

## VERSUCH US2

# Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Lars Kolk  
lars.kolk@tu-dortmund.de

Julia Sobolewski  
julia.sobolewski@tu-dortmund.de

Durchführung: 05.06.2018

Abgabe: 12.06.2018

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2 Theorie</b>	<b>3</b>
2.1 Schall im Medium . . . . .	3
2.2 Erzeugung von Ultraschall und Anwendung . . . . .	4
2.2.1 Erzeugung . . . . .	4
2.2.2 Anwendung . . . . .	4
<b>3 Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan und Untersuchung des Auflösungsvermögens . . . . .	5
3.2 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan . . . . .	5
3.3 Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan . . . . .	5
<b>4 Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1 Untersuchung eines Acrylblocks . . . . .	6
4.1.1 A-Scan . . . . .	6
4.1.2 B-Scan . . . . .	6
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens . . . . .	8
4.3 Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan . . . . .	9
<b>5 Diskussion</b>	<b>11</b>
<b>Literatur</b>	<b>11</b>

# 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen die Fehlstellen eines Acrylblocks mithilfe unterschiedlicher Scanverfahren untersucht und ein TM-Scan eines Herzmodells aufgenommen werden.

## 2 Theorie

### 2.1 Schall im Medium

Der in diesem Versuch verwendete Schall befindet sich im Frequenzbereich 20 kHz - 1 GHz. Schall in diesem Frequenzbereich wird als Ultraschall bezeichnet und ist vom menschlichen Gehör nicht wahrnehmbar.

Schallwellen pflanzen sich in Gasen und Flüssigkeiten durch Druckschwankungen longitudinal fort. Es handelt sich bei Schall also um eine Longitudinalwelle. Für die orts- und zeitabhängige Druckverteilung gilt:

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

( $Z \hat{=}$  akustische Impedanz =  $c\rho$ ,  $c \hat{=}$  Schallgeschwindigkeit,  $\rho \hat{=}$  Dichte des Mediums )

Eine weitere Eigenschaft von Schallwellen lässt sich aus Gleichung (1) entnehmen: Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig vom Medium. Für die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten lässt sich der Zusammenhang

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

( $\kappa \hat{=}$  Kompressibilität der Flüssigkeit)

aufstellen. Aufgrund auftretender Schubspannungen können in Festkörpern auch Transversalwellen auftreten, weshalb für die Schallgeschwindigkeit im Festkörper das Elastizitätsmodul  $E$  von wichtiger Bedeutung ist. Mit diesem ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern der Zusammenhang

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

Jedoch ist nicht nur die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle vom Medium abhängig, sondern auch die abnehmende Intensität  $I$  im Medium. Für diese gilt:

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

( $\alpha \hat{=}$  Absorptionskoeffizient)

Da Luft die Intensität von Schallwellen stark abschwächt, wird in diesem Versuch ein Kontaktmittel verwendet. Geht die Schallwelle von einem Medium mit akustischer Impedanz  $Z_1$  in ein Medium akustischer mit Impedanz  $Z_2$  über, so wird ein Teil der

Schallwelle reflektiert, während der andere Teil durch die Grenzfläche transmittiert. Für den Reflektionskoeffizienten gilt

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

während für den Transmissionskoeffizienten folglich

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

gilt.

## 2.2 Erzeugung von Ultraschall und Anwendung

### 2.2.1 Erzeugung

Ultraschall kann mit einem sogenannten piezoelektrischen Kristall erzeugt und gemessen werden. Zum Erzeugen von Ultraschallwellen wird dieser in einem, mit Wechselstrom betriebenden, E-Feld platziert. Der Kristall wird dort zu Schwingungen angeregt, wodurch Ultraschall entsteht. Wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt, kommt es zur Resonanz, wodurch sehr große Schwingungsamplituden erreicht werden. Der Kristall kann ebenso als Empfänger genutzt werden, da dieser auch durch Schall in Schwingungen versetzt werden kann.

