

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Kalina Toben

kalina.toben@tu-dortmund.de

Daniel Wall

daniel.wall@tu-dortmund.de

Durchführung: 09.04.2019

Abgabe: 16.04.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Durchführung	4
4 Auswertung	6
4.1 Bestimmung der Größe der Fehlstellen im Acrylblock	6
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens	6
4.3 Bestimmung der Abmessungen der Störstellen mittels B-Scan	8
4.4 Bestimmung des Herzvolumens	9
5 Diskussion	10
Literatur	11

1 Zielsetzung

In diesem Versuch werden mit drei Scan-Verfahren der Ultraschalltechnik Fehlstellen in einem Acrylblock untersucht, und Volumen und Frequenz eines Herzmodells bestimmt.

2 Theorie

Der Frequenzbereich des Ultraschalls reicht von ca. 20 kHz bis ca. 1 GHz. Schall bewegt sich durch Druckschwankungen fort und ist eine longitudinale Welle

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

wobei $Z = c \cdot \rho$ die akustische Impedanz ist, mit ρ als Dichte des Materials. Die Schallgeschwindigkeit wird durch die Variable c beschrieben. Diese hängt in Flüssigkeiten von der Kompressibilität und der Dichte der Flüssigkeit ab:

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

und in einem Festkörper von dem Elastizitätsmodul E

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

Auf Grund von Schubspannungen breiten sich die Schallwellen in Festkörpern auch als Transversalwellen aus. Da sich Schall wie eine elektromagnetische Welle verhält, können Reflexion und Brechung auftreten. Der Reflexionskoeffizient R bestimmt sich aus der Impedanz der beiden Materialien

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2. \quad (4)$$

Aus der Relation

$$T + R = 1, \quad (5)$$

lässt sich der Transmittierte Teil T berechnen. Ein Teil ihrer Energie geht durch Absorption verloren, und somit nimmt die Intensität exponentiell nach der Strecke x ab:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{\alpha x}, \quad (6)$$

wobei α der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude ist. Auf Grund dieser Absorption vor allem in Luft, wird ein Kontaktmittel zwischen Schallgeber und untersuchendem Material verwendet.

Ultraschall kann zum Beispiel durch den piezo-elektrischen Effekt erzeugt werden. Dazu wird ein Piezokristall in einem elektrischen Wechselfeld zu Schwingungen angeregt, wobei Ultraschallwellen abgestrahlt werden.

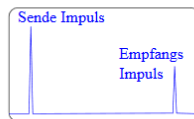
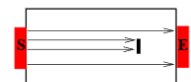
In der Ultraschalltechnik werden zwei Verfahren angewendet, welche in Abbildung (1) schematisch dargestellt sind. Bei dem Durchschallungs-Verfahren werden der Schallimpuls und der Empfangsimpuls aufgefangen. Ob sich eine Fehlstelle in der Probe befindet, ist an der Messung einer schwächeren Intensität am Empfänger zu erkennen. Anders als beim Durchschallungs-Verfahren, kann beim Impuls-Echo-Verfahren die Lage und Größe der Fehlstelle bestimmt werden. Der Sender ist hier gleichzeitig auch der Empfänger. Der Impuls wird reflektiert und vom Empfänger wieder aufgenommen. Je nachdem wie hoch das Echo ist, lässt sich die Größe der Fehlstelle bestimmen. Die Lage der Fehlstelle wird über

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

bestimmt.

Drei verschiedene Darstellungsarten können die Laufzeit darstellen. Mit dem A-Scan (Amplituden Scan) werden die Amplituden des Echos in Abhängigkeit der Laufzeit dargestellt. Der B-Scan (Brightness Scan) stellt die Amplituden in Helligkeitsabstufungen dar, wobei ein zweidimensionales Bild entsteht. Mit dem TM-Scan (Time-Motion Scan) kann eine zeitliche Bildfolge aufgenommen werden.

