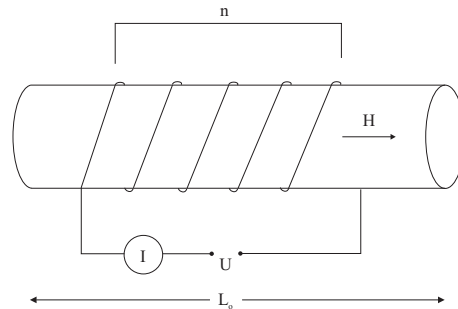


Abbildung US.6: Magnetostriktiver Ultraschallgeber

### 5.1. Versuchsdurchführung und Aufgaben

Der Nickelstab im Feld der Spule ist an einem Ende fest eingespannt, so daß die gesamte Verformung am anderen Ende der Spule abgelesen werden kann.

1. Netzgerät einschalten und auf 1 A hochregeln. Wie groß ist dabei die relative Längenänderung? Anschließend herunterregeln und umpolen. Der Nickelstab ist jetzt vormagnetisiert und die folgenden Messreihen können somit bei gleicher magnetischer Vorbehandlung des Stabes durchgeführt werden.
2. Der Spulenstrom wird von 0 A in 0,1 A Schritten auf 1 A hochgeregelt, wobei die Längenänderung mit Hilfe der Messuhr bestimmt wird. Anschließend wird der Strom auf 0 A zurückgeregelt, umgepolt und erneut bis 1 A die Längenänderung gemessen. Wie groß ist der Fehler bei der Längenmessung?
3. Zeichnen Sie die Längenänderung  $\Delta l$  als Funktion des Spulenstromes  $I$  für beide Messreihen in zwei getrennte Diagramme (mit Fehlerbalken). Zwischen 0,2 A und 0,6 A ändert sich die Länge des Nickelstabes angenähert linear mit dem Spulenstrom bzw. dem Magnetfeld. Berechnen Sie aus der maximalen und minimalen Steigung von  $\Delta l$  über  $I$  die Magnetostriktionskonstante  $\kappa \Gamma$  für Nickel. Fehlerabschätzung!
4. Wie groß ist das Verhältnis Erregerfrequenz zu Ultraschallfrequenz bei magnetostriktiven Ultraschallsendern. Wie lässt sich ein Verhältnis von 1:1 erreichen?

5. Wie groß ist die Grundfrequenz des gegebenen Nickelstabes? Wie lang muss der Nickelstab sein, damit man eine Grundfrequenz von 60 kHz erhält?
6. Wodurch ist für magnetostruktive Erreger eine obere Grenzfrequenz von etwa 60 kHz gegeben?
7. Nennen Sie fünf Anwendungsbeispiele für den Ultraschall.

## Daten

- Windungszahl der Spule:  $N = 5390$
- Länge der Spule:  $L = 39,7 \text{ cm}$
- Länge des Stabes:  $l = 44 \text{ cm}$
- Elastizitätsmodul von Nickel:  $E = 22,63 \cdot 10^{10} \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$
- Dichte von Nickel:  $\rho = 8,88 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

## 6. Longitudinal- und Transversalwellen in Aluminium

### 6.1. Messprinzip und Theorie

Dieser Versuch kann alternativ zum Versuchsteil Magnetostruktion durchgeführt werden.

Mit Hilfe eines Ultraschallechoscops (GAMPT) sollen die Anregung und Ausbreitung von Ultraschallwellen in Festkörpern untersucht werden. Dabei sollen die zusätzliche Anregung von transversalen Wellenmoden bei schrägem Einfall aus einer Flüssigkeit auf eine planparallele Aluminium-Platte erkannt und die Schallgeschwindigkeiten für die longitudinale und transversale Komponenten bestimmt werden. Aus dem Zusammenhang zwischen den elastischen Koeffizienten des Materials und seinen Schallgeschwindigkeiten kann die Größe der Koeffizienten ermittelt werden.

#### **Aufbau des Transversalwellensets, Anschluss der Geräte und AScan Software:**

Der Aufbau des Transversalwellensets ist schematisch in Abb. US.7 dargestellt. Das Transversalwellenset besteht aus der Messwanne, zwei Sondenhalterungen und den Aluminium-Messproben mit Winkelskala. Die Ultraschallsonden (1 MHz) werden durch die Sondenhalterungen gesteckt und mit einem Tropfen Ultraschallgel an die Wanne angekoppelt.

