

Ultraschall 2

Scanverfahren

1. Januar 1970

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Ultraschall	3
2.2	Beschreibung durch Wellenfunktionen	3
2.3	Reflexion und Transmission	4
2.4	Messverfahren	4
2.4.1	Durchschallungsverfahren	4
2.4.2	Impuls-Echo-Verfahren	4
2.5	Scanmethoden	4
2.6	Herzvolumen	5
3	Aufbau	5
4	Durchführung	6
5	Auswertung	7
5.1	A-Scan	7
5.2	B-Scan	7
5.3	Auflösungsvermögen	9
5.4	TM-Scan am Herzmodell	10
6	Diskussion	12
7	Tabellen	13
	Literatur	13

1 Zielsetzung

Ziel dieses Versuches ist zum einen die Bestimmung der Größe von Störstellen in einem Acrylblock und zum anderen die Bestimmung des Herzvolumens eines Modells.

2 Theorie

Ultraschall liegt in der Frequenz über dem hörbaren Schall, folglich beginnt der Ultraschallbereich bei $\nu = 20 \text{ kHz}$. Er endet beim Übergang zum Hyperschall bei $\nu = 1 \text{ GHz}$.

2.1 Ultraschall

Die Ultraschallwellen breiten sich, wie Schallwellen, in Luft und Gasen longitudinal aus. Die Amplituden sind Druckschwankungen, sodass die Ultraschalltechnik in der Werkstoffprüfung als Methode der zerstörungsfreien Prüfung verwendet werden kann. Ultraschallwellen können mit Piezokristallen erzeugt werden. Diese werden in einem elektrischen Feld zu Schwingungen angeregt, sodass Ultraschallwellen abgestrahlt werden. Dieser piezo-elektrische Effekt kann auch zum detektieren von Ultraschallwellen verwendet werden.

2.2 Beschreibung durch Wellenfunktionen

Die Wellenfunktion, nach [1],

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

beschreibt die Ausbreitung der longitudinalen Schallwelle.

$$Z = c \cdot \rho \quad (2)$$

ist die akustische Impedanz des jeweiligen Materials. Dabei ist c die Schallgeschwindigkeit im Medium:

$$c_{\text{Fl}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}, \quad (3)$$

mit der Kompressibilität κ des Stoffes und der Dichte ρ . In Festkörpern ist die Schallausbreitung nicht rein longitudinal, sondern durch Schubspannungen auch transversal. Für die Schallgeschwindigkeit wird daher nicht die Kompressibilität, sondern das Elastizitätsmodul verwendet

$$c_{\text{Fest}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (4)$$

Durch die Streuungen und Absorptionen im Festkörper nimmt die Intensität der Welle exponentiell mit

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (5)$$

ab.

2.3 Reflexion und Transmission

Die durch eine Grenzschicht transmittierte Welle hat den Anteil

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

an der einfallenden Welle. R ist der Reflexionskoeffizient

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2. \quad (7)$$

Mit den jeweiligen akustischen Impedanzen

$$Z_i = c_i \cdot \rho_i. \quad (8)$$

2.4 Messverfahren

Beim messen mit Ultraschall gibt es verschieden Methoden wie die Messwerte genommen werden, sowie welche Messwerte beim quasi gleichen Messaufbau genommen werden.

2.4.1 Durchschallungsverfahren

Beim Durchschallungsverfahren wird der Ultraschall in eine Probe geleitet und auf der gegenüberliegenden Seite vom Sender aufgefangen. Wenn die Probe inhomogen ist, kann dies durch die abgeschwächte Intensität erkannt werden. Weitere Aussagen, wie die Position der Inhomogenität sind nicht möglich.

2.4.2 Impuls-Echo-Verfahren

Wie der Name des Verfahrens sagt, wird eine Ultraschallwelle als Impuls in das Probestück geschickt, durch die Reflexion an den Grenzflächen von Inhomogenitäten entstehen zurücklaufende Wellen. Diese werden von der Ultraschallsonde detektiert.

Durch die Laufzeit t kann bei bekannter Schallgeschwindigkeit im Material die Strecke bis zur Verunreinigung nach

$$s = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t \quad (9)$$

berechnet werden. Ist die Länge der Probe bekannt, kann alternativ auch die Schallgeschwindigkeit in dem Medium bestimmt werden:

$$c = 2 \cdot \frac{s}{t}. \quad (10)$$

2.5 Scanmethoden

Für das Impuls-Echo-Verfahren gibt es verschiedene Auswertungsmethoden.

