

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Umut Aydinli
umut.aydinli@tu-dortmund.de

Muhammed-Sinan Demir
sinan.demir@tu-dortmund.de

Durchführung: 12.04.2022

Abgabe: 19.04.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Vorbereitungsaufgabe	4
4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung	5
4.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan	6
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögen	6
4.3 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan	6
4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan	7
5 Auswertung	7
5.1 Untersuchung der Störstellen in einem Acrylblock mit einem A-Scan . . .	7
5.2 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit	8
5.3 Untersuchung des Auflösungsvermögen	9
5.4 Untersuchung der Störstellen mit einem B-Scan	10
6 Diskussion	12
7 Anhang	14
Literatur	15

1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden Störstellen durch das Impuls-Echo-Verfahren lokalisiert.

2 Theorie

Ultraschallwellen, sind longitudinale Wellen, haben eine Frequenz von 20 kHz bis 1GHz und werden in der Medizin für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung verwendet.

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

Die Ultraschallwelle bewegt sich durch Druckschwankungen fort, wobei $Z = c \cdot \rho$ die akustische Impedanz ist. Diese setzt sich aus der Schallgeschwindigkeit c und der Dichte ρ zusammen. Der Unterschied zwischen einer Ultraschallwelle und einer elektromagnetischen Welle liegt bei der Phasengeschwindigkeit, aufgrund der materialabhängigkeit die durch Druck bzw. Dichteänderung verändert wird. Die Schallwellen breiten sich als Longitudinalwelle in Flüssigkeit und Gasen aus wobei die Geschwindigkeit, in Flüssigkeit, dieser von der Kompressibilität sowie Dichte abhängt

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

Bei Festkörpern breitet sich die Welle als Longitudinalwelle oder Transversalwelle aus, mit dem Elastizitätsmodul E , was für die Kompressibilität $\frac{1}{\kappa}$ ersetzt wird

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

Die Schallgeschwindigkeit der beiden Wellenarten unterscheidet sich voneinander, wobei die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern Richtungsabhängig. Bei der Schallausbreitung wird ein Teil der Energie absorbiert und die Intensität I_0 fällt nach der Strecke x exponentiell ab.

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

ist hierbei der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude.

Bei dem Auftreffen einer Schallwelle auf eine Grenzfläche wird ein Teil reflektiert und der Reflektionskoeffizient R setzt sich aus der akustischen Impedanz des auftreffmaterials zusammen.

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

Die Transmission T lässt sich durch $T = 1 - R$ berechnen.

Um Ultraschall zu erzeugen gibt es verschiedene Methoden. Eine davon ist durch die Anwendung des reziproken piezo-elektrischen Effekt. Dabei wird ein Kristall in ein Wechselfeld gebracht, welches den Kristall zum schwingen bringt, was wiederum die Ultraschallwellen erzeugt. Wenn die Eigenfrequenz mit der Anregungsfrequenz übereinstimmt können große Schwingungsamplituden erzeugt werden. Die daraus resultierenden Schallenergien sind extrem hoch und können genutzt werden. Der Piezokristall kann nicht nur als Erzeuger sondern auch als Empfänger für Ultraschallwellen genutzt werden. Ultraschallwellen werden in der Medizin dafür verwendet, Informationen über den durchstrahlten Körper zu erhalten. Die Laufzeitmessung ist ein häufig verwendetes Messverfahren, wobei kurzzeitige Impulse in Richtung Empfänger ausgesendet werden, womit die Strecke zum Empfänger bestimmt werden kann.

Das Durchschallungs-Verfahren ist eines der zwei Methoden die bei diesem Verfahren angewandt wird. Bei diesem Verfahren werden kurzzeitige Schallimpulse ausgesendet, welche auf der anderen Seite wieder von einem Ultraschallempfänger aufgefangen wird. Falls eine Fehlstelle auf diesem Weg vorhanden ist, wird eine abgeschwächtere Intensität gemessen. Jedoch kann nicht gesagt werden wo sich diese befindet. Bei dem Impuls-Echo-Verfahren ist die Sonde Ultraschallsender sowie empfänger. Reflektiert wird die Ultraschallwelle hierbei an der Grenzfläche des durchstrahlten Objekts. Bei vorhandenen Fehlstellen gibt die Größe des Signals Rückschlüsse zu der Größe der Fehlstelle. Über die Laufzeit kann die Lage der Fehlstelle ermittelt werden.