Das Echoskop ist mittels eines USB-Kabel mit einem Computer verbunden. Die Ultraschallsonden werden mit den Buchsen PROBE (Reflection) = Receiver (Empfänger) und PROBE (Transmission) = Transmitter (Sender) verbunden. Die Anordnung erfolgt dabei entsprechend Abb. US.8. Der Schalter muss in Stellung TRANS (Transmissionsmessung) stehen. Die Software dient zum Aufnehmen, Anzeigen und Auswerten der Daten. Ist das Gerät eingeschaltet, so wird nach dem Start der Software das Gerät und die Schnittstelle automatisch

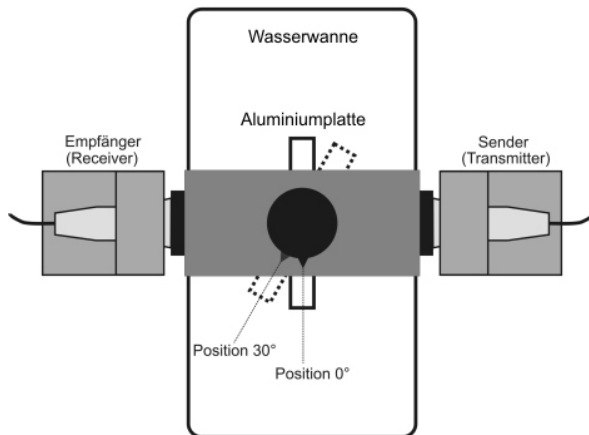


Abbildung US.7: Schematischer Messaufbau mit Darstellung der Winkelpositionen.

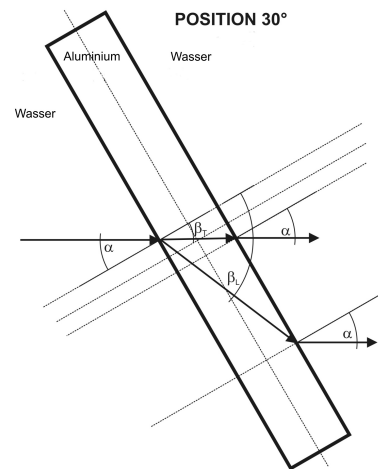


Abbildung US.8: Schematische Darstellung des Brechungsgesetzes:  $\beta_L$ : Brechungswinkel für die Longitudinalwelle,  $\beta_T$ : Brechungswinkel für die Transversalwelle.

erkannt und es erscheint der Hauptschirm mit dem A-Bild Signal im oberen Fenster. Die Messcursoren können mit der PC-Maus bewegt und Amplitude und Laufzeit abgelesen werden.

### Theorie

In der Flüssigkeit können sich nur longitudinale Ultraschallwellen mit messbarer Amplitude ausbreiten. Beim Auftreffen auf die Oberfläche werden Teile der Schallwelle in den Festkörper überführt, andere reflektiert. Reflektions- und Transmissionskoeffizient werden durch die Impedanzunterschiede zwischen Flüssigkeit und Festkörper bestimmt. Eine schräg auf die Oberfläche aus einer Flüssigkeit einfallende Ultraschallwelle bewirkt zusätzlich Scherkräfte auf diese. Im Inneren des Festkörpers bildet sich eine Scherwelle aus, die auf der gegenüberliegenden Seite den Festkörper teilweise wieder als longitudinale Schallwelle verlässt (Abb. US.8).

Der Schallverlauf in der Platte ergibt sich nach dem Brechungsgesetz:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_W}{c} \quad (\text{US.5})$$

$\alpha$  = Einfallswinkel

$\beta$  = Brechungswinkel

$c_W$  = Schallgeschwindigkeit in Wasser

$c$  = longitudinale oder transversale Schallgeschwindigkeit im Festkörper

Experimentell beobachtet man bei senkrechtem Einfall der Schallwelle (Nullstellung) nur ein Echo aufgrund der longitudinalen Komponente. Durch Verdrehen der Materialprobe wird die Amplitude der longitudinalen Schallwelle kleiner bis sie beim Winkel der Totalreflektion

$\beta = 90^\circ$  ganz verschwindet. Transversale Anteile treten nur bei schrägem Einfall auf. Da die transversale Schallgeschwindigkeit kleiner ist als die longitudinale, können die einzelnen Komponenten gut durch ihre Laufzeitunterschiede getrennt werden. Bei weiter fortschreitender Drehung wird nach Erreichen eines Maximums auch die Amplitude der transversalen Komponente wieder kleiner, bis sie beim Winkel der Totalreflektion (falls er erreicht wird) ebenfalls ganz verschwindet. Die Scherwelle erreicht ihr Maximum [V.A.Sutilov, Physik des Ultraschalls, Akademie-Verlag Berlin, 1984, S. 228] bei einem Brechungswinkel  $\beta = 45^\circ$ .

