

## **VERSUCH US1**

# **Grundlagen der Ultraschalltechnik**

Jannis Vornholt

jannis.vornholt@tu-dortmund.de

Alfredo Manente

alfredo.manente@tu-dortmund.de

Durchführung: 13.04.2021

Abgabe: 20.04.2021

## **Inhaltsverzeichnis**

|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| <b>1 Ziel</b>         | <b>3</b>  |
| <b>2 Theorie</b>      | <b>3</b>  |
| <b>3 Durchführung</b> | <b>5</b>  |
| <b>4 Messwerte</b>    | <b>6</b>  |
| <b>5 Auswertung</b>   | <b>7</b>  |
| <b>6 Diskussion</b>   | <b>10</b> |

## 1 Ziel

Ziel des Versuches US1 "Grundlagen der Ultraschalltechnik" ist die Einführung in die grundlegende Physik und in den Begriff der Ultraschallechographie. Dazu werden Ultraschallverfahren an einigen praktischen Beispielen erprobt.

## 2 Theorie

In dem Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 kHz befindet sich der Frequenzbereich des menschlichen Gehörs. Oberhalb der Hörschwelle spricht man bei 20 kHz bis 1 GHz von Ultraschall und bei noch höheren Frequenzen von Hyperschall. Der Frequenzbereich unter 16 Hz wird Infraschall genannt.

Schall besteht aus longitudinalen Wellen, welche sich aufgrund von Druckunterschieden fortbewegen.

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

$Z = c \cdot \rho$  beschreibt die akustische Impedanz, oder Schallkennwiderstand, welche gegeben ist durch die Dichte  $\rho$  des Materials und die Schallgeschwindigkeit  $c$ , mit dem sich der Schall durch das Material bewegt. Eine Schallwelle hat ähnliche Eigenschaften zu einer elektromagnetischen Welle, wie z.B. Reflexion und Brechung. Jedoch ist die Phasengeschwindigkeit der Welle materialabhängig, da die Druck- bzw. Dichteänderungen von Material zu Material verschieden sind. In Gasen und Flüssigkeiten bewegen sich Schallwellen immer in longitudinaler Richtung. Die Schallgeschwindigkeit hängt dann von der Kompressibilität  $\kappa$  und der Dichte  $\rho$  der Flüssigkeit oder des Gases ab.

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

In einem Festkörper bewegen sich, aufgrund von Schubspannungen, die Schallwellen in longitudinaler, aber auch in transversaler Richtung. Hier wird die Kompressibilität  $\kappa$  durch das Elastizitätsmodul  $E$  wie folgt ersetzt.

$$c_F = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

Dabei unterscheiden sich jedoch die Schallgeschwindigkeiten für longitudinale und transversale Wellen. Die Schallgeschwindigkeit ist allgemein Richtungsabhängig.

Bei der Ausbreitung verlieren die Schallwellen an Energie, aufgrund von Absorption. Dabei nimmt die Intensität  $I_0$  exponentiell mit der Strecke  $x$  ab,

$$I(x) = I_0 \cdot \exp^{-\alpha x} \quad (4)$$

wobei  $\alpha$  der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude ist. Da Luft sehr stark absorbiert, benutzt man ein Kontaktmittel zwischen Schallgeber und dem zu untersuchenden

Material. Trifft Schall auf eine Grenzfläche so wird ein Teil davon zurück reflektiert. Die Reflexion lässt sich mit dem Reflexionskoeffizienten

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

beschreiben. Dieser ist abhängig von den akustischen Impedanzen der beiden angrenzenden Materialien. Demnach ist der transmittierte Anteil durch  $T = 1 - R$  gegeben.

**Erzeugen von Ultraschall** Ultraschall wird auf verschiedene Weisen erzeugt. Eine ist die Anwendung des reziproken piezo-elektrischen Effekts. Ein piezo-elektrischer Kristall wird in einem elektrischen Wechselfeld angeregt, indem eine polare Achse des Kristalls parallel zum Wechselfeld positioniert wird. So wird dieser in Schwingung versetzt wird. Der Kristall strahlt beim Schwingen Ultraschall ab. Wenn Anregungsfrequenz und Eigenfrequenz übereinstimmen können große Schwingungsamplituden, mithilfe von Resonanz, erzeugt werden, sodass hohe Schallenergiedichten genutzt werden können. Der Kristall kann als Sender, aber auch als Empfänger genutzt werden, da der Kristall durch eintreffende Schallwellen weiter zum Schwingen angeregt wird. Hierbei werden Quarze am häufigsten genutzt, da sie gleichbleibende physikalische Eigenschaften besitzen, obwohl sie einen relativ schwachen piezo-elektrischen Effekt besitzen.