A-Scan steht für Amplitudenscan, hierbei werden die Amplituden betrachtet, um auch die Abschwächung bestimmen zu können.

Bei einem B-Scan wird ein zweidimensionales Graustufenbild aufgenommen. Der Grauton steht dann für die Intensität der zurücklaufenden Welle.

Beim TM-Scan wird ein Ultraschallsignal mit hoher Wiederholungsfrequenz verwendet. Durch die schnelle Abfolge an Signalen kann ein Videoähnliches Signal aufgenommen werden.

2.6 Herzvolumen

Um das Herzvolumen des Modells zu bestimmen, wird das Herz als Zylinder angenommen. Das Volumen ist demnach

$$V = \pi \cdot r^2 \cdot h . \quad (11)$$

Durch das Pumpen wird das Modell aufgeblasen. Mit dem A-Scan kann die Amplitude bestimmt werden und damit das Volumen des Herzens.

3 Aufbau

Der Aufbau besteht aus einem Acrylzylinder wie er in Abbildung 1 dargestellt ist. Als Messinstrumente werden Ultraschallsonden mit verschiedenen Frequenzen benutzt. Das

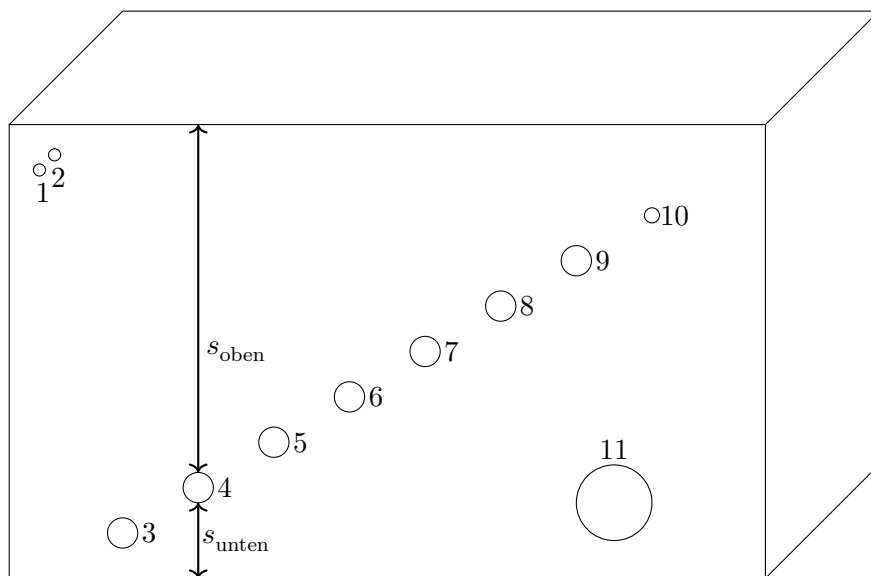


Abbildung 1: Schematische Darstellung des verwendeten Acrylblocks¹

Herzmodell ist, wie in Abbildung 2 zusehen, ein Doppelzylinder, bei dem auf der Oberseite der Mittelscheibe eine Membran angebracht ist die als Herzwand fungieren soll. Durch pumpen mit einer Handpumpe kann das Volumen geändert werden.

¹Die Abbildung wurde mit Tikz erstellt



Abbildung 2: Aufbau des verwendeten Herzmodells [2].

4 Durchführung

Für die Vermessung der Störstellen wird eine 1 MHz Sonde verwendet. Das Koppelmittel zwischen Acrylblock und Sonde ist bidestilliertes Wasser. Mit einem A-Scan werden die Laufzeiten für die Störstellen Nummer 3 bis 10 bestimmt. Im Anschluss wird der Block auf die Unterseite gedreht und diese analog vermessen.

Als nächstes wird das Auflösungsvermögen für die verschiedenen Sonden bestimmt. Dafür werden die beiden kleinen Störstellen Nummer 1 und 2, wie sie in Abbildung 1 zusehen sind, mit einem A-Scan vermessen.

Nun wird die Lage der Bohrungen mit einem B-Scan bestimmt. Dazu wird auf die Oberseite des Blockes die 2 MHz Sonde angekoppelt und mit möglichst konstanter Geschwindigkeit über den Acrylblock geschoben. Der Acrylblock wird nun auf seine Unterseite gestellt. Es wird erneut ein B-Scan durchgeführt.