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

Die Laufzeit kann in einem A-Scan, B-Scan oder TM-Scan als Diagramm dargestellt werden.

3 Vorbereitungsaufgabe

Bei der ersten Vorbereitungsaufgabe sollen die Literaturwerte der Schallgeschwindigkeit zu Luft, destiliertem Wasser und Acryl recherchiert werden. Diese werden im folgenden Aufgezählt.

$$\begin{aligned} c_{\text{Luft}} &= 344 \frac{\text{m}}{\text{s}} [3] \\ c_{\text{Wasser}} &= 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}} [3] \\ c_{\text{Acryl}} &= 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}} [2] \end{aligned}$$

Bei der zweiten Vorbereitungsaufgabe sollen die Wellenlängen und die Periode für 1 MHz, 2 MHz und 4 MHz Schwingungen in Acryl berechnet werden. Dafür benötigt man die beiden Gleichungen (7) und (8)

$$T = \frac{1}{f} \quad (7)$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (8)$$

Tabelle 1: Die einzelnen Werte zu der zweiten Vorbereitungsaufgabe

	1 MHz	2 MHz	4 MHz
f	$1 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^6$
T	$\frac{1}{1 \cdot 10^6}$	$\frac{1}{2 \cdot 10^6}$	$\frac{1}{4 \cdot 10^6}$
λ	$2,73 \cdot 10^{-3}$	$1,365 \cdot 10^{-3}$	$6,825 \cdot 10^{-5}$

4 Versuchsaufbau und Versuchsdurchführung

Der Versuchsaufbau sieht wie folgt aus. Es wird ein Echoskop, mit einer 1 MHz, blau markierten, sowie einer 2 MHz, rot markierten, Sonde benötigt. Der Kippschalter an dem Echoskop wird auf *REFLEC.* gestellt. Verbunden ist das Echoskop mit einem Rechner, auf welchem das Programm A-Scan zum auswerten der Messwerte verwendet wird. Zudem wird ein Acrylblock benötigt, welcher verschiedene Größen, sowie verschieden weit von der Kante entfernte Löcher hat. Unter diesen Acrylblock werden Papiertücher gelegt und als Kontaktmittel wird Wasser benutzt. Ebenso wird eine Schieblehre zum vermessen des Acrylblocks benötigt. Die Einstellungen in dem Programm A-Scan sehen wie folgt aus. In der obigen Zeile werden die Einstellungen *Depth* und *Amp* gewählt. Bei *Sound Velocity* wird die Schallgeschwindigkeit eingegeben und als letztes um die Messung zu starten wird *Start* gedrückt.

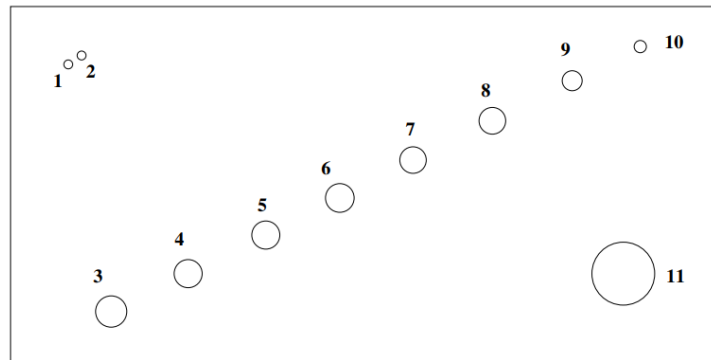


Abbildung 1: Abbildung des Verwendeten Acrylblocks

4.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan

Der Versuch wird wie vorher beschrieben aufgebaut und der Acrylblock wird in Länge, Höhe und Tiefe mit der Schieblehre vermessen. Der Durchmesser der sieben zu vermessenden Löchern in dem Acrylblock werden ebenfalls gemessen. Danach wird die 2 MHz Sonde mit dem Kontaktmittel an der oberen Kante angelegt und die Messtiefe mit dem Programm A-Scan bestimmt. Die Messtiefe wird in μm angegeben und durch den herausstechenden Peak ermittelt. Nachdem die sieben Löcher von der einen Seite vermessen wurden, wird der Block um 180° gedreht und die Messung erneut durchgeführt.

