

TU Dortmund

# US1 - Grundlagen der Ultraschalltechnik

Markus Stabrin  
markus.stabrin@tu-dortmund.de

Kevin Heinicke  
kevin.heinicke@tu-dortmund.de

Versuchsdatum: 18. Juni 2013

Abgabedatum: 25. Juni 2013

# 1 Einleitung

Die Ultraschalltechnik findet eine weit verbreitete Anwendung. Sie wird häufig im medizinischen Bereich zur Diagnostik, sowie im technischen Bereich zur Materialanalyse benutzt. Die grundlegende Funktionsweise dieser Technik soll hier näher untersucht werden.

## 2 Theorie

Schall bezeichnet im Allgemeinen Druckveränderungen in einem Medium. In Luft und Flüssigkeiten breiten sich diese Druckveränderungen als Longitudinalwellen aus. Die Frequenz  $\nu$  dieser Wellen wird in vier Bereiche unterteilt. Der menschlichen Hörbereich liegt in etwa bei  $\nu = 16 \text{ Hz}$  bis  $\nu = 20 \text{ kHz}$ . Bis zu einer Frequenz von etwa  $\nu = 1 \text{ GHz}$  werden Schallwellen als Ultraschall bezeichnet. Bei noch höheren Frequenzen handelt es sich um Hyperschall. Der Bereich unter  $\nu = 16 \text{ Hz}$  wird als Infraschall bezeichnet.

### 2.1 Ausbreitung von Schallwellen

Eine eindimensionale Schallwelle  $p$ , die sich in  $x$ -Richtung ausbreitet wird beschrieben durch

$$p(x, t) = p_0 + v_0 Z \cos(\omega t - kx). \quad (1)$$

Dabei bezeichnet  $p_0$  den Normaldruck,  $v_0$  die Schallschnelle und  $Z = \rho c$  die akustische Impedanz mit der Dichte  $\rho$  des durchstrahlten Materials und der Schallgeschwindigkeit  $c$ .

Für die Schallgeschwindigkeit  $c_{\text{fl}}$  in Flüssigkeiten und Gasen gilt der einfache Zusammenhang

$$c_{\text{fl}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \rho}}, \quad (2)$$

Mit der Kompressibilitätszahl  $\kappa$ .

In Festkörpern ist hängt die Schallgeschwindigkeit auf kompliziertere Art und Weise von der Beschaffenheit des Materials ab. Auf Grund der inneren Struktur und den daraus resultierenden Schubspannungen kann eine Schallwelle auch transversale Anteile enthalten. Die Schallgeschwindigkeit unterscheidet sich dann für die transversale und die longitudinale Welle. Für den Longitudinalanteil der Welle gilt mit dem Elastizitätsmodul  $E$  des Festkörpers

$$c_{\text{fe}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (3)$$

Auf dem Weg durch ein Material nimmt die Amplitude der Schallwelle exponentiell, abhängig vom Absorptionskoeffizienten  $\alpha$ , ab:

$$I(x) \propto e^{\alpha x}. \quad (4)$$

Wie bei elektromagnetischen Wellen werden Schallwellen an Grenzflächen ebenso reflektiert oder transmittiert. Bezeichnen  $Z_1$  und  $Z_2$  die akustischen Impedanzen der beteiligten Materialien, gilt für den Reflexionskoeffizienten  $R$  und den Transmissionskoeffizienten  $T$ :

$$R = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2, \quad (5)$$

$$T = 1 - R. \quad (6)$$

## 2.2 Erzeugung von Ultraschall

Für die Erzeugung von Ultraschallwellen kann der reziproke piezzo-elektrischen Effekt genutzt werden. Ein piezzo-elektrischer Kristall, wie zum Beispiel Quarz, besitzt die Eigenschaft, sich unter Einwirkung eines elektrischen Feldes zu verformen. In Umkehrung induziert dieser Kristall bei einer Krafteinwirkung ein elektrisches Feld.