Durchschallungs-Verfahren



Impuls-Echo-Verfahren

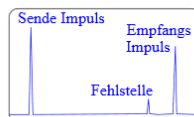
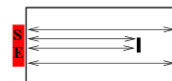


Abbildung 1: Schema des Durchschallungs- und des Impuls-Echo-Verfahrens. [2, S.2]

3 Durchführung

Zur Verfügung stehen ein Ultraschallechoskop, ein Rechner und drei Ultraschallsonden mit den Frequenzen 1MHz, 2MHz und 4MHz. Bidestiliertes Wasser wird als Kontaktmittel verwendet.

Zunächst soll ein Acrylblock, welche mehrere Bohrungen (s. Abbildung (2)) besitzt, mit dem A-Scan untersucht werden. Dazu werden die Abmessungen des Blocks bestimmt. Mit Hilfe des Impuls-Echo-Verfahrens sollen die Bohrungen lokalisiert werden, indem Wasser auf die zu untersuchende Seite des Blocks getropft wird, und mit der 1MHz Sonde der Block untersucht wird. Mit dem Programm AScan können auf dem Rechner die Schalllaufzeiten an den Stellen der Bohrungen bestimmt werden, woraus die Tiefe der Fehlstellen ermittelt wird. Der Block wird um 180° gedreht und das gleiche wird noch einmal durchgeführt.

Als nächstes wird das Auflösungsvermögen der benachbarten Fehlstellen 1 und 2 untersucht. Mit dem A-Scan sollen diese beiden Stellen abgetastet werden, wobei alle drei Sonden benutzt werden sollen.

Dann wird der Acrylblock mit dem B-Scan untersucht. Diesmal wird die 2MHz Sonde verwendet. Die Sonde muss langsam und mit konstanter Geschwindigkeit über den Block geführt werden, damit ein gutes Bild erzeugt werden kann. Auch hier wird der Block wieder gedreht, und das gleiche erneut durchgeführt. Aus den erstellten Bildern werden die Abmessungen der Störstellen bestimmt.

Zuletzt soll ein Herzmodell mit dem TM-Scan untersucht werden. Das Herzmodell besteht aus einem Doppelgefäß mit einer beweglichen Membran, die mit einem Gummiball bewegt werden kann. Das Modell wird zu einem Drittel mit Wasser befüllt und die Sonde wird gerade auf die Wasseroberfläche gesetzt. Mit Hilfe des A-Scans werden die Laufzeiten des Echos bestimmt. Dann wird das Herzvolumen vergrößert, indem die Membran periodisch gewölbt wird. Diese erstellte Frequenz wird mit dem TM-Scan aufgenommen, und kann dadurch bestimmt werden. Außerdem wird aus der Kurve das Herzvolumen ermittelt.

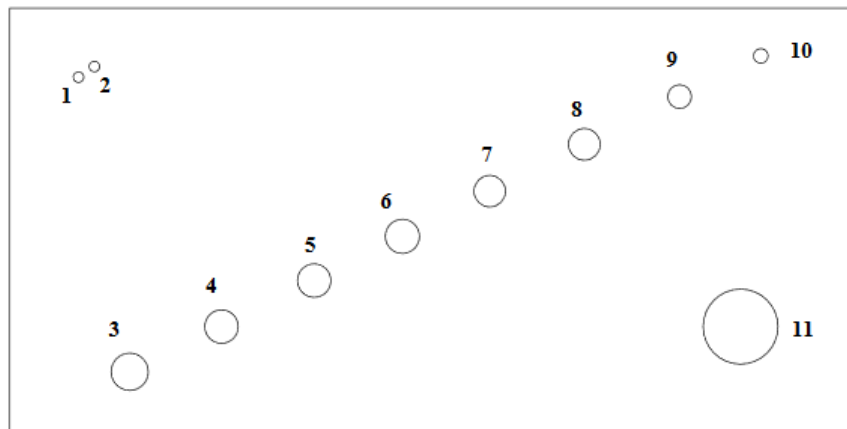


Abbildung 2: Darstellung des Acrylblocks mitsamt Bohrungen. [2, S.4]

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Größe der Fehlstellen im Acrylblock

Die Höhe h des Acrylblocks beträgt 8,35 cm und die Schallgeschwindigkeit in Acryl beträgt $c_A = 2730 \text{ m/s}$ [3]. Die gemessene Zeit des A-Scans ohne Fehlstelle beträgt $t = 60,5 \mu\text{s}$.

