



US2

## Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Pelle Ofenbach  
pelle.ofenbach@udo.edu

Robert Appel  
robert.appel@udo.edu

Durchführung: 09.05.17

Abgabe: 16.05.17

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>3</b>
3.1	Untersuchung des Acrylblocks . . . . .	3
3.1.1	A-Scan . . . . .	4
3.1.2	B-Scan . . . . .	4
3.2	Untersuchung des Herzmodells . . . . .	4
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>4</b>
4.1	Vermessung der Fehlstellen mit dem A-Scan . . . . .	4
4.2	Vermessung der Fehlstellen 1 und 2 . . . . .	6
4.3	Bestimmung der Fehlstellen mit dem Bscan . . . . .	6
4.4	Untersuchung des Herzmodells . . . . .	7
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>7</b>
5.1	Vergleich der Abmessungen bestimmt durch Ascan und Bscan . . . . .	7
5.2	Zur Untersuchung des Herzmodelles . . . . .	8
	<b>Literatur</b>	<b>8</b>

# 1 Ziel

Ziel dieses Versuches ist das Vertrautmachen mit Ultraschallscans und das Bestimmen der Position von Fehlstellen in einem Acrylblock, sowie das Vermessen eines Herzmodells.

## 2 Theorie

Ultraschall bezeichnet kurzwelligen Schall von ca. 20 kHz bis etwa 1 GHz, also gerade oberhalb des von Menschen hörbaren Frequenzspektrums. Die Ausbreitung des Ultraschalls ist durch die Schallgeschwindigkeit des beschallten Mediums bedingt. Zudem nimmt die Intensität  $I$  des Schalls natürlich durch eine materialabhängige Dämpfung mit der zurückgelegten Strecke  $x$  gemäß des Zusammenhanges

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (1)$$

ab. Da  $\alpha$  in Luft sehr groß ist und die Schallgeschwindigkeit relativ klein, wird ein *Kontaktmittel* verwendet, welches zwischen der Ultraschallsonde und dem zu untersuchenden Material eingesetzt. Die einfachste Anwendung des Ultraschalls ist damit durch das sogenannte *Durchschallungsverfahren* gegeben: Ein Impuls wird auf der einen Seite über eine Sonde in das Material gegeben und auf der anderen Seite durch eine zweite Sonde aufgenommen. Die Zeit  $t$  zwischen dem Aussenden und Detektieren des Impulses ist dann durch

$$t = \frac{d}{c} \quad (2)$$

gegeben, wobei  $c$  die Schallgeschwindigkeit und  $d$  die Materialstärke bezeichnet. Durch eine örtliche Änderung der Intensität des aufgezeichneten Impulses lassen sich auf diese Weise zusätzlich Fehlstellen im Material finden, da auf Grund der Teilreflektion an Grenzflächen an Fehlstellen der Schall stärker gedämpft wird.

Nutzt man die Reflektion des Schalls an Grenzflächen aus, so genügt eine einzige Sonde, welche einen kurzen Schallimpuls sendet und danach den reflektierten Schall wieder detektiert. Dieses Verfahren wird als *Puls-Echo-Verfahren* bezeichnet. Bei diesem Verfahren gilt offensichtlich der Ort-Zeit-Zusammenhang:

$$s = \frac{ct}{2} \quad (3)$$

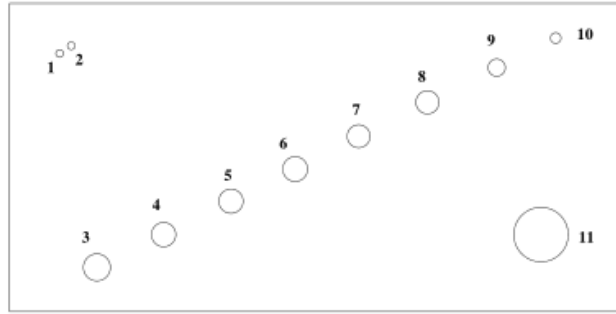
Da nun alle reflektierten Impulse gemessen werden, lassen sich auf diese Weise auch die Lagen von Fehlstellen im Material feststellen.

