

US2 Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Katharina Brägelmann Tobias Janßen
katharina.braegelmann@tu-dortmund.de
tobias2.janssen@tu-dortmund.de

Durchführung: 29. Mai 2018, Abgabe: 5. Mai 2018

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Aufbau und Durchführung	5
4	Auswertung	7
4.1	Störung	7
4.2	A-Scan	7
4.3	B-Scan	9
4.4	Herzmodoell	9
5	Diskussion	11

1 Zielsetzung

In dem Versuch wird der Ultraschall-Scan vorgestellt. Dabei werden die Größen wie die Eindringtiefe, die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Medien und die Reflexion von Schallwellen untersucht.

2 Theorie

Der Ultraschall-Scan arbeitet mit der Ausbreitung von Schallwellen. Schallwellen sind Longitudinalwellen der Form

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

Dabei ist die Größe Z ist die akustische Impedanz $Z = c \cdot \rho$, also das Produkt aus Schallgeschwindigkeit c und der Dichte ρ des durchschallten Mediums. Damit ist die Ausbreitung der Schallwellen direkt abhängig von der Dichte des Mediums.

Die Schallwellen werden häufig durch den Piezo-elektrischen Effekt erzeugt. Dabei wird ein Piezokristall durch ein wechselndes elektrisches Feld in Schwingung gebracht. Diese Wellen können als Ultraschall für die Untersuchung genutzt werden. Wird die Resonanzfrequenz des Kristalls erreicht, entstehen durch die Resonanzüberhöhung energiereiche Schallwellen. Andersherum kann ein ruhender Piezokristall durch eine Schallwelle in Schwingung gebracht werden, die dann als Spannung in das elektrische Feld eingehen. Damit kann der Piezo-elektrische Effekt sowohl für den Ultraschallsender und den Ultraschallempfänger verwendet werden.

Die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten und Gasen ergibt sich mit der Kompressibilität κ zu

$$c_{\text{Flüssig}} = \frac{1}{\sqrt{\kappa \rho}}. \quad (1)$$

In Festkörpern kann sich der Schall auch transversal ausbreiten, dies wird hier jedoch nicht weiter betrachtet. Die longitudinale Schallgeschwindigkeit in Festkörpern berechnet sich mit dem Elastizitätsmodul E :

$$c_{\text{Fest}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (2)$$

Die Schallgeschwindigkeit ist also in Materialien höherer Dichte größer, als in Materialien mit niedrigeren Dichten. Somit ist Luft im Gegensatz zu beispielsweise Wasser ein denkbar schlechter Schallleiter. Daher wird beim Ultraschall häufig ein Kontaktmittel, wie zum Beispiel Wasser oder Kontaktgele auf Wasserbasis verwendet.

Die Intensität des Schalls fällt exponentiell mit dem Abstand ab:

$$I(x) = I_0 \exp^{\alpha x}.$$

Der Grund für die Abschwächung ist die Absorption des Schalls. α ist entsprechend der Absorptionskoeffizient.

An den Grenzflächen zwischen zwei Medien werden die Schallwellen teilweise reflektiert und teilweise transmittiert. Um dieses Phänomen ausdrücken zu können gibt es den Transmissionskoeffizienten T und den Reflexionskoeffizienten R . Die beiden Größen hängen über die Beziehung

$$1 = T + R$$

zusammen. Der Reflexionskoeffizient berechnet sich über die akustische Impedanz:

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

Bei einer reflektierten Welle kann über die Laufzeit die Entfernung der Grenzfläche zum Schallkopf bestimmt werden, wenn die Schallgeschwindigkeit in dem Medium bekannt ist:

$$s = \frac{ct}{2}.$$

Nun können die Ultraschall-Scans entweder über den reflektierten Teil oder den transmittierten Teil der Welle gemacht werden. Das Durchschallungsverfahren (Abb. 1a) arbeitet mit dem transmittierten Teil. Dabei werden Schallsender und Schallempfänger auf den gegenüberliegenden Seiten des zu untersuchenden Objekts angebracht. Dabei wird die Intensität und die Laufzeit der durchdringenden Welle gemessen. Befindet sich eine Störung im Material lässt sich die Lokalisation dieser durch das Durchschallungsverfahren nur in der Ebene herausfinden, in der der Schallsender und Schallempfänger liegen.