4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

Der Aufbau wird von dem vorherigen übernommen. Als nächstes werden diese zwei benachbarten Fehlstellen, oben links in Abbildung 1, vermessen. Dabei werden erst die 1 MHz Sonde und danach die 2 MHz Sonde verwendet. Die dabei entstehenden Bilder werden übernommen und es wird notiert was auffällt.

4.3 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan

Der Aufbau wird erneut übernommen, jedoch wird diesmal in der oberen Zeile die B-Scan Funktion ausgewählt. Damit werden die Löcher in dem Acrylblock erneut bestimmt, indem die Sonde ganz links auf der oberen Kante mit dem Kontaktmittel angesetzt wird und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit nach ganz rechts bewegt. Durch das Bild, was dabei Erstellt wird, kann dann die Zeit sowie die Zeitdifferenz ermittelt und notiert werden.

4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan

Der Aufbau wird wieder übernommen und die B-Scan auf dem Rechner ausgewählt. Untersucht wird hierbei ein Brustmodell mit einer knotigen Anomalie. Zuerst wird diese durch ertasten lokalisiert und danach mit der B-Scan Funktion des Brustmodells.

5 Auswertung

5.1 Untersuchung der Störstellen in einem Acrylblock mit einem A-Scan

Für den ersten Teil des Versuches wurden die folgenden Abmessungen des Acrylblocks mit einer Schieblehre bestimmt.

Tabelle 2: Entfernung der Löcher zur den Kanten.

Loch	obere Kante / mm	untere Kante / mm	Durchmesser / mm
4	53,24	22	4,18
5	46,06	30	3,18
6	38,18	38,12	2,18
7	30,16	46,14	2,18
8	22,152	54,16	2,18
9	14,18	63	2,18
10	6,89	71	2,16

Für die Messung wurden sieben Löcher ausgewählt, in diesem Fall von Lochnummer vier bis zehn. Dabei werden die Werte aus Tabelle 1 als Literaturwerte angenommen. Die Lage, sowie die Größe aller Bohrungen, werden mit dem Impuls-Echo-Verfahren bestimmt. Der Acrylblock wird auf ein weiches Papiertuch platziert und mit einer 2 MHz Sonde von oben des Blockes gekoppelt. Das Koppelmittel ist Wasser. Mit Hilfe des A-Scans werden die verschiedenen Stellen auf Störstellen untersucht, die aus den Zeiten der Tiefe folgen. Bei bekannter Schallgeschwindigkeit, in diesem Fall $c_{\text{Acryl}} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ aus dem Literaturwert [2], kann aus der Laufzeit t die Lage der Fehlstelle mit der Formel aus 6 bestimmt werden. Die Anordnung wird nach der ersten Messung für die sieben Löcher umgedreht und erneut gemessen. Der Durchmesser der Löcher entspricht der Formel.

$$d = h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}}. \quad (9)$$

Die Höhe des Acrylblockes wurde gemessen

$$h = 0,08005 \text{ m.}$$

Die Messungen werden in der Tabelle 3 notiert.

Tabelle 3: Messungen des ersten Arbeitsauftrages.

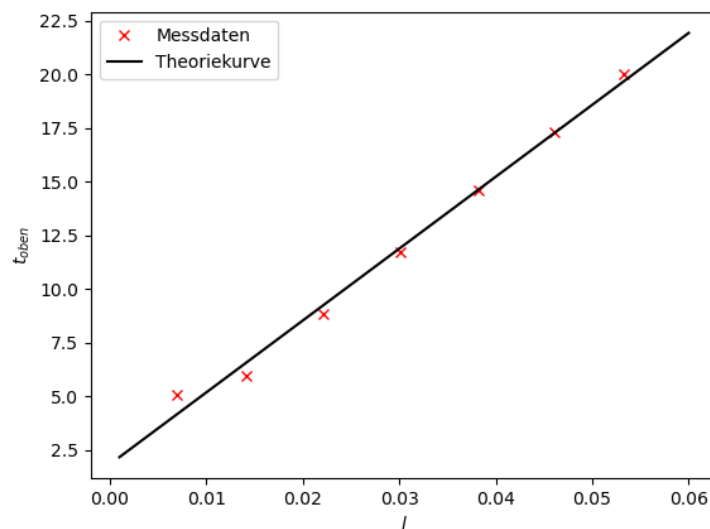
Loch	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	d / mm
4	40,0	$54,60 \pm 0,16$	17,0	$23,20 \pm 0,06$	$2,25 \pm 0,13$
5	34,6	$47,22 \pm 0,12$	22,8	$31,12 \pm 0,07$	$1,71 \pm 0,18$
6	29,2	$39,85 \pm 0,09$	29,0	$39,58 \pm 0,09$	$0,62 \pm 0,11$
7	23,4	$31,94 \pm 0,07$	34,9	$47,63 \pm 0,13$	$0,48 \pm 0,14$
8	17,7	$24,16 \pm 0,06$	40,7	$55,55 \pm 0,16$	$0,34 \pm 0,18$
9	11,9	$16,24 \pm 0,05$	46,6	$63,60 \pm 0,19$	$0,21 \pm 0,09$
10	10,2	$13,92 \pm 0,05$	/	/	/