In Tabelle 1 befinden sich die Schalllaufzeiten des A-Scans von der oberen $t_{A,o}$ und unteren $t_{A,u}$ Kante zur Fehlstelle sowie die damit und mithilfe der Gleichung 7 berechneten Abstände zur oberen $s_{A,o}$ und unteren $s_{A,u}$ Kante, abzüglich der 0,2 cm dicken Schutzschicht der Sonde, dessen Verzögerung in jeden Scan einfließt. Aus den beiden Abständen lassen sich die Durchmesser der Fehlstellen

$$d_A = h_A - (s_{A,o} + s_{A,u}) \quad (8)$$

berechnen, welche ebenfalls in Tabelle 1 aufgelistet sind.

Tabelle 1: Gemessene Abstände der Fehlstellen in dem Acrylblock.

Fehlstelle	$t_o/\mu\text{s}$	$t_u/\mu\text{s}$	$s_{A,o}/\text{cm}$	$s_{A,u}/\text{cm}$	$d_A \text{ cm}$
3	46,7	11,9	5,33	1,21	1,71
4	41,4	18	4,71	1,93	1,62
5	36	24,1	4,07	2,66	1,53
6	30,5	30,5	3,41	3,41	1,43
7	24,5	36,3	2,70	4,10	1,45
8	18,9	42,1	2,04	4,79	1,43
9	13,1	47,9	1,35	5,48	1,43
10	7,5	53,7	0,69	6,16	1,40
11	42,5	13,3	4,84	1,38	2,04

4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

In Abbildung 3 bis 5 ist der A-Scan mit Sonden unterschiedlicher Frequenz von der oberen Kante zu den Fehlstellen 1 und 2 dargestellt, an dessen Positionen sich die Cursor befinden.

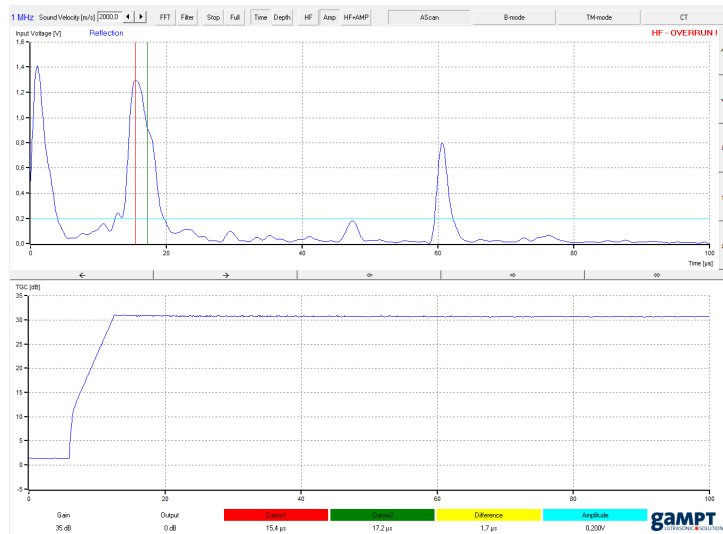


Abbildung 3: Untersuchung der Löcher 1 und 2 mit Sonde mit 1MHz.