**Messtechniken** Am häufigsten werden Laufzeitmessungen genutzt, um Einblick in den durchstrahlten Körper zu erlangen, wie z.B. in der Medizin notwendig. Es wird ein kurzzeitiger Schallimpuls ausgesendet und dessen Laufzeit nach einer definierten Messstrecke mit einem Empfänger gemessen. Auf Basis der Laufzeitmessung gibt es zwei Verfahren: das Durchschallungsverfahren und das Impuls-Echo-Verfahren.

**Durchschallungsverfahren** Bei dem Durchschallungsverfahren schickt ein Sender einen Schallimpuls aus und auf der anderen Seite des zu untersuchenden Körpers wird dieser Impuls durch einen Ultraschallempfänger aufgefangen. Falls eine Fehlstelle im Körper vorhanden ist wird eine abgeschwächte Intensität am Empfänger gemessen. Damit ist jedoch keine Aussage über die Position der Fehlstelle im untersuchten Körper möglich.

**Impuls-Echo-Verfahren** Beim Impuls-Echo-Verfahren besitzt der Sender gleichzeitig auch die Funktion des Empfängers. Der ausgesendete Impuls wird an einer Grenzfläche reflektiert und kehrt dann beim Empfänger zurück. Die Höhe der Intensität des aufgenommenen Echos kann Auskunft über die Größe der Fehlstelle geben und bei bekannter Schallgeschwindigkeit kann mithilfe der Laufzeit  $t$  auch die Position der Fehlstelle ermittelt werden. Es gilt

$$s = \frac{1}{2}ct. \quad (6)$$

Die entstehenden Laufzeitdiagramme können in einem A-Scan, B-Scan oder TM-Scan dargestellt werden.

### 3 Durchführung



Abbildung 1: Der untersuchte Acrylblock.

In diesem Versuch werden, mithilfe des Impuls-Echo-Verfahrens, die verschiedenen Fehlstellen in einem Acrylblock untersucht. Die Fehlstellen sind an verschiedenen Orten im Block positioniert, besitzen verschiedene Durchmesser und überlappen sich teilweise, relativ zur Messoberfläche. Es wird ein Ultraschallechoskop, ein Computer zur Datenanalyse und Datenerfassung und eine 2 MHz Ultraschallsonde verwendet. Hier fungiert die Sonde gleichzeitig als Sender und Empfänger. Es wird die Ultraschallsonde entlang der beiden langen Seiten des Acrylblocks gefahren, mit Ultraschallgel als Kontaktmittel. Dazu wird die Schallgeschwindigkeit in Acryl im Messprogramm voreingestellt.

**A-Scan** Beim A-Scan werden die einzelnen Fehlstellen untersucht und auf dem Computer als Funktion der Intensität der empfangenen Schallwellen zur Tiefe der Reflexionsoberfläche dargestellt.

**B-Scan** Beim B-Scan wird die Ultraschallsonde langsam über die gesamte Seite des Acrylblocks gefahren. Auf dem Computer wird nun ein Bild dargestellt, welches die Intensität der empfangenen Schallwellen als helle Färbungen auf einem Graphen anzeigt, welcher die Tiefe der Fehlstellen in Abhängigkeit zur Zeit zeigt.

## 4 Messwerte

Tabelle 1: Blockmaße

|            | Länge [mm] | Höhe [mm]  | Tiefe [mm]       |
|------------|------------|------------|------------------|
|            | 150        | 80,5       | 40               |
| Lochnummer | Länge [mm] | Tiefe [mm] | Durchmesser [mm] |
| 1          | 10,4       | 55,6       | 9,5              |
| 2          | 13,5       | 6,8        | 3                |
| 3          | 28,5       | 14,9       | 3                |
| 4          | 43,5       | 22,7       | 3                |
| 5          | 58,6       | 30,9       | 3                |
| 6          | 73,5       | 38,9       | 3                |
| 7          | 88         | 46,4       | 3,8              |
| 8          | 102,6      | 54         | 4,8              |
| 9          | 112,2      | 61,4       | 5,9              |
| 10         | 134,5      | 19,1       | 1,3              |
| 11         | 133        | 17,4       | 1,3              |