5.2 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

Zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit werden die jeweiligen Laufzeiten zu den Störstellen bestimmt. Da beim Impuls-Echo-Effekt die doppelte Strecke durchlaufen wird, werden die Laufzeiten halbiert. Die Länge der einzelnen Löcher wird aus der Tabelle 3 entnommen, sowie die dazugehörige Laufzeit aus [2]. Die Steigung der Gerade wird auf Hilfe einer linearen Regression ermittelt.

Die lineare Regression liefert

$$c = (2961,74 \pm 121,36) \frac{\text{m}}{\text{s}}.$$

**Abbildung 2:** Lineare Regression zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit.

5.3 Untersuchung des Auflösungsvermögens

In dem Acrylblock befinden sich zwei benachbarte Fehlstellen, Lochnummer eins und zwei. Diese werden mit einem A-Scan untersucht. Benutzt wird eine 1 MHz Sonde und eine 2 MHz Sonde. Als Koppelmittel wird Wasser benutzt. Die Grafiken werden exportiert und die Messwerte, wie Laufzeiten und Fehlstelle, werden notiert in Tabelle 4.

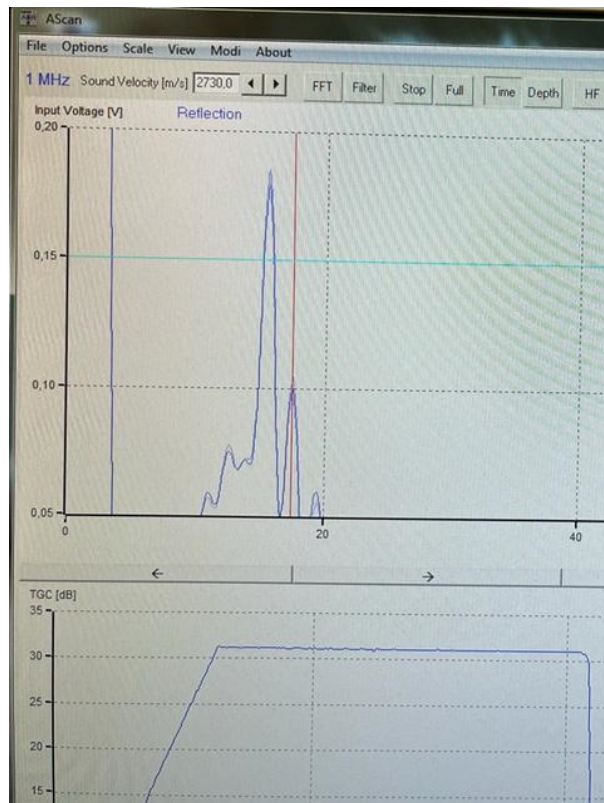


Abbildung 3: A-Scan mit einer 1 MHz Sonde.