Wird ein solcher Kristall nun mit einem elektrischen Wechselfeld angeregt, emittiert er je nach Frequenz des Feldes Ultraschall. Bei Resonanz können damit große Ultraschallamplituden erzeugt werden.

Umgekehrt kann das Feld, welches der Kristall bei Ultraschalleinstrahlung erzeugt, gemessen werden, sodass er als Sender und Empfänger dient.

## 2.3 Ultraschallverfahren

Zunächst werden zwei Verfahren der Ultraschalltechnik vorgestellt. Beide Verfahren nutzen aus, dass Schall an Störstellen in einem Medium (z.B. Verschmutzungen, Materialfehler) reflektiert und teilweise absorbiert wird.

- Beim *Durchschallungsverfahren* wird die Probe zwischen eine Sender- und eine Empfängersonde gespannt. Nachdem der Sender einen Schallimpuls erzeugt, trifft dieser Impuls nach einer gewissen Zeit  $t$  auf den Empfänger. Die Intensität des empfangenen Impulses sinkt mit der Größe der Probe. Zudem wird sie verkleinert, falls der Schallimpuls in der Probe auf eine Störstelle trifft.
- Der Sender dient beim *Impuls-Echo-Verfahren* auch als Empfänger. Nachdem ein Schallimpuls gesendet wird, wird die Laufzeit  $t$  und die Intensität des reflektierten Impulses gemessen. Mit Kenntnis der Schallgeschwindigkeit  $c$  in der untersuchten Probe lässt sich der Abstand  $s$  der Störstelle zur Sonde bestimmen:

$$s = \frac{1}{2}ct. \quad (7)$$

Die Laufzeitdiagramme, die durch die genannten Ultraschallverfahren aufgenommen werden, lassen sich wiederum auf verschiedene Weise auswerten. In der Medizin gibt es drei unterschiedliche Darstellungsarten:

- Mit dem Amplituden-Scan (*A-Scan*) wird die Echoamplitude gegen die Laufzeit aufgetragen.
- Der Brightness-Scan (*B-Scan*) stellt die Echoamplituden in Farbstufen dar. Durch Bewegung der Sonde kann dadurch ein zweidimensionales Bild erzeugt werden.
- Der Time-Motion-Scan (*TM-Scan*) nimmt durch eine schnelle Abtastung der Probe, bzw. des zu untersuchenden Körperteiles eine zeitliche Bildfolge auf, wodurch sogar Bewegungen innerhalb der Probe sichtbar gemacht werden können.

### 3 Versuchsaufbau

Zu diesem Versuch liegen Ultraschallsonden bereit, die jeweils verschiedene Frequenzen liefern. Sie betragen  $\nu_1 = 1 \text{ MHz}$ ,  $\nu_2 = 2 \text{ MHz}$  und  $\nu_4 = 4 \text{ MHz}$ . Die Sonden können je als Empfangs- und Sendeteil genutzt werden und sind über ein Steuergerät mit einem Computer verbunden.

Dieser zeigt ein Amplituden-Laufzeit-Diagramm der aktiven Sonde an (A-Scan) oder kann bei Bewegung der Sonde ein Bild aufnehmen (B-Scan). Dabei kann am Steuergerät gewählt werden, ob das Impuls-Echo-Verfahren oder das Durchschallungsverfahren mit einer bzw. zwei identischen Sonden genutzt werden soll. Zudem lässt sich am Steuergerät ein Verstärkungssignal zuschalten, um auch schwache Amplituden erkennen zu können.

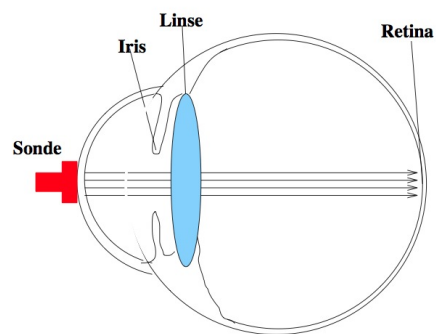


Abbildung 1: Aufbau des Augenmodells

Die Zu untersuchenden Proben bestehen aus Acrylglas. Um eine Luftschicht zwischen Sonde und Probe zu verhindern, wird eine Ultraschallsalbe oder Wasser als Übergangsmedium verwendet.