Tabelle 2: Messwerte

| Lochnummer | Tiefe [mm] (Messung 1) | Tiefe [mm] (Messung 2) |
|------------|------------------------|------------------------|
| 1          | 16,9                   | 56,6                   |
| 2          | /                      | 8,7                    |
| 3          | 63,4                   | 16,5                   |
| 4          | 55,6                   | 24,1                   |
| 5          | 47,9                   | 32                     |
| 6          | 39,7                   | 40                     |
| 7          | 31,6                   | 47,5                   |
| 8          | 23,2                   | 55,2                   |
| 9          | 15,1                   | 62,7                   |
| 10         | 61                     | 19,3                   |
| 11         | 61,7                   | 21,1                   |

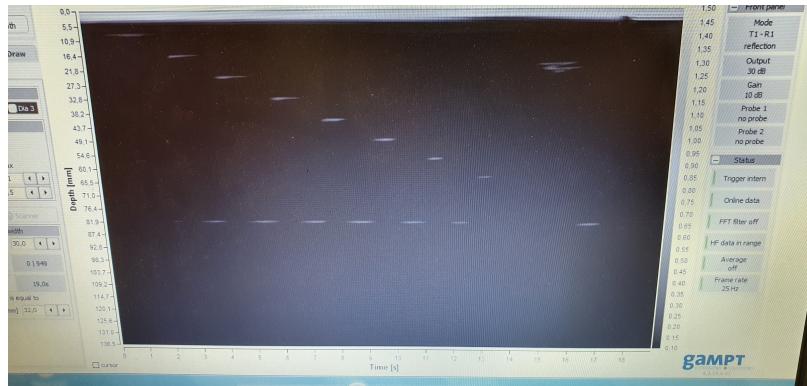


Abbildung 2: B-Scan

## 5 Auswertung

Um die Messwerte mit den Theoriewerten vergleichen zu können, müssen alle Angaben den Abstand zur selben Seite angeben. Als Ausgangslage wird die Position des Blocks, wie bei den Theoriewerten gewählt. Da bei den Messungen lediglich die Tiefe bestimmt wurde, muss auch nur diese umgerechnet werden. In diesem konkreten Fall nur die Werte der ersten Messung. Mit einer Höhe des Blocks von 80,5 mm und den in Tabelle 1 angegebenen Durchmesser der Löcher ergibt sich Tabelle 3, welche zudem die Abweichungen der Messungen zu den Theoriewerten beinhaltet.

Die beiden Graphiken 3 und 4 veranschaulichen die Abweichungen zwischen den gemessenen Werten und den Theoriewerten, zum einen im Verhältnis zur Tiefe der Löcher, zum anderen im Verhältnis zum Durchmesser der Löcher.

Die Graphiken 5 und 6 zeigen die relativen Abweichungen der gemessenen Tiefen im Verhältnis zum Theoriewert. Graphik 5 stellt besagte Abweichung, der gemessenen Tiefe gegenüber und Graphik 6, der Loch Durchmesser.

Der B-Scan kann nur sehr grob ausgewertet werden, da das Bild 2 eine genaue Tiefeneinschätzung der Löcher nicht zulässt. Dennoch ist auf dem Scan die Struktur des Blocks gut sichtbar und stimmt mit der tatsächlichen Struktur überein. Lediglich Loch nummer eins ist garnicht erkennbar.

Tabelle 3: Genormte Werte.

| Lochnummer | Theorie    | Messung 1  |                 | Messung 2  |                 |
|------------|------------|------------|-----------------|------------|-----------------|
|            | Tiefe [mm] | Tiefe [mm] | Abweichung [mm] | Tiefe [mm] | Abweichung [mm] |
| 1          | 55,6       | 54,1       | 1,5             | 56,6       | -1              |
| 2          | 6,8        | /          | /               | 8,7        | -1,9            |
| 3          | 14,9       | 14,1       | 0,8             | 16,5       | -1,6            |
| 4          | 22,7       | 21,9       | 0,8             | 24,1       | -1,4            |
| 5          | 30,9       | 29,6       | 1,3             | 32         | -1,1            |
| 6          | 38,9       | 37,8       | 1,1             | 40         | -1,1            |
| 7          | 46,4       | 45,1       | 1,3             | 47,5       | -1,1            |
| 8          | 54         | 52,5       | 1,5             | 55,2       | -1,2            |
| 9          | 61,4       | 59,5       | 1,9             | 62,7       | -1,3            |
| 10         | 19,1       | 18,2       | 0,9             | 19,3       | -0,2            |
| 11         | 17,4       | 17,5       | -0,1            | 21,1       | -3,7            |