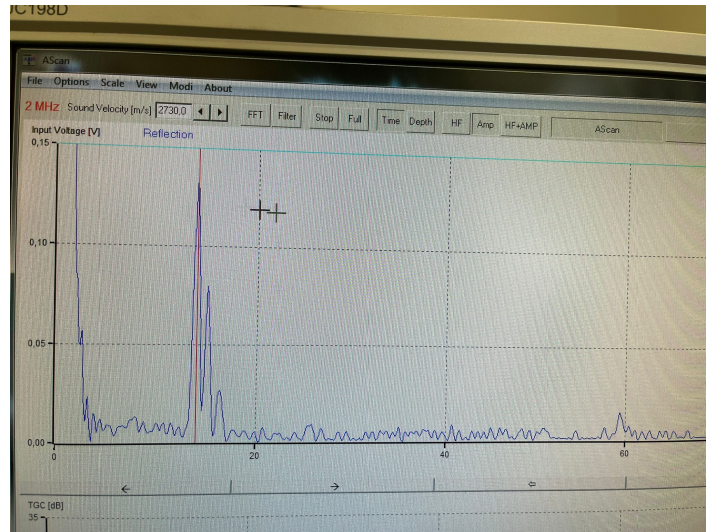


Abbildung 4: A-Scan mit einer 2 MHz Sonde.

Tabelle 4: Messungen des zweiten Arbeitsauftrages mit der oberen Kante.

Loch	S_M / ms	t / s	S_M / ms	t / s
1	15,0	13,9	21,2	15,6
2	20,5	15,0	23,7	17,4
	2 MHz		1 MHz	

5.4 Untersuchung der Störstellen mit einem B-Scan

Die Untersuchung erfolgt wie im ersten Teil nur wird ein B-Scan durchgeführt. Benutzt wird eine 2 MHz Sonde und Wasser als Koppelmittel. Die Grafiken werden anschließend exportiert. Die ermittelten Werte aus den Bildern befinden sich in Tabelle 5 und wurden mithilfe der Formel (6) bestimmt.

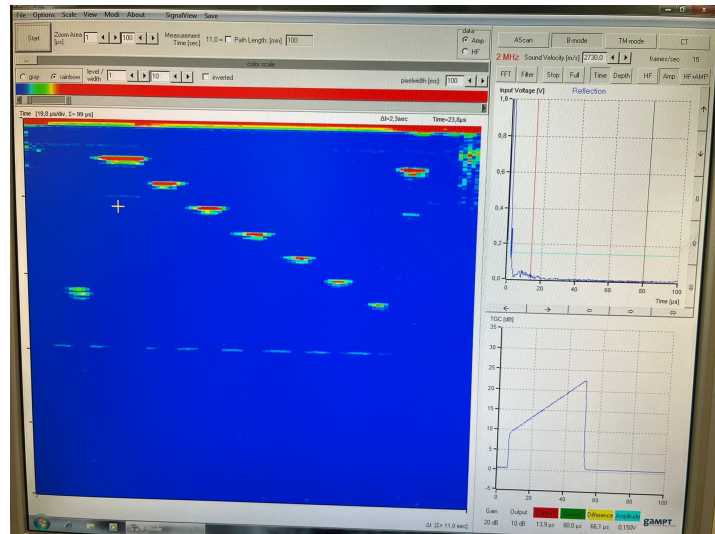


Abbildung 5: B-Scan des Acrylblocks in der ersten Lage.

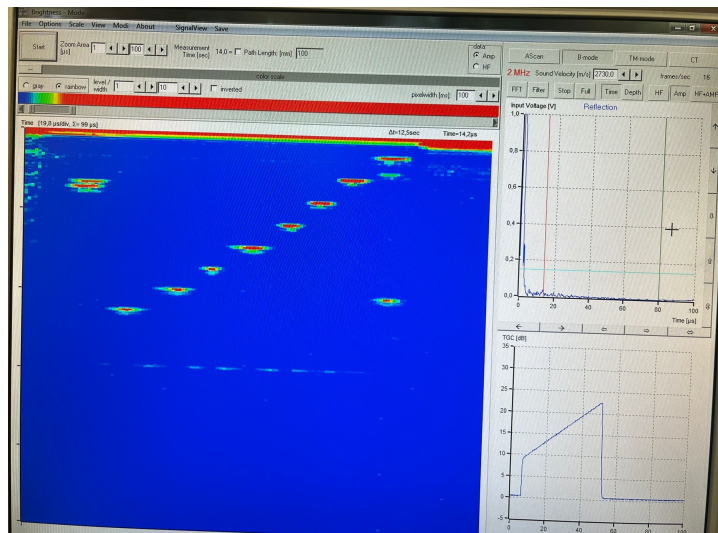


Abbildung 6: B-Scan des Acrylblocks in der zweiten Lage.