In diesem Versuch wird sowohl der *A-Scan* also die Messung der Impuls-Zeiten und -Amplituden, als auch der *B-Scan* verwendet. Beim B-Scan werden die Amplituden des detektierten Schalls farblich kodiert dargestellt. Dies erlaubt es, die Sonde zu bewegen und durch Aufzeichnen der Laufzeit des Schalls gegen die Messzeit zweidimensionale Aufnahmen des Inneren eines Materials. Ist die Geschwindigkeit der Sonde bekannt, so lässt sich aus dieser Messung sehr leicht nicht nur Position, sondern auch Ausmaß einer Fehlstelle feststellen.

## 3 Durchführung

### 3.1 Untersuchung des Acrylblocks

Zunächst wird der zu untersuchende Acrylblock mit einer Schieblehre vermessen. Der verwendete Block ist in Abb. 1 skizziert, welcher sich auch die Benennung der Fehlstellen entnehmen lassen. Die Fehlstellen sind hierbei als Bohrungen ausgeführt.



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung des verwendeten Acrylblocks und Benennung der Fehlstellen. [1]

### 3.1.1 A-Scan

Die im Block befindlichen Fehlstellen werden durch eine Ultraschalluntersuchung mit einer 1 MHz Sonde die Lagen der Löcher im Block bestimmt, indem der Block einmal "von oben" und einmal "von unten" vermessen wird. "Von oben" Bedeutet hierbei wie in Abb. 1 dargestellt, "von unten" um  $180^\circ$  gedreht. Um eine bessere Auflösung der Fehlstellen 1 und 2 zu erreichen, wird die Messung mit einer 4 MHz Sonde wiederholt.

### 3.1.2 B-Scan

Erneut werden die Lagen und Größen der Fehlstellen mit Hilfe eines B-Scans bestimmt, bei dem die Sonde von Hand über den Acrylblock gezogen wird.

## 3.2 Untersuchung des Herzmodells

In diesem Versuchsteil wird ein Herzmodell untersucht, welches aus einem Zylinder besteht, welcher durch eine Membran in zwei Bereiche geteilt ist. Der untere Bereich ist luftdicht an einen Gummipumpball angeschlossen, über den sich der Druck im Herzmodell erhöht und somit die Membran aus der Ruhelage auslenkt. Besagte Membran ist aus  $\text{LaTeX}$  gefertigt und bildet unter Normaldruck eine horizontalliegende Ebene. Da sie sehr dünn und elastisch ist, dehnt sie sich bei erhöhtem Druck leicht aus und vergrößert somit das von ihr begrenzte Volumen. Zur Messung wird die Membran ca. 2 cm hoch mit Wasser bedeckt, auf dem eine Ultraschallsonde aufliegt. Diese kann über einen Time-Motion-Scan die Lage der Membran erfassen.

## 4 Auswertung

### 4.1 Vermessung der Fehlstellen mit dem A-Scan

Zur erst muss die Laufzeitkorrektur  $\Delta t$  bestimmt werden. Dazu wird die Laufzeit  $t$  für das Ultraschallsignal zum Boden und wieder zurück betrachtet. Es gilt

$$H = \frac{c}{2} (t - \Delta t) \quad \Rightarrow \quad \Delta t = t - \frac{2H}{c} .$$

Dabei bezeichnet  $H = 8,02 \text{ cm}$  die Höhe des Acrylblockes und  $c$  die Schallgeschwindigkeit in Acryl, die hier mit  $2730 \text{ m s}^{-1}$  [2] angenommen wurde. Daraus ergibt sich

$$\Delta t = -3,73 \cdot 10^{-7} \text{ s} .$$

Durch den natürlichen Zusammenhang

$$H = h_1 + h_2 + F ,$$

wobei  $h_1$  bzw  $h_2$  den Abstand vom Rand des Blockes zur Fehlstelle bezeichnet, folgt dann