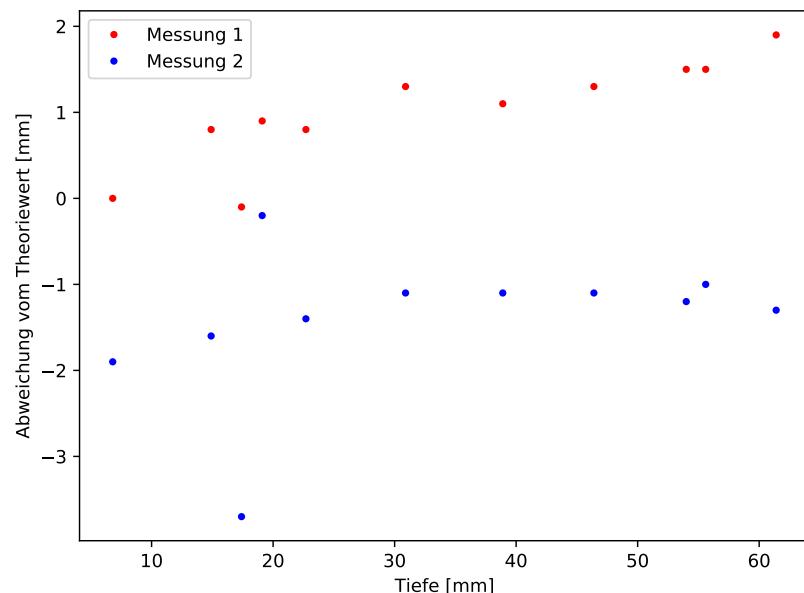


Abbildung 3: Abweichung vom Theoriewert abhängig von der Messtiefe.

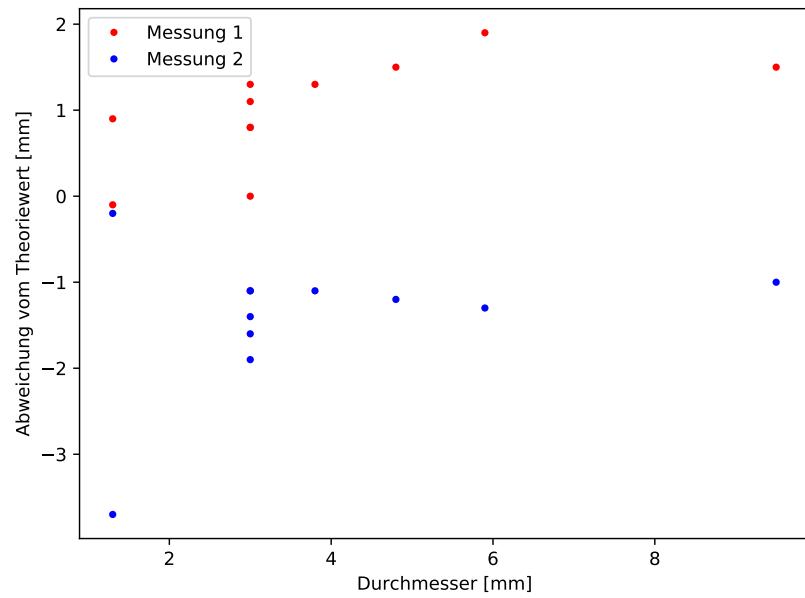


Abbildung 4: Abweichung vom Theoriewert abhängig vom Durchmesser der Löcher.