Tabelle 5: Messungen des ersten Arbeitsauftrages.

Loch	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{unten}} / \mu\text{s}$
4	41,0	$55,96 \pm 0,18$	17,8	$24,29 \pm 0,08$
5	35,7	$51,46 \pm 0,17$	23,5	$32,07 \pm 0,11$
6	30,3	$41,35 \pm 0,13$	29,9	$40,81 \pm 0,12$
7	24,3	$33,16 \pm 0,11$	36,0	$49,14 \pm 0,16$
8	18,6	$25,38 \pm 0,08$	42,1	$57,46 \pm 0,18$
9	12,9	$17,60 \pm 0,07$	49,1	$67,02 \pm 0,22$
10	7,2	$9,82 \pm 0,04$	34,6	$47,29 \pm 0,16$

6 Diskussion

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit weist auf eine relative Abweichung von

$$c_{\text{lit}} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad c_{\text{exp}} = (2961,74 \pm 121,36) \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ \rightarrow 8,48\%$$

Trotz der Ungenauigkeit ist der Wert akzeptabel, dennoch werden für die weiteren Aufgaben der Literatur angenommen.

Auffällig bei der Versuchsreihe war, dass die Bestimmung der Fehlstellen und Laufzeiten problemlos liefen. Dies führt dazu, dass gewisse Abweichungen wie in Tabelle 6 auftreten.

Tabelle 6: Abweichung der Messwerte.

Tabelle 3 verglichen mit den Literaturwerten [2] in %			Tabelle 5 verglichen mit Tabelle 3 in %	
Loch	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$
4	2,55	5,45	2,49	4,69
5	2,51	3,73	8,97	3,05
6	4,37	3,83	3,76	3,10
7	5,90	3,22	3,81	3,17
8	9,06	2,56	5,04	3,43
9	14,52	0,95	8,37	5,37
10	102,03	/	29,4	/

Die Abweichungen, wie der A-Scan mit den Literaturwerten sowohl als auch der B-Scan mit den A-Scan, sind sehr gering. Dadurch sind die Werte in einem annehmbaren Bereich und legitim. Bei Lochnummer zehn sticht der Wert mit 102% heraus, welche auf

eine mögliche Fehlerquelle deutet. Angenommen waren Loch drei bis zehn, wobei die zehn bei gedrehtem Block nicht messbar war. Zudem kommen gewisse Ablesefehler am Monitor zustande, wie das nicht präzise setzen des Cursors auf die Fehlstelle. Dabei war die Grafik ständig am Arbeiten. Dennoch sind die Werte akzeptabel. Im zweiten Teil der Aufgabe ist auffällig, dass die Grafik mit der 1 MHz Sonde deutlich breiter angeordnet ist, wodurch die Messung der Laufzeit und Störstelle schwerer fiel. Bei der 2 MHz Sonde waren die Peaks deutlicher zu erkennen, was dazu führt, dass diese Messung mit einer 2 MHz Sonde deutlich effektiver ist. Grundsätzlich eignen sich beide Methoden, A-Scan und B-Scan, zur Untersuchung der Störstellen aber dennoch können kleine systematische Fehler auftreten.

Im letzten Teil der Aufgabenstellung war die Untersuchung eines Tumors an einem Brustmodell. Jedoch waren die Methoden mit der vorhandenen Apparatur nicht funktionstüchtig. Das Ertasten des Tumors war aufklärend. Die Ermittlung des Tumors wurde mit Hilfe von mehreren Scans durchgeführt andererseits ohne einen klare Feststellung. Dementsprechend wurde die letzte Aufgabe nur ausprobiert und in der Auswertung sowie Durchführung nicht erwähnt.

7 Anhang

[illegible]

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Scanverfahren in der Ultraschalltechnik*. 2022. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1977199/mod_resource/content/2/US2.pdf (besucht am 12.04.2022).
- [2] Evident. *Schallgeschwindigkeit im Material*. 2022. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 13.04.2022).
- [3] Schweizer-fn. *Schallgeschwindigkeit verschiedener Stoffe*. 2022. URL: <https://www.schweizer-fn.de/stoff/akustik/schallgeschwindigkeit.php> (besucht am 13.04.2022).