### 2.2.2 Anwendung

Es gibt zwei grundlegende Techniken, mit denen, unter Einsatz von Ultraschall, Informationen über das zu untersuchende Objekt erhalten werden können. Eine der Verfahrensweisen ist die Durchschallungs-Methode. Bei dieser liegen Sender und Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten der Probe. Der Sender sendet Schallimpulse aus, die durch den zu untersuchenden Körper wandern und schließlich zum Empfänger gelangen. Befinden sich Fehlstellen im Körper, so registriert der Empfänger eine verminderte Intensität. So können zwar Fehlstellen registriert, aber nicht lokalisiert werden. Um Fehlstellen zu lokalisieren, kann die zweite Verfahrensweise, das Impuls-Echo-Verfahren, verwendet werden. Bei dieser befinden sich Sender und Empfänger auf der gleichen Seite der Probe. Trifft der ausgesendete Schallimpuls auf eine Fehlstelle, so wird ein Teil der Welle reflektiert und gelangt zum Empfänger. Durch den Zusammenhang

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

kann die Fehlstelle lokalisiert werden, da durch den Messvorgang Schallgeschwindigkeit und Zeit bekannt sind.

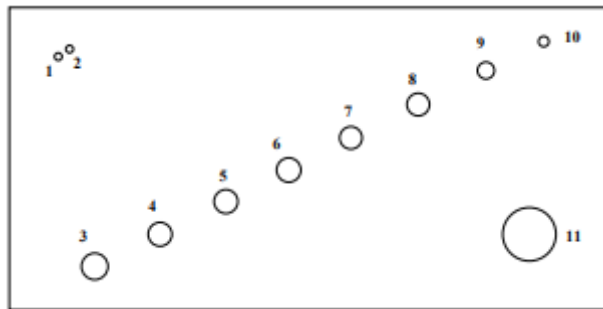
Dabei können bei diesem Verfahren, je nach zu untersuchenden Zusammenhang, verschiedene Scan-Methoden verwendet werden: Der sogenannten A-Scan, ein Amplituden-Scan, wird zur Abtastung verschiedener Strukturen eingesetzt. bei diesem handelt es sich um ein eindimensionales Verfahren, bei dem die Echoamplituden als Funktion der Laufzeit dargestellt werden. Bei einem B-Scan (Brightness-Scan) werden die gemessenen Amplituden in

verschiedenen Farben dargestellt, sodass ein zweidimensionales Schnittbild entsteht. Eine ebenfalls verbreitete Scan-Methode ist der TM-Scan, auch Time-Motion Scan genannt. Bei diesem wird durch schnelle Abtastung eine zeitliche Bildfolge aufgenommen, wodurch Bewegungen, wie etwa von Organen, sichtbar gemacht werden können.

### 3 Durchführung

#### 3.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan und Untersuchung des Auflösungsvermögens

In diesem Versuchsteil wird zunächst ein Acrylblock vermessen. In diesem befinden sich Störstellen, wie in Abbildung 1 zu sehen ist.



**Abbildung 1:** Schematische 2D-darstellung des zu vermessenden Blocks [1, S. 5]

Daraufhin wird die Lage der Störstellen mithilfe des Impuls-Echo-Verfahrens bestimmt. Dazu wird der Block zunächst auf ein Papiertuch gestellt und daraufhin mit einer 2 MHz-Sonde gekoppelt. Als Kopplungsmittel wird Wasser verwendet. Mit einem A-Scan wird dann von mehreren Seiten die Tiefe der Störstellen gemessen.

Zur Untersuchung des Auflösungsvermögens werden die Fehlstellen 1 und 2 aus Abbildung 1 mithilfe des A-Scans genauer untersucht. Dazu werden sie zunächst mit einer 2 MHz gemessen. Daraufhin wird der Vorgang mit sowohl mit einer 1 MHz-Sonde als auch mit einer 4 MHz-Sonde wiederholt.

#### 3.2 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan

In diesem Versuchsteil wird der Aufbau aus Kapitel 3.1 verwendet. Jedoch wird dieses mal ein B-Scan durchgeführt, indem die gekoppelte Sonde mit möglichst konstanter Geschwindigkeit über den Acrylblock geführt wird. Daraufhin wird der Acrylblock so gedreht, dass die vorher unten liegende Seite oben liegt und die Messung erneut durchgeführt.

#### 3.3 Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan

Zunächst wird das Herzmodell zu einem Drittel mit Wasser befüllt. Daraufhin wird eine 2 MHz Sonde so positioniert, dass diese gerade das Wasser berührt. Daraufhin

wird mithilfe eines Gummiballs die Membran periodisch gewölbt und ein TM-Scan durchgeführt.