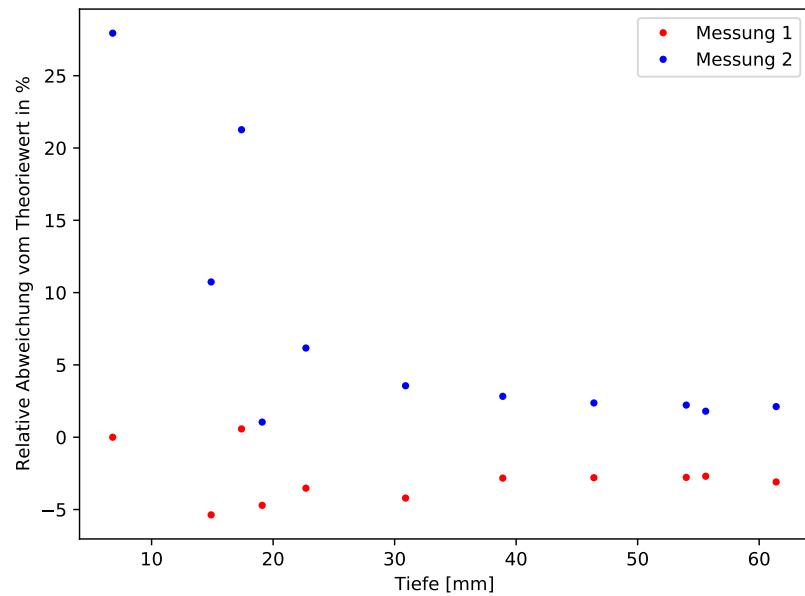


Abbildung 5: Relative Abweichung vom Theoriewert abhängig von der Messtiefe.

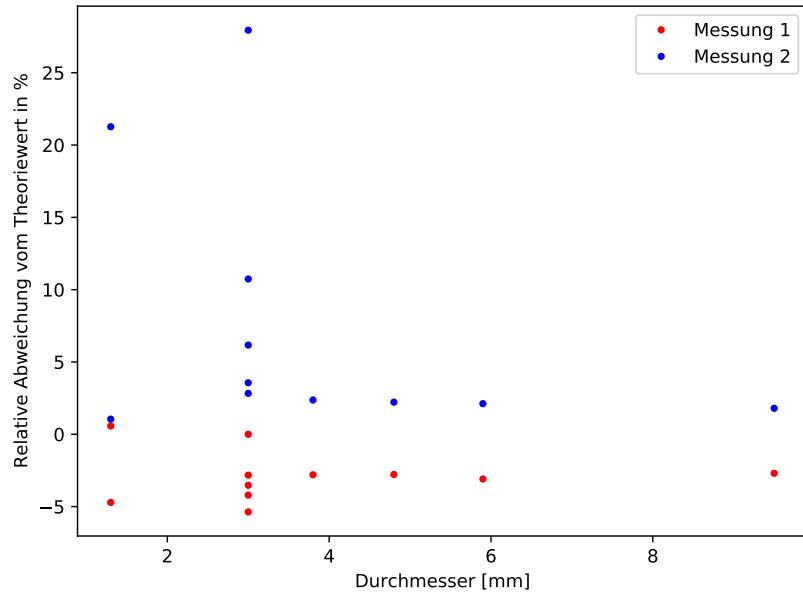


Abbildung 6: Relative Abweichung vom Theoriewert abhängig vom Durchmesser der Löcher.

## 6 Diskussion

Der B-Scan zeigt die Struktur des Blocks gut, daher funktioniert das Impuls-Echo-Verfahren zumindest auf grober Ebene sicher. Bei dem A-Scan gab es Abweichungen zwischen 1,9 mm und -3,7 mm und relative Abweichungen zwischen -5,37% und 27,94%, wobei lediglich Loch zwei und elf mit besagten 27,94% bzw. 21,26% bei der zweiten Messung sehr starke relative Abweichungen haben. Die nächst höhere relative Abweichung beträgt 10,73% bei der zweiten Messung bei Loch drei. Daher lässt sich insgesamt sagen, dass die Abweichungen mit Ausnahme besagter Löcher klein sind. Bei Graphik 3, 4, 5 und 6 sind keine Tendenzen zu erkennen, die nahelegen würden, dass die Abweichungen von der Messtiefe oder dem Lochdurchmesser abhängen. Auffällig hingegen ist, dass bei der ersten Messung alle Tiefen kleiner sind als der Theoriewert und bei der zweiten Messung größer. Dies könnte durch das verwendete Gel zustande gekommen sein. Da die Ultraschallsonde nicht direkt auf dem Block liegt, sondern eine kleine Schicht Gel zwischen dem Block und der Ultraschallsonde liegt. Dadurch braucht der Schall länger für die Strecke, da diese etwas länger ist und das Echoskop zeigt eine größere Strecke an. Die zweite Messung ist von der selben Seite, wie der Theoriewert, daher führt die länger gemessene Strecke zu einer höheren Tiefe. Die erste Messung hingegen ist von der entgegengesetzten Seite gemacht worden, um an die genormte Tiefe der Löcher zu gelangen, wurde die gemessene Strecke von der gesamten Höhe des Blocks abgezogen. Also wurde eine längere Strecke subtrahiert, wodurch die genormte Tiefe kleiner ist.