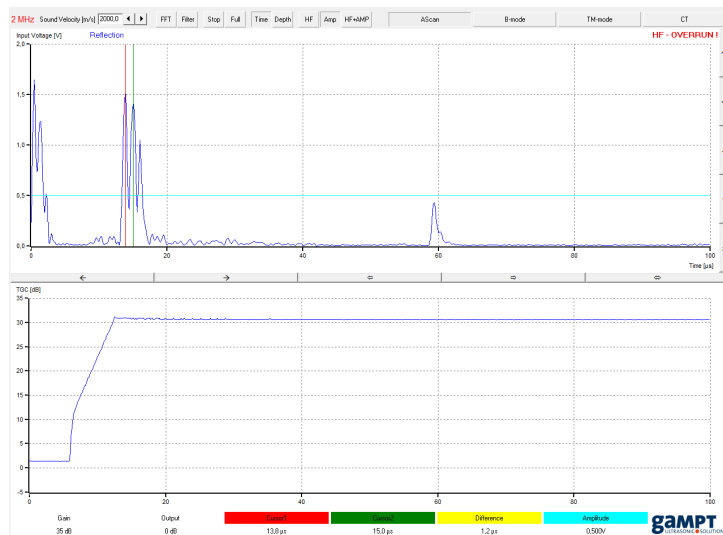


Abbildung 4: Untersuchung der Löcher 1 und 2 mit Sonde mit 2MHz.

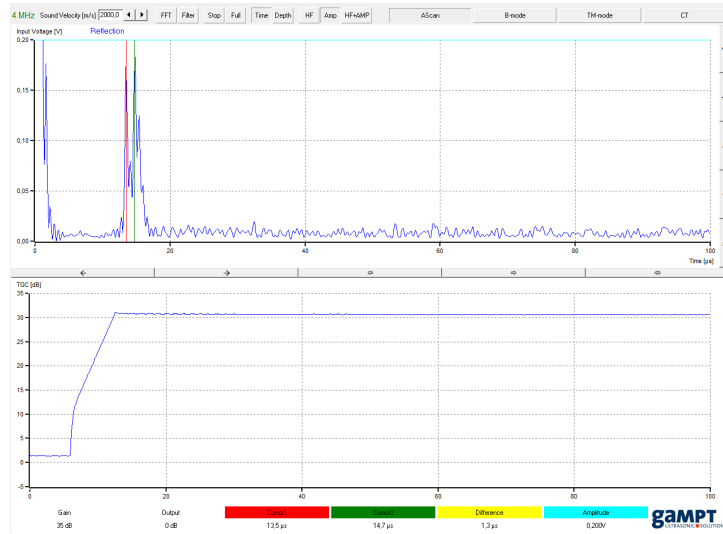


Abbildung 5: Untersuchung der Löcher 1 und 2 mit Sonde mit 4MHz.

4.3 Bestimmung der Abmessungen der Störstellen mittels B-Scan

In Abbildung 6 und 7 ist der B-Scan des Blocks dargestellt. Mit der Eingabe der Schallgeschwindigkeit in Acryl c_A in das verwendete Programm lassen sich die Abstände zur oberen $s_{B,o}$ und unteren $s_{B,u}$ Kante auslesen. Aus diesen lässt sich mit Gleichung 8 erneut der Durchmesser der Fehlstellen d_B bestimmen. Die genannten Abstände und die Durchmesser sind in Tabelle 2 notiert.

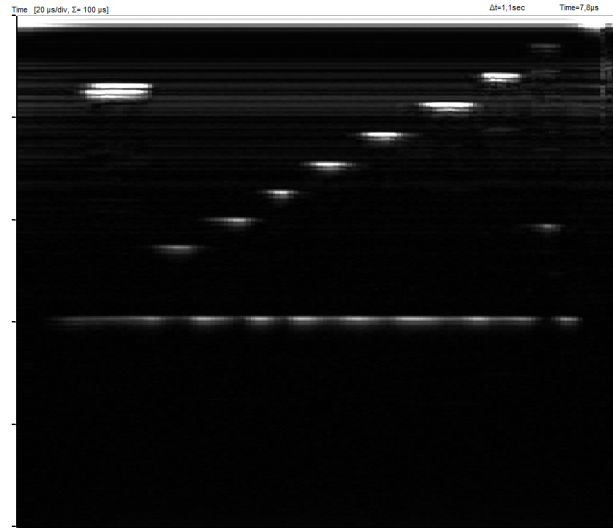


Abbildung 6: Abbildung des B-Scans von der oberen Kante.