Aus den ermittelten Schallgeschwindigkeiten für die longitudinale ( $c_L$ ) und transversale ( $c_T$ ) Komponente lassen sich die elastischen Koeffizienten des Material wie folgt bestimmen:

$$c_T = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (\text{US.6a})$$

$$\frac{c_L}{c_T} = \sqrt{\frac{2(1-\mu)}{1-2\mu}} \quad (\text{US.6b})$$

$$c_L = \sqrt{\frac{E}{\rho(1+\mu)} \frac{1-\mu}{1-2\mu}} \quad (\text{US.6c})$$

$E$  = Elastizitätsmodul Aluminium

$G$  = Schermodul Aluminium

$\mu$  = Poissonzahl bzw. Querkontraktionszahl Aluminium

$\rho$  = Dichte Aluminium

## 6.2. Versuchsdurchführung und Aufgaben

1. Koppeln Sie beide Sonden blasenfrei an die Wasserwanne mit einem Tropfen Ultraschallgel an. Bei exakter Ausrichtung der Sonden wird ein maximales Signal erreicht. Mit Hilfe der Sende- und Empfangsverstärkung wird die maximale Signalamplitude ohne Übersteuerung eingestellt. Die TGC (Time-Gain-Control) darf nicht verwendet werden (alle Knöpfe auf Linksanschlag), da sich die Signallaufzeit während des Versuches ändert.
2. Platzieren sie die Materialprobe mittig zwischen den Sonden (siehe Abb. US.7). Bei guter senkrechter Ausrichtung=Maximalstellung sind die Mehrfachreflexe besonders gut ausgeprägt. Eventuelle Abweichungen von der  $0^\circ$  Stellung der aufgebrachten Winkelskala müssen bei weiteren Messungen addiert oder subtrahiert werden. Es wird der Drehwinkel relativ zur Maximalstellung gemessen.
3. Bestimmen Sie die Schallamplitude einer Ultraschallwelle beim Durchgang durch eine Aluminiumplatte (Transmissionsmessung) in Abhängigkeit vom Einfallswinkel für die longitudinale und transversale Komponente und stellen sie die Ergebnisse in einem Diagramm zusammen. Der Einfallswinkels wird in  $2.5^\circ$  Schritten bis  $30^\circ$  erhöht.

4. Ermitteln Sie aus den Messkurven die longitudinale und transversale Schallgeschwindigkeit in Aluminium mit Hilfe des Brechungsgesetzes (Gl. US.5) aus dem Winkel der Totalreflexion ( $\beta = 90^\circ$ ), der durch Extrapolation der Amplituden zur Nulllinie ermittelt wird.
5. Ermitteln Sie aus den Messkurven die transversale Schallgeschwindigkeit in Aluminium mit Hilfe des Brechungsgesetzes (Gl. US.5) aus dem Winkel des Amplitudenmaximums ( $\beta = 45^\circ$ ).
6. Berechnen Sie aus den transversalen und longitudinalen Schallgeschwindigkeiten die elastischen Koeffizienten für Aluminium nach den Gleichungen US.6.
7. **Achtung:** Nach Benutzung des Transversalwellensets sind Sonden und Wanne von Ultraschallgelresten zu säubern. Dazu Wasser oder Seifenlösung mit einem weichen Tuch (Papier) benutzen. Niemals Alkohol oder andere lösungsmittelhaltige Reiniger verwenden.

### Daten

- Schallgeschwindigkeit von Wasser:  $c_W = 1480 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
- Dichte Aluminium:  $\rho = 2,7 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
- Schallgeschwindigkeiten Aluminium aus der Literatur:  
 $c_L = 6320 - 6420 \frac{\text{m}}{\text{s}}; c_T = 3040 - 3160 \frac{\text{m}}{\text{s}}$