Das Herzmodell nach Abbildung 2 wird mit einem Time-Motion-Scan vermessen. Die obere Hälfte des Modells wird zu $\frac{1}{3}$ mit destilliertem Wasser gefüllt. Die Sonde wird so eingespannt, dass sie knapp die Wasseroberfläche berührt. Um die Herzfrequenz zu bestimmen, wird nun periodisch gepumpt. Aus der Messkurve kann dann das Herzvolumen bestimmt werden.

5 Auswertung

Die wichtige Abmessung, die Höhe, des Acrylblocks ist

$$h_{\text{schieb}} = 8,05 \text{ cm} , \quad (12)$$

gemessen mit der Schieblehre, mit einem Puls-Echo A-Scan

$$h_{\text{A-Scan}} = 8,275 \text{ mm} . \quad (13)$$

5.1 A-Scan

Berechnet werden die Durchmesser für die Schieblehren-Messung mit

$$d = h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}} . \quad (14)$$

Bei der A-Scan-Messung muss die Koppelschicht und Sondenschicht berücksichtigt werden, dafür wird die Größe

$$\Delta h = |h_{\text{schieb}} - h_{\text{A-Scan}}| \quad (15)$$

eingeführt. Der Durchmesser der Störstellen ist somit

$$d = h + \Delta h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}} . \quad (16)$$

In Tabelle 3, Kapitel 7, stehen die Messwerte und die Ergebnisse, sowie der prozentuale Fehler nach

$$\Delta d_{\%} = \frac{|\text{Soll} - \text{Ist}|}{\text{Soll}} \cdot 100 \% . \quad (17)$$

5.2 B-Scan

Die gemessene Tiefe beim B-Scan ist

$$h_{\text{B-Scan}} = 80,66 \text{ mm} . \quad (18)$$

Die Werte der jeweiligen Störstelle stammen aus den Abbildungen 3 und 4. Bei diesen wurde die Farbe invertiert um Tinte zu sparen. Die Rechnung verläuft analog zu der beim A-Scan, Kapitel 5.1. Die Ergebnisse stehen auch in Kapitel 7, Tabelle 3.

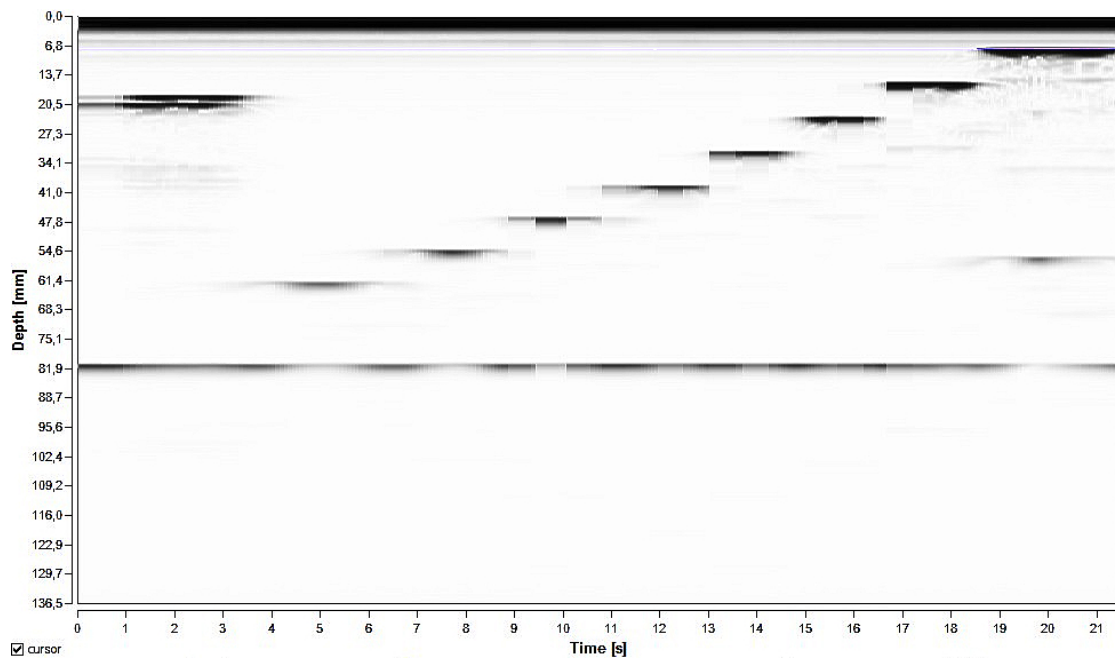


Abbildung 3: B-Scan von oben.