Durch einen großen Absorptionskoeffizienten  $\alpha$  würde die Amplitude in der Luftschicht sonst zu stark abnehmen und der Schall kann nicht in die Probe eindringen.

Zusätzlich zu den Acrylkörpern soll ein Modell des menschlichen Auges untersucht werden. Dieses besitzt eine Glaslinse und ist mit Flüssigkeit gefüllt. Abbildung 1 verdeutlicht den Aufbau.

## 4 Durchführung

Zunächst wird die Schallgeschwindigkeit in Acrylglas bestimmt. Dazu werden drei Acrylzylinder unterschiedlicher Höhe jeweils mit jeder Sonde und einmal mit dem Durchschallungsverfahren, sowie dem Impuls-Echo-Verfahren untersucht. Beim Impuls-Echo-Verfahren wird die Laufzeit  $t$  des Echos der Rückwand gemessen und es gilt für die Höhe

$$h_{\text{IE}} = \frac{1}{2}ct. \quad (8)$$

Bei Durchschallungsverfahren fällt der Faktor  $1/2$  weg, da das Signal direkt gemessen wird:

$$h_{\text{D}} = ct. \quad (9)$$

Mit Kenntnis der Höhe  $h$  kann dann die Schallgeschwindigkeit  $c$  im Acrylglas bestimmt werden.

Anschließend wird ein Acrylblock mit verschiedenen Bohrungen untersucht. Durch Nutzung des Impuls-Echo-Verfahrens wird dabei mit einem A-Scan der Abstand der Bohrungen zur Oberfläche des Glases bestimmt. Durch Messungen, ausgehend von Ober- und Unterseite kann dann der Durchmesser der Bohrungen bestimmt werden. Abbildung 2 zeigt schematisch den Aufbau der Probe.

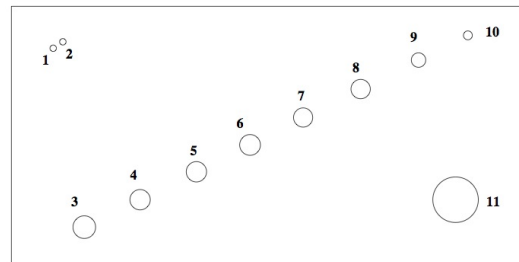


Abbildung 2: Aufbau der gestörten Probe

Zusätzlich zum A-Scan wird hier ein B-Scan durchgeführt. Bei langsamer Bewegung der Sonde über eine Seite der Probe kann so die Lage der Bohrungen visualisiert werden. Hier werden alle drei Sonden benutzt und die entsprechenden Bilder werden verglichen.

Schließlich wird ein Modell des menschlichen Auges mit Hilfe der Ultraschallsonden vermessen. Durch den inneren Aufbau des Modells sind insgesamt vier Amplitudenpeaks zu erwarten, die durch Reflexion entstehen. Der erste Peak entspricht dabei einer Reflexion an der Iris, der zweite und dritte Peak einer Reflexion an der Vorder- bzw. Rückseite der Linse, die durch die verschiedenen Schallgeschwindigkeiten in Glas und Augenflüssigkeit hervorgerufen wird. Der letzte Peak entspricht der Reflexion an der Retina. Durch die Laufzeitmessung und mit Kenntnis der Schallgeschwindigkeiten in Linse ( $c_L = 2500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) und in der Flüssigkeit ( $c_{\text{Fl}} = 1410 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) können dann die Größen im Auge bestimmt werden.

## **5 Auswertung**

## **6 Diskussion**

## **Literatur**

- [1] Physikalisches Anfängerpraktikum der TU Dortmund: Versuch US1 - Grundlagen der Ultraschalltechnik. <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallGL.pdf>. Stand: Juni 2013.