Bei dem Impuls-Echo-Verfahren (Abb. 1b) befinden sich Sender und Empfänger im gleichen Gerät. Der Empfänger misst die Intensität und die Laufzeit der reflektierten Welle, also das Echo der gesendeten Welle. Eine eventuelle Störung lässt sich in zwei Ebenen beschreiben, so zeigt die Laufzeitmessung genau an, wie tief die Störung im Material ist.

Die Laufzeitmessung im Impuls-Echo-Verfahren kann in drei verschiedenen Scan-Arten dargestellt werden.

Bei dem A-Scan werden die Laufzeiten und die Amplitude gemessen und gegeneinander aufgetragen. Dabei entsteht ein eindimensionaler Eindruck des geschallten Körpers. Die verschiedenen Grenzflächen sind im Diagramm als Peaks dargestellt.

Der B-Scan verrechnet die Informationen über die Dichte in Helligkeitsabstufungen. Der Schallkopf wird langsam über den zu schallenden Körper bewegt. Nun wird ein zweidimensionales Bild des Körpers erstellt.

Außerdem gibt es den TM-Scan. Hier werden die Impulse sehr schnell ausgegeben, so dass auch Bewegungen im Körper zu beobachten sind.

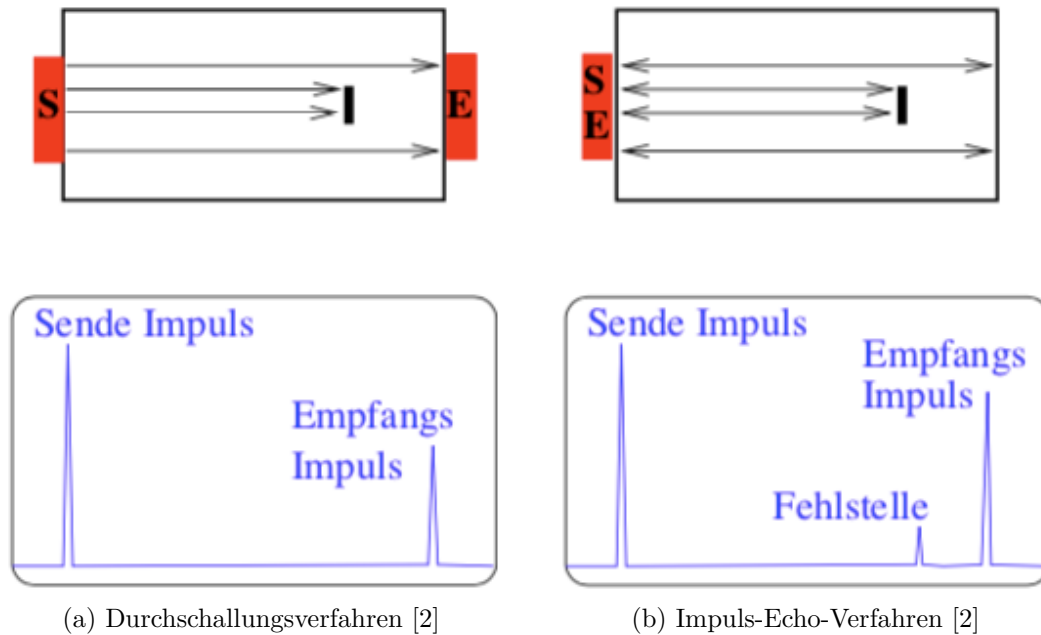


Abbildung 1: Verschiedene Ultraschall-Verfahren

3 Aufbau und Durchführung

Die Messapparatur ist zusammengesetzt aus einem Rechner, einem Ultraschallgerät und einem Schallkopf ($f = 2 \text{ MHz}$). Auf dem Ultraschallgerät lassen sich auch Verstärker einstellen, die in beliebiger Tiefe das Signal verstärken. Zunächst wird ein Acrylblock mit verschiedenen Störstellen (Abb. 2) mit A-Scans und B-Scans untersucht. Als erstes werden der Acrylblock und die Störstellen mit einer Schieblehre vermessen. Im Rechner wird die Schallgeschwindigkeit in Acryl eingegeben: $c_{\text{Acryl}} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [1] Dazu wird als Kontaktmittel destilliertes Wasser verwendet.