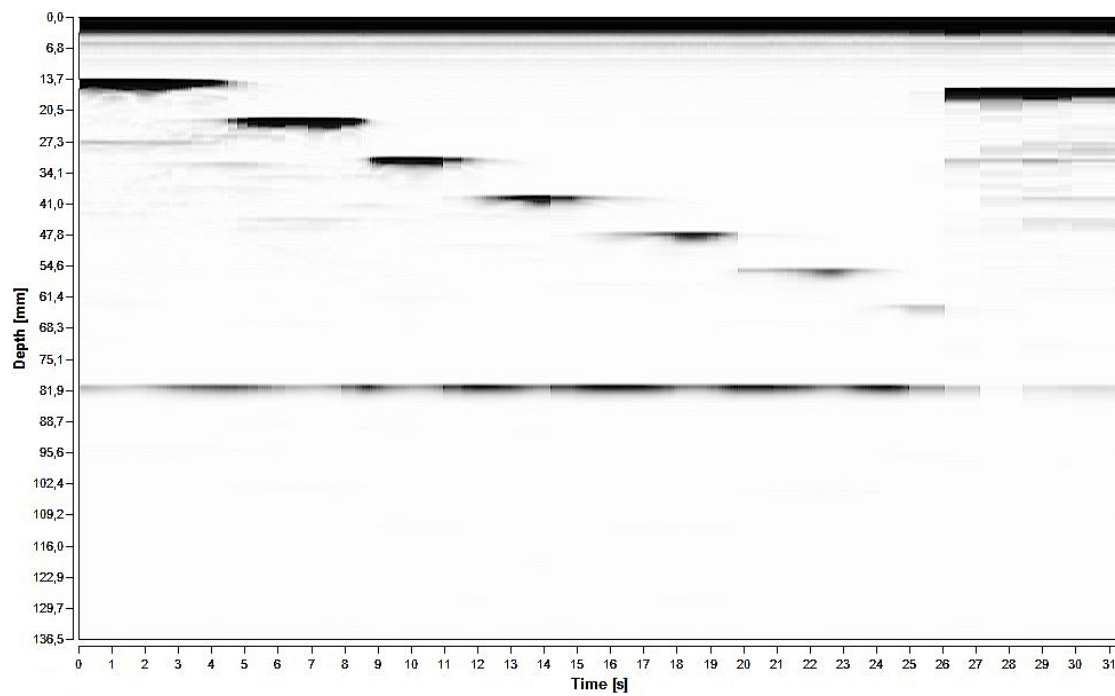


Abbildung 4: B-Scan von unten.

5.3 Auflösungsvermögen

Die beiden benachbarten Störstellen 1, 2, vgl. Abbildung 1, wurden mit allen drei verfügbaren Sonden vermessen, die Messwerte stehen in Tabelle 1. Die Abbildung 5 zeigt die A-Scans von Ultraschallsonden mit unterschiedlichen Frequenzen. Die Achse zeigt die Tiefe in mm.

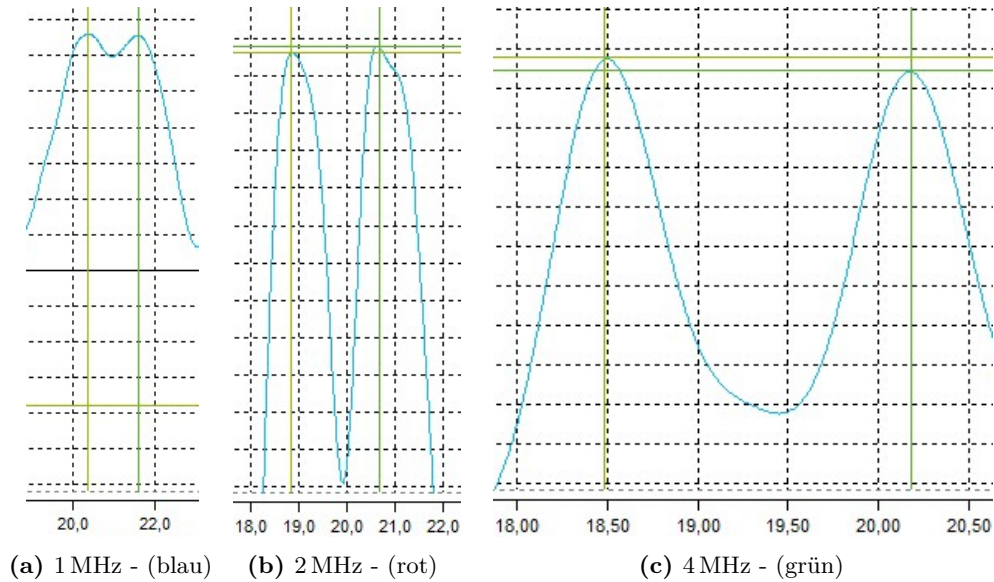


Abbildung 5: Scans der jeweiligen Sonde.