## 4 Auswertung

### 4.1 Untersuchung eines Acrylblocks

#### 4.1.1 A-Scan

In Tabelle 1 befinden sich die aufgenommenen und berechneten Werte.

**Tabelle 1:** Die mithilfe des A-Scans aufgenommenen und berechneten Werte

Lochnummer	$d_{\text{theo}} / \text{cm}$	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	$d / \text{mm}$	Abweichung
3	0,6	46,34	61,25	11,00	13,01	5,73	4,48%
4	0,5	40,63	53,46	17,14	21,40	5,14	2,88%
5	0,4	35,23	46,09	23,91	30,64	3,27	18,15%
6	0,3	29,84	38,73	29,73	38,58	2,69	10,43%
7	0,2	23,70	30,35	35,55	46,53	3,12	56,19%
8	0,2	18,09	22,69	41,58	54,76	2,55	27,52%
9	0,2	12,17	14,61	47,19	62,41	2,97	48,68%
10	0,2	6,35	6,67	53,33	70,80	2,54	26,84%
11	0,9	42,22	55,63	12,49	15,05	9,32	3,57%

Die Werte für  $s_{\text{oben}}$  und  $s_{\text{unten}}$  ergeben sich aus (8)

$$s = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{Acryl}} \cdot t - \xi. \quad (8)$$

( $c_{\text{Acryl}} = 2730 \text{ m/s}$  [2],  $\xi = 0,2 \text{ cm} \hat{=}$  Anpassungsschicht der Ultraschallsonde)

Die Dicke der Fehlstellen berechnet sich aus (9)

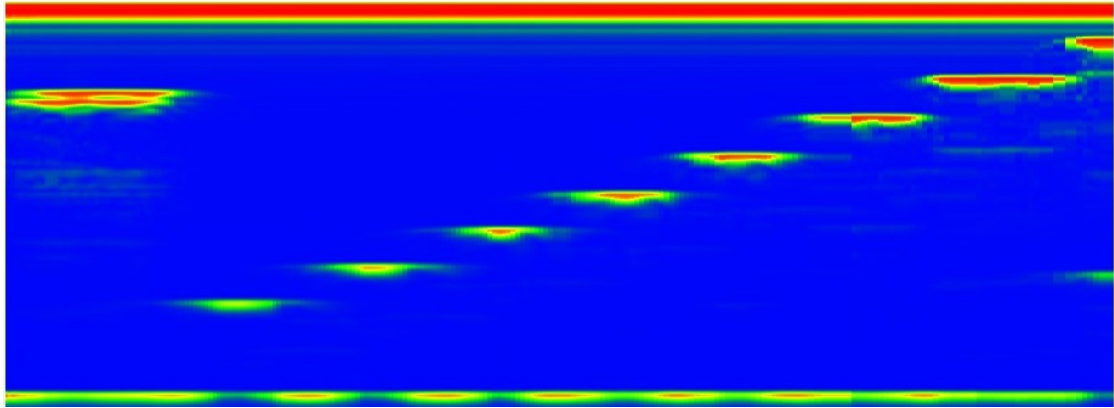
$$d = h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}}. \quad (9)$$

( $h = 8 \text{ cm} \hat{=}$  Höhe des Zylinders)

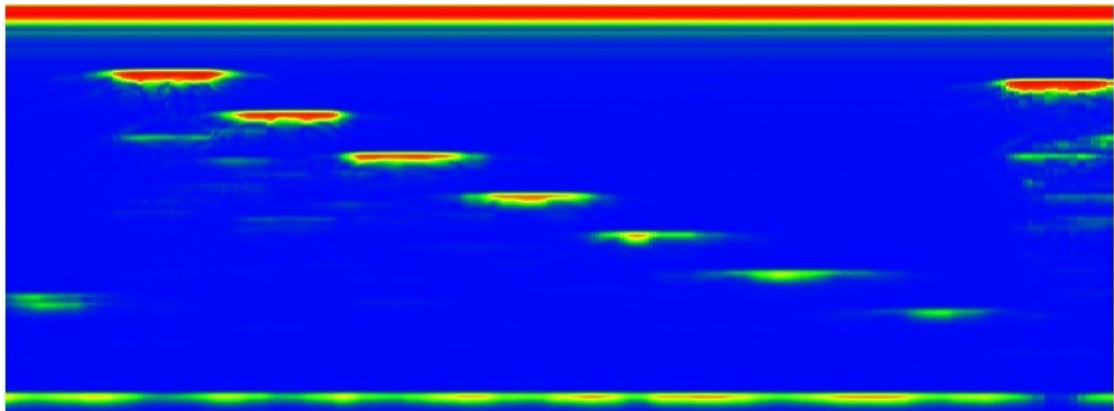
#### 4.1.2 B-Scan

In Abbildung 2 befinden sich die beiden aufgenommenen B-Scans.