Der Acrylblock wird von Seite a mit einem A-Scan durchschallt. Der gemessene Abstand der Störstelle zum Schallkopf wird notiert. Die Messung wird für die Störstellen 3-9 durchgeführt. Anschließend wird die Messung an Seite c wiederholt.

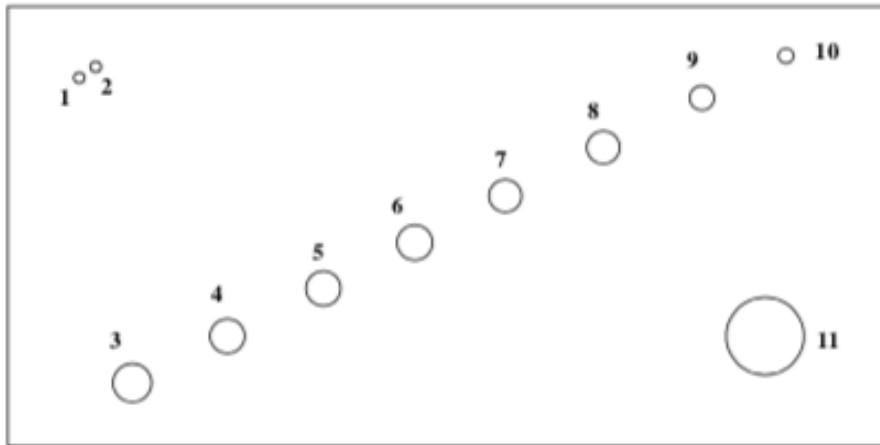
Die Störstellen 1 und 2 werden von den Seiten a, b und c vermessen, um den Abstand zwischen ihnen errechnen zu können.

Der Acrylblock wird nun mithilfe von B-Scans untersucht. Dazu wird wieder destilliertes Wasser als Kontaktmittel verwendet. Der Schallkopf wird erst langsam über die Seite a bewegt. Auf dem Bildschirm erscheint ein zweidimensionales Bild. Die Abstände der Störstellen zum Schallkopf werden dem Bild entnommen. Analog wird die Messung von Seite c durchgeführt.

Für die TM-Scans wird ein anderes Objekt geschallt. Ein Modell eines Herzens, bestehend aus einer Handpumpe, einem Plastikgefäß mit einer elastischen Membran, auf der ein Wasserspiegel steht. Der Schallkopf wird so arriert, dass er grade eben die Wasseroberfläche berührt. Als Schallgeschwindigkeit in Wasser wird $c_{\text{Wasser}} = 1485 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [1] eingestellt. Mit

Seite a

Seite b



Seite c

Abbildung 2: Untersuchtes Objekt: Acrylblock mit Störstellen [2]

der Handpumpe wird gleichmäßig gepumpt, so dass sich die Membran und entsprechend der Wasserspiegel heben und senken. Auf dem Rechner erscheint ein Bild, auf dem die Pumpvorgänge deutlich erkennbar sind. Aus der Amplitude der 'Herzschläge' wird das Schlagvolumen bestimmt. Vom Bildschirm kann die Herzfrequenz abgelesen werden.

4 Auswertung

4.1 Störung

Die Abmessungen des Acrylblocks werden mittels einer Schieblehre bestimmt. Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 1 dargestellt. Die Gesamthöhe des Blockes beträgt $L = 80,4 \text{ mm}$. ΔL berechnet sich durch

$$\Delta L = L - L_a - L_c \quad (3)$$

L_a beschreibt den Abstand der Störung zur oberen Fläche des Blockes. L_c ist dementsprechend die Entfernung nach unten.

Tabelle 1: Abmessung des Acrylblocks

Störung	L_a / mm	L_c / mm	$\Delta L / \text{mm}$
1	19,5	59,5	1,4
2	17,8	61,2	1,4
3	61,4	13,2	5,8
4	54,0	21,6	4,8
5	47,6	30,2	2,6
6	39,0	38,5	2,9
7	31,1	46,6	2,7
8	23,1	54,7	2,6
9	15,0	62,0	3,4
10	7,0	70,4	3,0

4.2 A-Scan

Der Acrylblock wird mit dem A-Scan untersucht. Die gemessenen Werte sind in der Tabelle 2 zu sehen. Mit der Gleichung 3 lässt sich ΔL bestimmen. Für die Bestimmung