$$F = H - \frac{c}{2} (t_1 + t_2 - 2\Delta t) , \quad (4)$$

dabei bezeichnet  $t_1$  bzw.  $t_2$  die jeweiligen Laufzeiten des Ultraschallsignals vom Rand des Acrylblocks und  $F$  den Durchmesser der Fehlstelle. Die Messwerte sind in den Tabellen 1 und 2 dargestellt. Die Werte zur Vermessung der Fehlstellen in der Tabelle 3, daraus ist zu entnehmen, dass die Fehlstelle 10 nicht brechnet werden konnte da sie von einer Seite von Fehlstelle 11 verdeckt wird und die Auflösung nicht ausreicht, um die Fehlstelle 10 dahinter aufzulösen. Zudem konnten Fehlstellen 1 und 2 nicht von einander getrennt werden, sondern wurden nur als eine Fehlstelle interpretiert.

**Tabelle 1:** Messwerte der Fehlstellen von "unten" aufgenommen mit dem A-Scan.

Fehlstelle	Laufzeit $t/s$
11	$1,10 \cdot 10^{-5}$
9	$4,54 \cdot 10^{-5}$
8	$3,99 \cdot 10^{-5}$
7	$3,40 \cdot 10^{-5}$
6	$2,82 \cdot 10^{-5}$
5	$2,21 \cdot 10^{-5}$
4	$1,56 \cdot 10^{-5}$
3	$9,40 \cdot 10^{-6}$
2	$4,34 \cdot 10^{-5}$
1	$4,34 \cdot 10^{-5}$
Boden	$5,84 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 2:** Messwerte der Fehlstellen von "oben" aufgenommen mit dem A-Scan.

Fehlstelle	Laufzeit $t/s$
11	$4,01 \cdot 10^{-5}$
10	$4,70 \cdot 10^{-6}$
9	$1,08 \cdot 10^{-5}$
8	$1,66 \cdot 10^{-5}$
7	$2,24 \cdot 10^{-5}$
6	$2,81 \cdot 10^{-5}$
5	$3,35 \cdot 10^{-5}$
4	$3,89 \cdot 10^{-5}$
3	$4,45 \cdot 10^{-5}$
2	$1,36 \cdot 10^{-5}$
1	$1,36 \cdot 10^{-5}$
Boden	$5,84 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 3:** Werte zur Vermessung der Fehlstellen aus dem A-Scan.

Fehlstellen	$t_1/s$	$t_2/s$	$F(\text{Durchmesser der Fehlstellen})/m$
11	$4,01 \cdot 10^{-5}$	$1,10 \cdot 10^{-5}$	$9,46 \cdot 10^{-3}$
9	$1,08 \cdot 10^{-5}$	$4,54 \cdot 10^{-5}$	$2,49 \cdot 10^{-3}$
8	$1,66 \cdot 10^{-5}$	$3,99 \cdot 10^{-5}$	$2,08 \cdot 10^{-3}$
7	$2,24 \cdot 10^{-5}$	$3,40 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^{-3}$
6	$2,81 \cdot 10^{-5}$	$2,82 \cdot 10^{-5}$	$2,36 \cdot 10^{-3}$
5	$3,35 \cdot 10^{-5}$	$2,21 \cdot 10^{-5}$	$3,31 \cdot 10^{-3}$
4	$3,89 \cdot 10^{-5}$	$1,56 \cdot 10^{-5}$	$4,81 \cdot 10^{-3}$
3	$4,45 \cdot 10^{-5}$	$9,40 \cdot 10^{-6}$	$5,63 \cdot 10^{-3}$
2	$1,36 \cdot 10^{-5}$	$4,34 \cdot 10^{-5}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$
1	$1,36 \cdot 10^{-5}$	$4,34 \cdot 10^{-5}$	$1,40 \cdot 10^{-3}$

## 4.2 Vermessung der Fehlstellen 1 und 2

Das Verfahren der Vermessung der Fehlstellen 1 und 2 ist analog zu dem im vorherigen Kapitel. Für die neue Sonde liegt die Laufzeitkorrektur bei

$$\Delta t = -(1,22 \pm 0,05) \cdot 10^{-6} \text{ s} .$$

Die 4MHz-Sonde schafft es die Fehlstellen zu trennen, somit kann mit der Formel (4) dann der Durchmesser der Fehlstellen bestimmt werden. Die Messwerte sind in der Tabelle 4 dargestellt. Die Durchmesser der Fehlstellen 1 und 2 sind in der Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 4:** Messwerte des Ascans mit der 4MHz-Sonde