**Abbildung 2:** Mit dem B-Scan untersuchter Acrylblock



(a) Acrylblock von oben mit einer 2 MHz-Sonde



(b) Acrylblock von unten mit einer 2 MHz-Sonde

In Tabelle 2 befinden sich die aufgenommenen und berechneten Werte

**Tabelle 2:** Die mithilfe des B-Scans aufgenommenen und berechneten Werte

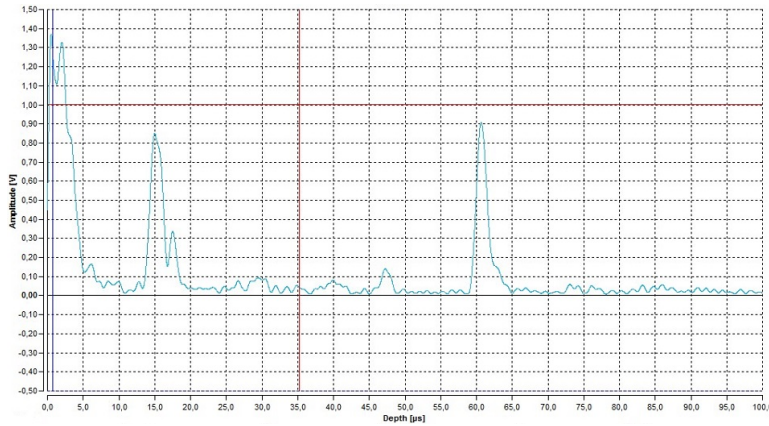
Lochnummer	$d_{\text{theo}} / \text{cm}$	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$d / \text{mm}$	Abweichung
3	0,6	45,93	10,74	6,65	10,83%
4	0,5	40,37	16,85	5,89	17,83%
5	0,4	34,81	23,15	4,88	22,01%
6	0,3	29,44	29,44	3,62	20,56%
7	0,2	23,52	35,19	3,87	93,47%
8	0,2	17,78	41,11	3,62	80,83%
9	0,2	11,85	47,04	3,62	80,83%
10	0,2	6,11			
11	0,9	41,67	12,22	10,44	16,02%

Die Werte für  $s_{\text{oben}}$ ,  $s_{\text{unten}}$  und  $d$  ergeben sich wie in Kapitel 4.1.1 aus den Gleichungen (8) und (9).

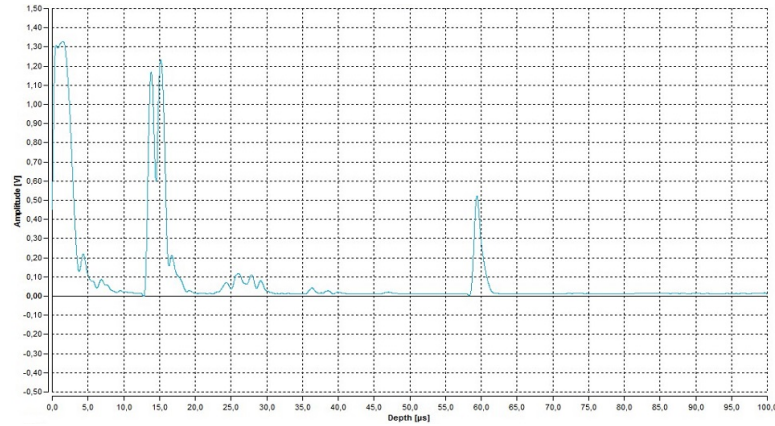
## 4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

In Abbildung 4 befinden sich die mit unterschiedlichen Sonden aufgenommenen A-Scans.