Tabelle 2: Größe der Störung

Störung	L_a / mm	L_c / mm	$\Delta L / \text{mm}$
3	63	14,2	3,2
4	55	22,7	2,7
5	47	31,4	2,0
6	40	39,9	0,5
7	32	47,9	0,5
8	24	56,1	0,3
9	16	64,0	0,4
10	8	-	-

des Auflösungsvermögen werden die Störungen 1 und 2 genauer untersucht. Dazu wird aus a-Richtung(Oben) und b-Richtung(Links) gescant. Es ergeben sich die Werte:

$$\begin{aligned} \text{Störung}_1 : a &= 20,6 \text{ mm} & , b &= 15,4 \text{ mm} \\ \text{Störung}_2 : a &= 18,9 \text{ mm} & , b &= 17,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

Mit einer höheren Frequenz kann das Auflösungsvermögen gesteigert werden. Dies hat zur Folge, dass die Eindringtiefe kleiner wird. Damit eine Struktur erfasst werden kann muss die Wellenlänge kleiner sein als die Störung. Die Geschwindigkeit der Schallwellen im Acrylblock beträgt $v = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und die Frequenz $f = 2 \text{ MHz}$. Mit der Formel:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

ergibt sich ein Wert von

$$\lambda = 1,365 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 1,365 \text{ mm}. \quad (4)$$

Das heißt, wenn die Störung im Acrylblock kleiner ist als 1,365 mm kann sie von einer 2 MHz Frequenz nicht mehr wahrgenommen werden.

In der Abbildung 3 ist eine Messung dargestellt. Es wird die reflektierte Intensität in Volt in Bezug auf die Reflexionszeit gemessen. Die Reflexionszeit wird zur Eindringtiefe umgerechnet. Der erste Ausschlag ist die Reflektion der Wellen an den Grenzflächen: Schallkopf zu Wasser und Wasser zu Acryl. Der zweie Peak wird durch die Störung verursacht. Der dritte durch die Reflektion an der Tischplatte unter dem Acrylblock.

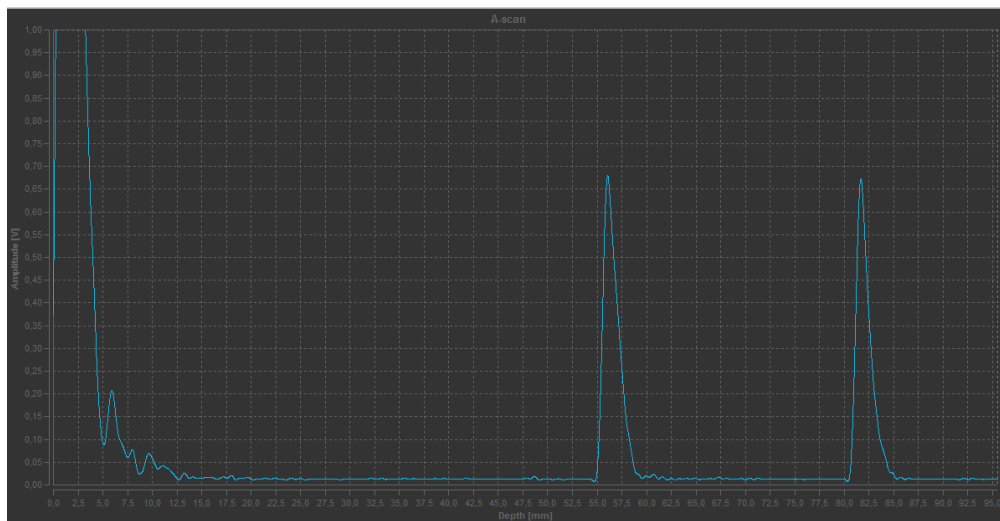


Abbildung 3: A-Scan [2]

4.3 B-Scan

Nun werden die Störstellen mit dem B-Scan untersucht. Die Messergebnisse sind in der Tabelle 3 aufgeführt. Von jeder Seite werden pro Störung zwei Messwerte, Anfangs- und End- Punkt, aufgenommen. Daraus lässt sich jeweils die Größe der Störung bestimmen. Desweiteren kann die Größe der Störung durch die Formel 3 bestimmt werden.