Tabelle 1: Messwerte der Auflösungs-Messung.

Farbe	ν / MHz	h_1 / mm	h_2 / mm	A_1 / V	A_2 / V
blau	1	20,38	21,62	0,663	0,658
rot	2	18,82	20,66	1,233	1,242
grün	4	18,49	20,18	0,294	0,286

5.4 TM-Scan am Herzmodell

Der Durchmesser des Herzmodells ist

$$d = 4,94 \text{ cm} . \quad (19)$$

Die Tiefe ohne Auslenkung

$$h_0 = 44,46 \text{ mm} . \quad (20)$$

Das Volumen wird mit Gleichung (11) bestimmt. Die Frequenzen ν in Tabelle 2 werden aus den Zeiten t der jeweiligen und nachfolgenden Zeile bestimmt,

$$\nu = \frac{1}{2 \cdot (t_i - t_{i+1})} . \quad (21)$$

Der Mittelwert nach

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N x_i \quad (22)$$

mit dem Fehler

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=0}^N (x_k - \bar{x})^2} \quad (23)$$

ergibt für die Frequenz

$$\bar{\nu} = (0,237 \pm 0,005) \text{ Hz} . \quad (24)$$

Mit Formel (11) wird das Herzvolumen bestimmt. Der Fehler folgt mit der Gaußschen Fehlerfortpflanzung

$$\Delta f = \sqrt{\sum_{j=0}^K \left(\frac{df}{dy_j} \Delta y_j \right)^2} \quad (25)$$

zu

$$\Delta HVZ = (EDS - EDV) \cdot \Delta \bar{\nu} . \quad (26)$$

Mit dem Mittelwert und zugehörigem Fehler, Gleichungen (22) und (23), folgt das Herzvolumen

$$\overline{HVZ} = (3,3 \pm 0,2) \text{ cm}^3 \quad (27)$$

$$\overline{HVZ} = (3,3 \pm 0,2) \text{ mL} . \quad (28)$$

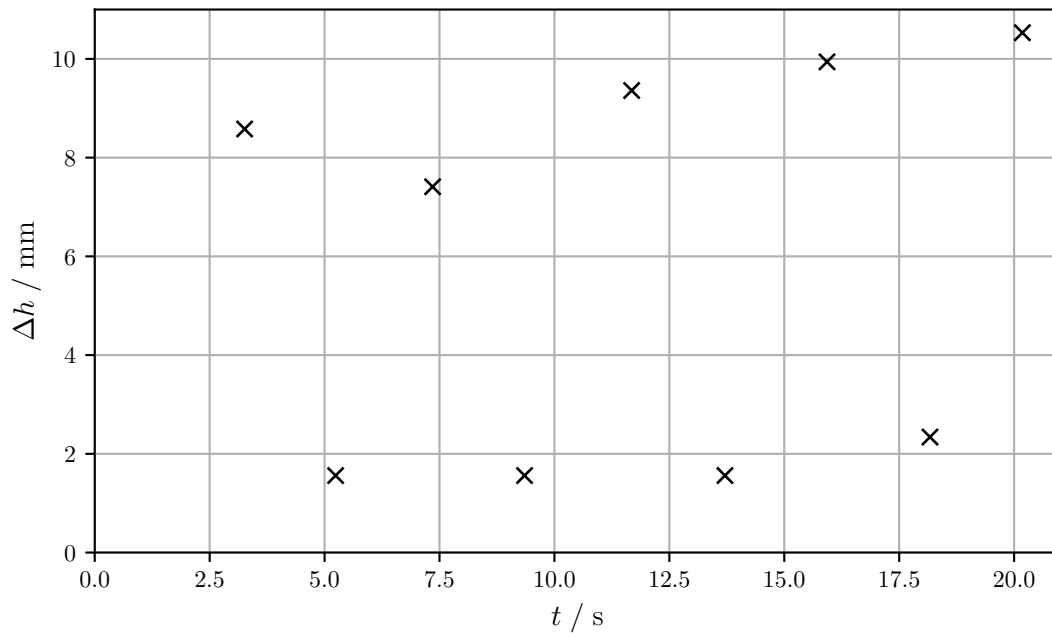


Abbildung 6: Messwerte der Herzwelle.