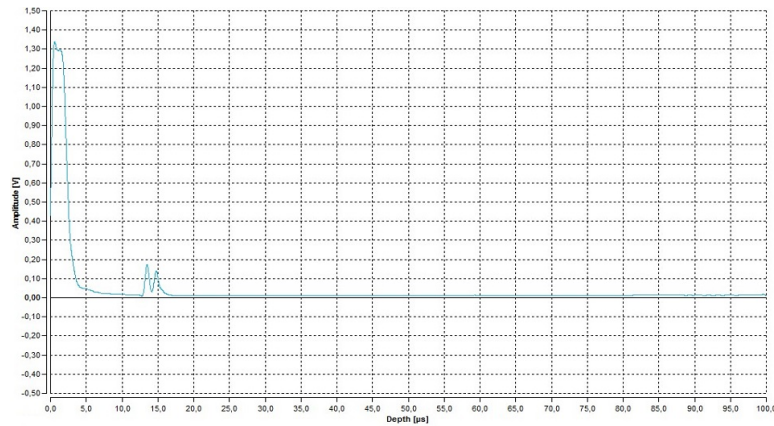
**Abbildung 4:** A-Scans mithilfe unterschiedlicher Ultraschallsonden von Loch 1 und 2



(a) 1 MHz-Sonde



(b) 2 MHz-Sonde



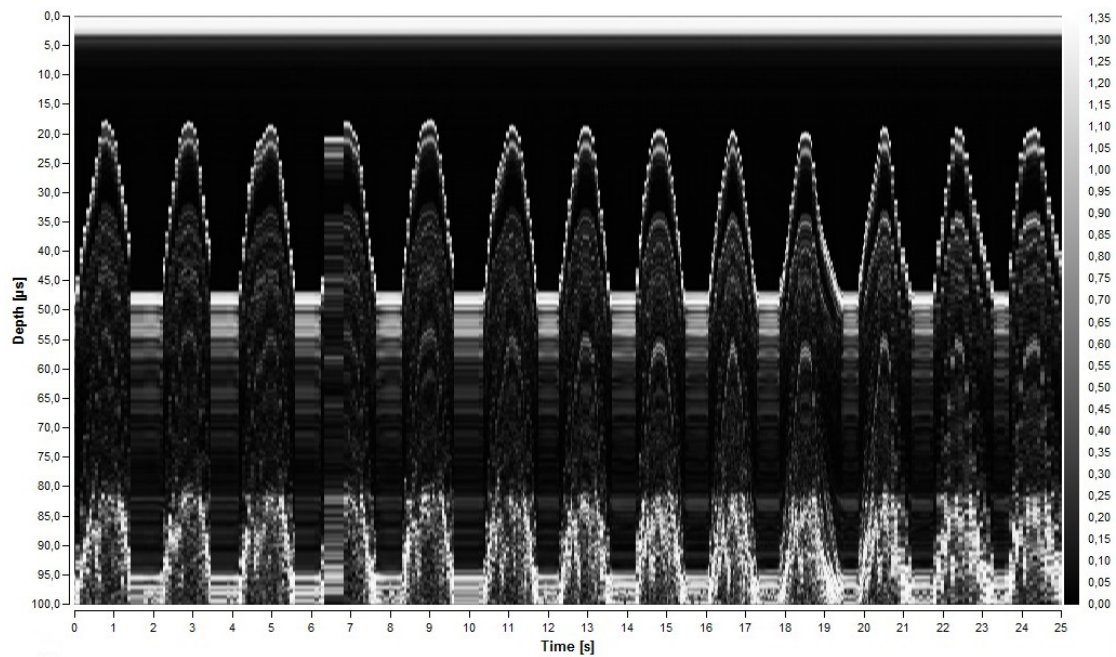
(c) 4 MHz-Sonde

Bei der 4 MHz-Sonde werden die Schallwellen zu stark vom Material geschwächt, sodass das Signal kaum erkennbar ist. Die 1 MHz-Sonde liefert eine ordentliche Auflösung, allerdings sind die beiden Peaks etwas kleiner als bei der 2 MHz-Sonde. Dies liegt daran, dass bei dieser Frequenz die Wellenlänge der Schallwellen ungefähr der Größenordnung der Lochdurchmesser entspricht.



### 4.3 Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan

In Abbildung 6 befindet sich der aufgenommene TM-Scan.