Fehlstellen	$t_1/\text{s}$	$t_2/\text{s}$
2	$1,22 \cdot 10^{-5}$	$4,38 \cdot 10^{-5}$
1	$1,34 \cdot 10^{-5}$	$4,25 \cdot 10^{-5}$
Boden	$5,76 \cdot 10^{-5}$	$5,75 \cdot 10^{-5}$

**Tabelle 5:** Durchmesser der Fehlstellen 1 und 2

Fehlstellen	$F \pm \Delta F / \text{m}$		
2	$4 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1 \cdot 10^{-4}$
1	$6 \cdot 10^{-4}$	$\pm$	$1 \cdot 10^{-4}$

## 4.3 Bestimmung der Fehlstellen mit dem Bscan

Der Durchmesser der Fehlstellen wurden wie in dem Kapitel zuvor bestimmt. Die Werte dazu wurden in den Tabellen 6 und 7 dargestellt.

**Tabelle 6:** Werte zur Vermessung der Fehlstellen 3 bis 11 mit dem Bscan und der 1MHzSonde

Fehlstellen	$t_1/\text{s}$	$t_2/\text{s}$	$F \pm \Delta F / \text{m}$	
11	$4,23 \cdot 10^{-5}$	$4,42 \cdot 10^{-5}$	$3,89 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
10	$7,00 \cdot 10^{-6}$	$8,60 \cdot 10^{-6}$	$5,79 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
9	$1,27 \cdot 10^{-5}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$	$4,21 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
8	$1,86 \cdot 10^{-5}$	$2,04 \cdot 10^{-5}$	$2,60 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
7	$2,44 \cdot 10^{-5}$	$2,63 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
6	$3,02 \cdot 10^{-5}$	$3,22 \cdot 10^{-5}$	$5,97 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$
5	$3,56 \cdot 10^{-5}$	$3,75 \cdot 10^{-5}$	$2,06 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
4	$4,08 \cdot 10^{-5}$	$4,29 \cdot 10^{-5}$	$3,50 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$
3	$4,65 \cdot 10^{-5}$	$4,84 \cdot 10^{-5}$	$5,03 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$

**Tabelle 7:** Werte zur Vermessung der Fehlstellen 1 und 2 mit dem Bscan und der 4MHzSonde

Fehlstellen	$t_1/s$	$t_2/s$	$F \pm \Delta F /m$		
2	$4,60 \cdot 10^{-5}$	$4,67 \cdot 10^{-5}$	$4,96 \cdot 10^{-2}$	$\pm$	$1,37 \cdot 10^{-4}$
1	$4,46 \cdot 10^{-5}$	$4,53 \cdot 10^{-5}$	$4,58 \cdot 10^{-2}$	$\pm$	$1,37 \cdot 10^{-4}$

#### 4.4 Untersuchung des Herzmodells

Auch hierbei wird mit der selben Methode die Ausdehnung des Herzmodells bestimmt. So erhält man für die maximale Ausdehnung

$$h_{max} = 0,035 \text{ m} .$$

Die Frequenz wurde bestimmt in dem die Zeiten zwischen den Peaks bestimmt wurde und dann gemittelt wurden. Somit ergibt sich