Tabelle 3: Größe der Störung

Störung	L_{a1}/mm	L_{a2}/mm	$\Delta L_a/\text{mm}$	L_{c1}/mm	L_{c2}/mm	$\Delta L_c/\text{mm}$	$\Delta L_{a1,c1}/\text{mm}$
3	61,7	66,3	4,6	13,3	17,2	3,9	5,4
4	54,2	58,4	4,2	22,0	26,0	4,0	4,2
5	46,4	49,6	3,2	30,5	34,6	4,1	3,5
6	39,2	43,2	4,0	39,0	43,3	4,3	2,2
7	31,2	34,6	3,4	46,9	50,8	3,9	2,3
8	23,3	26,6	3,3	55,2	59,1	3,9	1,9
9	15,2	18,2	3,0	63,1	66,6	3,5	2,1
10	7,3	10,4	3,1	-	-	-	-



Abbildung 4: B-Scan [2]

4.4 Herzmodell

Am Herzmodell wird das soll das Herzvolumen untersucht werden. Es wird die Entfernung der Membran zum Sonde gemessen. Diese wird in Endsystolisch (Anspannung) und Enddiastolisch (Entspannung) eingeteilt. Das verdrängte Volumen wird als Zylinder

$$V = \pi r^2 \cdot h$$

genähert. h ist dabei die Höhe als endsystolische Höhe abzüglich der enddiastolischen Höhe.

Folgende Werte werden gemessene:

$$\text{Endsystolisch} = 30,7 \text{ mm}$$

$$\text{Enddiastolisch} = 27,1 \text{ mm}$$

$$\text{Durchmesser} = 45,8 \text{ mm}$$

$$\nu = 2 \frac{1}{s}$$

Mit den Messwerten kann das Herzvolumen wie folgt berechnet werden.

$$\text{Volumenänderung} = \pi \cdot (22,9 \text{ mm})^2 \cdot (30,7 \text{ mm} - 27,1 \text{ mm})$$

$$\text{Volumenänderung} = 5930,09 \text{ mm}^3$$

$$\text{Herzvolumen} = \text{Volumenänderung} \cdot \nu$$

$$\text{Herzvolumen} = 11\,861,87 \frac{\text{mm}^3}{s} = 1,18 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{s}$$

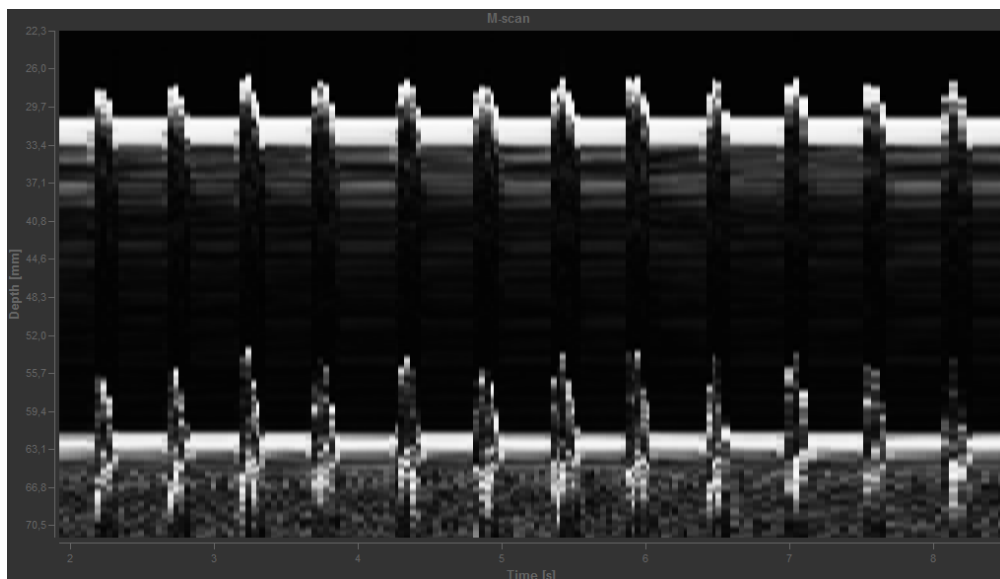


Abbildung 5: Messung am Herzmodell [2]