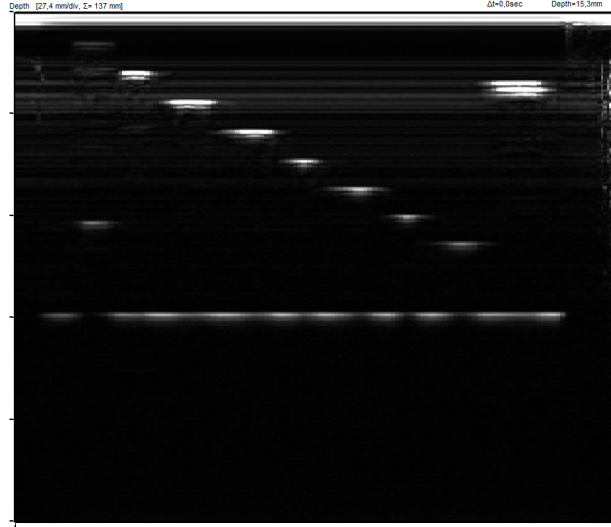


Abbildung 7: Abbildung des B-Scans von der unteren Kante.

Tabelle 2: Mittels B-Scan berechneten Abstände und Durchmesser.

Fehlstelle	$s_{B,o}/\text{cm}$	$s_{B,u}/\text{cm}$	d_B/cm
3	6,24	1,49	1,02
4	5,5	2,33	0,92
5	4,77	3,15	0,83
6	4,03	4,03	0,69
7	3,22	4,83	0,7
8	2,42	5,61	0,72
9	1,64	6,41	0,7

4.4 Bestimmung des Herzvolumens

In Tabelle 3 werden für die 7 simulierten Herzschläge jeweils die gemessenen Amplituden t_s und die daraus berechneten Volumina V_s aufgeführt. In Abbildung 8 ist das Diagramm des erstellten TM-Scans zu erkennen, aus dem die besagten Amplituden bestimmt werden. Das Luftvolumen, welches das Wasser beim Pumpen durch die bewegliche Membran verdrängt, wird als Kugelsegment[1] angenähert und ergibt sich zu

$$V_s = \frac{h\pi}{6} \cdot (3r^2 + h^2), \quad (9)$$

mit h nach Gleichung 7. Der Radius beträgt $r = 2,5 \text{ cm}$ und die Frequenz des simulierten Herzschlags beträgt $f = 0,45 \text{ Hz}$.

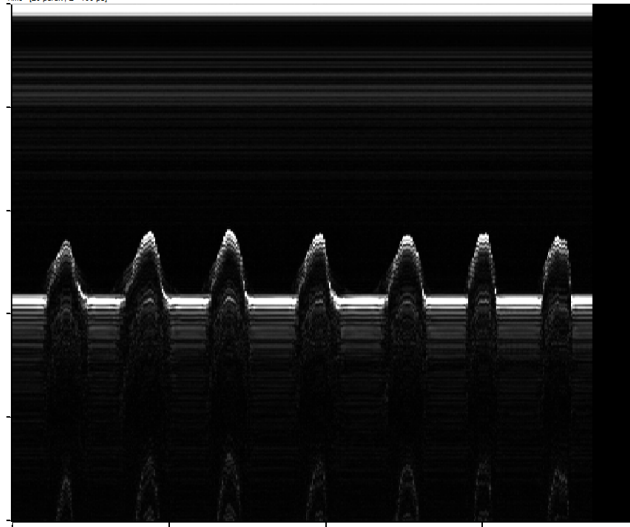


Abbildung 8: Abbildung des TM-Scans für den simulierten Herzschlag.

Tabelle 3: Gemessene Amplituden bei Herzschlagsimulation.