$$f = 2,23 \text{ Hz} .$$

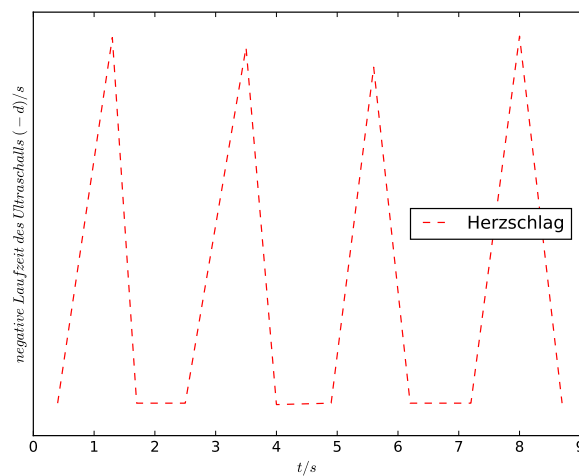
Die Werte sind zur Veranschaulichung in der Abbildung 2 dargestellt. Zur Bestimmung des Herzvolumens wird die ausgedehnte Membran als Paraboloid approximiert. Das Volumen eines Paraboloids ist gegeben durch

$$V = \frac{\pi}{2} \cdot R^2 \cdot h$$

daraus ergibt sich dann mit der maximalen Ausdehnung  $h_{max}$  ein Volumen von

$$V = 2,93 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

das entspricht ca. 30 mL.

**Abbildung 2:** Umgekehrter B-Scan vom Herzmodell.

## 5 Diskussion

### 5.1 Vergleich der Abmessungen bestimmt durch Ascan und Bscan

Zum Vergleich wurden die relativen Abweichungen mit der Formel

$$\tilde{x} = \frac{|x - y|}{|y|} \cdot 100\%$$

bestimmt. Hier bei wäre  $x$  die Werte vom Ascan und  $y$  vom Bscan. Die Werte dazu sind in der Tabelle 8 dargestellt. Es ist unschwer zu erkennen, dass die Abweichung sehr stark ist und somit nicht mehr durch allgemeine Messungenauigkeit erklärt werden. Weshalb die Methode wohl einfach nur ungenau ist. Es fällt auf das die Werte für die 11 bis zur 3 Fehlstelle nicht fehlerbehaftet sind, dies ist möglich da keine Messungenauigkeiten angenommen wurden und die Laufzeitkorrektur für die Sonde mit der die Werte gemessen wurde ebenfalls nicht fehlerbehaftet ist.

**Tabelle 8:** Relativen Abweichung der Werte vom Ascan zum Bscan

Fehlstellen	$F_A \pm \Delta F_A$ /m		$F_B \pm \Delta F_B$ /m		$\tilde{F} \pm \Delta \tilde{F}$ /%	
11	$9,46 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$4,21 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	78	$\pm 0,00$
9	$2,49 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$2,60 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	90	$\pm 0,00$
8	$2,08 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$1,00 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	79	$\pm 0,00$
7	$2,22 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$5,97 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	63	$\pm 0,00$
6	$2,36 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$2,06 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	89	$\pm 0,00$
5	$3,31 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$3,50 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	91	$\pm 0,00$
4	$4,81 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$5,03 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	90	$\pm 0,00$
3	$5,63 \cdot 10^{-3}$	$\pm 0,00$	$3,89 \cdot 10^{-2}$	$\pm 0,00$	86	$\pm 0,00$
2	$4,47 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1,37 \cdot 10^{-4}$	$4,96 \cdot 10^{-2}$	$\pm 1,37 \cdot 10^{-4}$	99	$\pm 2,77 \cdot 10^{-1}$
1	$5,83 \cdot 10^{-4}$	$\pm 1,37 \cdot 10^{-4}$	$4,58 \cdot 10^{-2}$	$\pm 1,37 \cdot 10^{-4}$	99	$\pm 3,02 \cdot 10^{-1}$

## 5.2 Zur Untersuchung des Herzmodelles

Die Untersuchung ergab ein Schlagvolumen von 30 mL. Bei einem richtigen menschlichen Herzen liegt dieses bei ca. 70 bis 100 mL [3]. Diese Abweichung ist aber eher damit zu erklären, dass das Modell nicht sehr naturgetreu ist.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuch zum Literaturverzeichnis*. 2014.
- [2] Olympus. *Tutorial für Dickenmessung-Schallgeschwindigkeiten im Material*. [Online; Stand 7. Mai 2017]. URL: <http://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [3] Wikipedia. *Schlagvolumen* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [Online; Stand 15. Mai 2017]. 2016. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schlagvolumen&oldid=159590283>.