Tabelle 2: Messwerte und Ergebnisse am Herzmodell.

t / s	h / mm	$\Delta h / mm$	ν / Hz	EDV / mL	EDS / mL	HZV / mL
3,26	35,88	8,58	0,253	68,77		\pm
5,24	42,90	1,56	0,237		82,22	$3,19 \pm 0,09$
7,35	37,05	7,41	0,250	71,01		$2,66 \pm 0,06$
9,35	42,90	1,56	0,215		82,22	$2,66 \pm 0,06$
11,68	35,10	9,36	0,246	67,27		$3,55 \pm 0,08$
13,71	42,90	1,56	0,225		82,22	$3,55 \pm 0,08$
15,93	34,52	9,94	0,223	66,16		$3,81 \pm 0,08$
18,17	42,12	2,34	0,249		80,73	$3,46 \pm 0,07$
20,18	33,93	10,53		65,03		$3,72 \pm 0,08$

6 Diskussion

Das Ausmessen der Störstellen mit der Schieblehre ist nicht exakt, da bei den Messungen nicht unbedingt der kleinste Abstand zwischen Kante und Störstelle genommen werden konnte, da die Messschenkel zu groß für die Abmessungen der Störstellen sind. Das ist daran zu erkennen, dass selbst nur die Messungen mit der Schieblehre einen Fehler zwischen 11 und 43 % zu einander haben.

Dies könnte mit einer Schieblehre verbessert werden, bei der die Messschenkel kleiner sind.

Die Vermessung mit dem A-Scan ist genauer als die Längenmessung mit der Schieblehre, trotz der Koppel- und Schutzschicht ist sie genauer an den Werten der Durchmesser. Der B-Scan ist nochmal genauer an den Durchmesser-Werten, das kann daran liegen, dass die Koppelschicht durch das Verschieben dünner ist als beim stationären A-Scan.

Bei der Messung zum Auflösungsvermögen ist in der Abbildung 5 zu erkennen, dass eine höhere Frequenz der Sonde auch eine höhere Auflösung bringt. Allerdings wird eine höhere Frequenz deutlich mehr absorbiert.

Die Messung des Herzvolumens liefert ein Ergebnis mit einer kleinen Abweichung, da für das Modell kein Literaturwert bekannt ist, kann über diesen Wert keine Aussage zur Genauigkeit getroffen werden.

7 Tabellen

Tabelle 3: Messwerte und Ergebnisse des B-Scans.

Nr. nach 1	Durchmesser d [mm]	Schieblehre				A-Scan				B-Scan			
		s_{unten} [cm]	s_{oben} [cm]	d [mm]	Δd [%]	s_{unten} [mm]	s_{oben} [mm]	d [mm]	Δd [%]	s_{unten} [mm]	s_{oben} [mm]	d [mm]	Δd [%]
3	6	1,25	6,1	7,0	14,29	15,62	63,8	5,58	7,53	13,6	61,95	5,27	13,85
4	5	2,2	5,4	4,5	11,11	24,2	56,32	4,48	11,61	22,2	54,6	4,02	24,38
5	3	3,0	4,65	4,0	25,0	32,56	48,86	3,58	16,20	30,57	46,75	3,5	14,29
6	2	3,85	3,85	3,5	42,86	40,95	41,52	2,53	20,95	39,21	39,67	1,94	3,09
7	2	4,7	3,1	2,5	20,0	49,41	33,3	2,29	12,66	47,3	31,65	1,87	6,95
8	2	5,45	2,3	3,0	33,33	57,27	25,34	2,39	16,32	55,35	23,38	2,09	4,31
9	2	6,2	1,5	3,5	42,86	65,22	17,22	2,56	21,88	63,44	15,53	1,85	8,11
10	2	7,0	0,7	3,5	42,86	0,0	9,05	75,95	97,37	0,0	7,63	73,19	97,27
11	9,1	1,5	5,5	10,5	13,33	17,53	58,01	9,46	3,81	16,84	56,17	7,81	16,52

Literatur

- [1] *Anleitung zu US2, Scanverfahren in der Ultraschalltechnik*. URL: <http://129.217.224.2/HOME PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf> (besucht am 12.06.2018).
- [2] *Echokardiographie*. URL: http://www.gampt.de/content/cms/upload/web.Produkte/GAMPT-10220_heart_model.jpg (besucht am 23.06.2018).