Schlag	$t_s/\mu\text{s}$	V_s/cm^3
1	10,98	16,48
2	12,72	19,79
3	13,29	20,94
4	12,14	18,65
5	12,42	19,20
6	12,79	19,93
7	11,56	17,55

Als Mittelwert ergibt sich mittels Mittelwerts- und Standardabweichungsformel ein Volumen von $V_m = (18,93 \pm 1,41) \text{ cm}^3$.

Mithilfe der Gleichung zur Bestimmung des Herzvolumens[2, S.5]

$$V_{\text{Herz}} = V_m \cdot f$$

ergibt sich das gesuchte Herzvolumen zu

$$V_{\text{Herz}} = (8,5 \pm 0,6) \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}.$$

5 Diskussion

Aufgrund von Fehlen der tatsächlichen Abstände der Fehlstellen zu den Kanten und der Durchmesser ist eine Auswertung der Genauigkeit der Scans nicht möglich. Auffällig ist

jedoch, dass sich die mittels A- und B-Scan ermittelten Durchmesser deutlich unterscheiden, was vielerlei Ursache haben kann. Allgemein können Fehler dadurch auftreten, dass die Schallgeschwindigkeit des Materials der Schutzschicht nicht bekannt ist, dass das Koppelmittel (welches in der Berechnung ebenfalls vernachlässigt wurde) die Sonde nicht vollständig bedeckt hat, dass die Literaturwerte der Schallgeschwindigkeit nicht exakt auf das benutzte Material zutreffen, sowie menschliche Ungenauigkeit bei der Bestimmung der Laufzeiten durch manuelle Abmessung per Cursor. Bei dem A-Scan war zudem nicht eindeutig zu erkennen, wo der Peak der reflektierten Schallwellen des Koppelmittels war.

Bei der Untersuchung des Auflösungsvermögens ist zu erkennen, dass mit steigender Frequenz die Auflösung zunimmt, da bei der Messung mit 1MHz die Löcher 1 und 2 auf dem Diagramm nicht zu unterscheiden sind, was bei Nutzung von 2 oder 4 MHz der Fall ist. Allerdings ist auch zu erkennen, dass mit steigender Frequenz die Amplitude deutlich abnimmt, was darauf hindeutet, dass diese genauere Messung nur für kürzere Laufzeiten realisierbar ist, sodass ein gewisser Kompromiss eingegangen werden muss.

Bei der Messung des Herzvolumens konnte der Herzschlag gut simuliert werden, was sich in dem relativ konstanten Schlagvolumen Schlagfrequenz widerspiegelt. Daher ergibt sich auch durch die Mittelung keine große Abweichung zu irgendeinem der gemessenen Werte. Soweit ist die Berechnung des Herzvolumens also gut möglich. Es ist anzumerken, dass dennoch die Näherung durch ein Kugelsegment als verdrängendem Volumen durchgeführt wurde, sodass der errechnete Wert trotz guter Bestimmbarkeit der Größe h also nicht genau dem tatsächlichen Wert entsprechen wird. Verglichen mit dem Herzminutenvolumen eines erwachsenen Menschen, welches etwa 5 L/min beträgt[4], ergibt sich eine Abweichung von 99%, was zum größten Teil an den deutlich kleineren Ausmaßen und dem damit kleineren verdrängten Volumen unseres Herzmodells und der verhältnismäßig niedrigen Schlagfrequenz liegt.

Literatur

- [1] Bauformeln. *Geometrie im Raum, KUGELKAPPE (KUGELSEGMENT, KUGEL-ABSCHNITT)*. 19. Apr. 2018. URL: <https://www.bauformeln.de/mathematik/geometrie-im-raum/kugelkappe/>.
- [2] TU Dortmund. *Anleitung zum Versuch US2, Ultraschall-Scan-Verfahren*. 11. Apr. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf>.
- [3] Olympus. *Tutorial für Dickenmessung, Schallgeschwindigkeiten im Material*. 19. Apr. 2018. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [4] Wikipedia. *Herzzeitvolumen*. 19. Apr. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Herzzeitvolumen>.