**Abbildung 6:** TM-Scan des Herzmodells

In Tabelle 3 befinden sich die aus Abbildung 6 abgelesenen Werte.

**Tabelle 3:** Aus Abbildung 6 abgelesene Werte

$t / s$	$h / \mu s$
	29,26
2,08	29,07
2,11	28,52
1,97	29,26
2,19	29,63
2,11	28,52
1,89	28,33
1,89	27,78
1,92	27,59
1,86	27,22
2,06	28,15
1,83	28,15
2,00	27,96

Die Mittelwerte und ihre Fehler für  $T$  und  $h$  betragen

$$\begin{aligned}\bar{T} &= (1,99 \pm 0,03) \text{ s} \\ \bar{h} &= (28,42 \pm 0,20) \cdot 10^{-6} \text{ s}\end{aligned}$$

und ergeben sich aus den Formeln (10) und (11)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (10)$$

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (11)$$

Die Frequenz  $\nu$  ergibt sich aus Formel (12)

$$\nu = \frac{1}{\bar{T}}. \quad (12)$$

Den Fehler erhält man aus der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (13)

$$\delta = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}. \quad (13)$$

Somit ergibt sich für die Herzfrequenz

$$\nu_{\text{Herz}} = (0,502 \pm 0,009) \text{ Hz}.$$

Mithilfe von Gleichung (8) und der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (13) lässt sich der Höhenunterschied  $s$  zwischen der Systole und der Diastole zu

$$s = (2,11 \pm 0,02) \text{ cm}$$

bestimmen.

Das Schlagvolumen  $V$  ergibt sich aus der Formel für das Volumen eines Kugelsegments und der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung (13)

$$V = \frac{s \cdot \pi}{6} \cdot (3a^2 + s^2) = (25,6 \pm 0,3) \text{ ml}.$$

$$(a = 2,5 \text{ cm} \hat{=} \text{Radius des Herzmodells})$$

Nun lässt sich mit Gleichung (13) das Herzzeitvolumen  $HZV = V \cdot \nu_{\text{Herz}}$  berechnen

$$HZV = (12,8 \pm 0,3) \frac{\text{ml}}{\text{s}} = (0,77 \pm 0,02) \text{ l/min}.$$

## 5 Diskussion

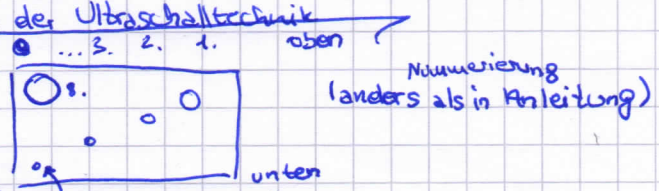
Die Abweichungen in Kapitel 4.1 schwanken sehr stark und sind überwiegend sehr groß. Die Messwerte aus Kapitel 4.1.1 sind mit drei Abweichungen von unter 5 % und nur einer Abweichung von über 50 % deutlich besser als die Messwerte aus Kapitel 4.1.2 wo gleich drei Abweichungen die 80 %-Marke knacken. Dies liegt daran, dass das Ablesen aus den B-Scans um einiges ungenauer als die Peak-to-Peak-Messung des A-Scans ist. In Kapitel 4.2 hat sich die Annahme, dass die 2 MHz-Sonde die beste Auflösung liefert, bestätigt.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *US2: Scanverfahren in der Ultraschalltechnik*. 2018. URL: <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf>.
- [2] Olympus. *Schallgeschwindigkeiten im Material*. 2018. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.

# US2 - Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Breite: 8cm  
Tiefe: 4cm  
Höhe: 15cm  
d (Höhe)



Numerierung  
(anders als in Anleitung)

	oben $\Delta t / \mu s$	unten $\Delta t / \mu s$
1. 0,6cm	11	46,34
2. 0,5cm	17,14	40,63
3. 0,4cm	23,91	35,23
4. 0,3cm	29,73	29,84
5. 0,2cm	35,55	23,70
6. 0,2cm	41,58	18,09
7. "	47,19	12,17
8. 0,9cm	12,49	42,22
9. 0,2cm	53,33	6,35

Herz:  $\Delta t = 47,51 \mu s$  Diastole  
 $\Delta t = 34,49 \mu s$  Systole

Durchmesser Herz: 5cm

Wert