5 Diskussion

Tabelle 4: Ermittelte Störungsgröße der unterschiedlichen Verfahren

Störung	$\Delta L_{\text{Störung}} / \text{mm}$	$\Delta L_{\text{A-Scan}} / \text{mm}$	$\Delta L_{\text{B-Scan 1}} / \text{mm}$	$\Delta L_{\text{B-Scan 2}} / \text{mm}$	$\Delta L_{\text{B-Scan ac}} / \text{mm}$
1	1,4	-	-	-	-
2	1,4	-	-	-	-
3	5,8	3,2	4,6	3,9	5,4
4	4,8	2,7	4,2	4,0	4,2
5	2,6	2,0	3,2	4,1	3,5
6	2,9	0,5	4,0	4,3	2,2
7	2,7	0,5	3,4	3,9	2,3
8	2,6	0,3	3,3	3,9	1,9
9	3,4	0,4	3,0	3,5	2,1
10	3,0	-	3,1	-	-

Die ermittelten Werte für ΔL sind zum Großteil ganz gut. Bei der A-Scan Messung sind die Abweichungen zum Realwert, welcher mit der Schieblehre bestimmt wurde, am größten. Dies könnte an einer fehlerhaften Messung liegen. Desweiteren ist das Auflösungsvermögen der Sonde, wie in 4 berechnet, nur begrenzt. In jeder Messung sind zusätzlich Ablesefehler möglich.

Literatur

- [1] OLYMPUS Corporation. *Tutorial für Dickenmessung - Schallgeschwindigkeiten im Material*. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [2] TU Dortmund. In: *Versuchsanleitung V602*.
- [3] Casio Taschenrechner. In: *fx-991ES*.

US 2		Block		29/05/18																																		
A-Scan		a /mm	c)	Auflösungsvermögen																																		
3	63		14,2	a) 1	20,6																																	
4	55		22,7	2	18,9																																	
5	47		31,4	b) 1	15,4																																	
6	40		39,9	2	17,2																																	
7	32		47,9	<div>breite: \downarrow 8,04 cm</div> <table> <tr> <th></th> <th>a</th> <th>c</th> </tr> <tr> <td>1:</td> <td>1,95</td> <td>5,95</td> </tr> <tr> <td>2:</td> <td>1,88</td> <td>6,12</td> </tr> <tr> <td>3:</td> <td>6,145</td> <td>1,32</td> </tr> <tr> <td>4:</td> <td>5,40</td> <td>2,165</td> </tr> <tr> <td>5:</td> <td>4,76</td> <td>3,02</td> </tr> <tr> <td>6:</td> <td>3,9</td> <td>3,855</td> </tr> <tr> <td>7:</td> <td>3,11</td> <td>4,66</td> </tr> <tr> <td>8:</td> <td>2,31</td> <td>5,47</td> </tr> <tr> <td>9:</td> <td>1,5</td> <td>6,2</td> </tr> <tr> <td>10:</td> <td>0,7</td> <td>6,2 7,05</td> </tr> </table>			a	c	1:	1,95	5,95	2:	1,88	6,12	3:	6,145	1,32	4:	5,40	2,165	5:	4,76	3,02	6:	3,9	3,855	7:	3,11	4,66	8:	2,31	5,47	9:	1,5	6,2	10:	0,7	6,2 7,05
	a	c																																				
1:	1,95	5,95																																				
2:	1,88	6,12																																				
3:	6,145	1,32																																				
4:	5,40	2,165																																				
5:	4,76	3,02																																				
6:	3,9	3,855																																				
7:	3,11	4,66																																				
8:	2,31	5,47																																				
9:	1,5	6,2																																				
10:	0,7	6,2 7,05																																				
8	24		56,1																																			
9	16		64,0																																			
10	8		—																																			
B-Scan		a	c																																			
3	61,7	66,3	13,3	17,2																																		
4	54,2	58,4	22	26																																		
5	46,4	49,6	30,5	34,6																																		
6	39,2	43,2	39	43,3																																		
7	31,2	34,6	46,9	50,8																																		
8	23,3	26,6	55,2	59,1																																		
9	15,2	18,2	63,1	66,6																																		
10	7,3	10,4	—	—																																		
Herz																																						
A-Scan																																						
Nullmessung:		31,2 mm																																				
		58 mm																																				
Volumenvergrößerung		22,5																																				
SV:	27,1	30,7	<div>Durchmesser Herz: 4,58</div>																																			

Abbildung 6: Originale Messdaten