

Durchführung: 12.06.2018
Abgabe: 19.06.2018

PRAKTIKUMSPROTOKOLL US2

SCANVERFAHREN IN DER ULTRASCHALLTECHNIK

Carolin Harkort¹,
Jacqueline Schlingmann²

¹carolin.harkort@tu-dortmund.de

²jacqueline.schlingmann@tu-dortmund.de

1 Einleitung

In diesem Versuch wird das Scanverfahren in der Ultraschalltechnik angewendet. Zu erst werden die Fehlstellen eines Acrylblocks mit dem Scanverfahren bestimmt. Danach wird an einem Herzmodell die Herzfrequenz und das Herzvolumen aufgenommen.

2 Theorie

Dem Ultraschall wird ein Frequenzbereich von ungefähr 20 Hz bis 1 GHz zugeordnet. Der Schall ist allgemein eine longitudinale Welle, die aufgrund von Druckschwankungen weitergeleitet wird. Diese lässt sich durch

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

beschreiben. Die akustische Impedanz Z ist abhängig von der Dichte ρ des zu untersuchenden Materials und der Schallgeschwindigkeit c . Der Zusammenhang lautet wie folgt

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

In Gasen und Flüssigkeiten breiten sich die Schallwellen nur longitudinal aus

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

κ ist dabei das Kompressibilitätsmodul.

Bei Festkörpern kommt es neben der longitudinalen Schallwellenausbreitung auch noch zu einer transversalen Ausbreitung des Ultraschalls. Mit dem Elastizitätsmodul E ergibt sich dann der folgende Zusammenhang für die Schallgeschwindigkeit

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

Beim Übergang von den Ultraschallwellen in ein anderes Medium kommt es aufgrund der Transmission zur Absorption von Energie. Die Intensität des Ultraschall nimmt exponentiell mit der Strecke ab

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

Dabei ist I_0 die Anfangsintensität, α der Absorptionskoeffizient und x die zurückgelegte Strecke. Der Absorptionskoeffizient von Luft ist sehr groß, weshalb ein Kontaktmittel wie bidestilliertes Wasser verwendet wird, um diesen gering zu halten.

Das Verhältnis der einfallenden zur reflektierten Intensität wird über den Reflektionskoeffizienten beschrieben. Dieser ist abhängig von den Impedanzen beider Medien an der Grenzfläche

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2. \quad (6)$$

Für den Transmissionskoeffizienten gilt $T = 1 - R$.

Die Erzeugung des Ultraschalls ergibt sich durch den reziproken piezo-elektrischen Effekt. In einem elektrischen Wechselfeld wird ein Piezokristall zu Schwingungen und somit zur Aussendung von Ultraschallwellen angeregt. Für besonders hohe Intensitäten kommt es zur Resonanz. Hierbei ist die Anregungs- gleich der Eigenfrequenz des Kristalls. Piezokristalle können nicht nur als Sender verwendet werden, sondern auch als Empfänger beim Impuls-Echo-Verfahren.

In der Ultraschalltechnik kommt es zur Anwendung zweier Verfahren.

Das erste ist das Durchschallungsverfahren. Die zu untersuchende Probe wird zwischen Ultraschallsender und -empfänger platziert. Durch Aussendung eines kurzzeitigen Schallimpulses kann die empfangene Intensität Rückschluss auf vorhandene Fehlstellen liefern. Die zweite Vorgehensweise ist das Impuls-Echo-Verfahren. Hierbei fungiert der Ultraschallsender auch als Empfänger. Nach der Reflektion des Ultraschall an einer Grenzflächen, kehrt dieser zum Empfänger zurück. Die Höhe des Echos liefert eine Aussage über die Größe der Fehlstellen. Bei einer bekannter Schallgeschwindigkeit c im zu untersuchenden Medium, kann über die Laufzeitmessung die Lage der Fehlstelle festgestellt werden

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

Die Laufzeit kann über drei verschiedenen Scans dargestellt werden. Über den A-Scan (Amplitude-Scan) wird die Amplitude der registrierten Welle sichtbar gemacht. Beim B-Scan (Brightness-Scan) wird die aufgenommene Echoamplitude in Helligkeitsabstufungen dargestellt. Durch das Bewegen der Ultraschallsonde entsteht so ein zweidimensionales Bild. Beim TM-Scan (Time-Motion-Scan) können durch schnelles Abtasten Bewegungen sichtbar gemacht werden.

3 Durchführung

Vor Beginn der Ultraschallmessung werden die Abmessungen des Acrylblocks bestimmt. Mit bidestillierten Wasser als Kontaktflüssigkeit werden von oben und von unten die Strecken zu den jeweiligen Fehlstellen mit einer 1 MHz Ultraschallsonde ausgemessen. Außerdem werden die Durchmesser der einzelnen Fehlstellen aufgenommen.

In Abbildung 1 sind die Fehlstellen des Acrylblocks dargestellt.

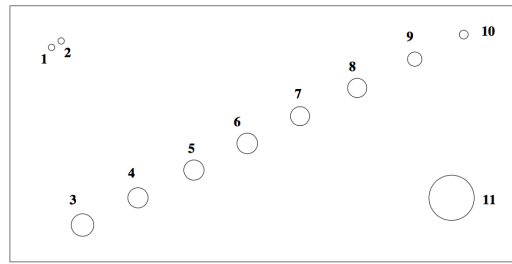


Abbildung 1: Darstellung der elf Fehlstellen.[1]

Mithilfe des Impuls-Echo-Verfahrens wird im ersten Versuchsteil die Größe der einzelnen Fehlstellen eines Acrylblocks untersucht. Da die ersten beiden Fehlstellen sehr eng beieinander liegen, werden die Abmessungen nochmal mit einer 2 MHz Sonde aufgenommen.

Im zweiten Versuchsteil wird die Lage der Fehlstellen des Acrylblocks durch einen B-Scan bestimmt. Dafür wird die 2 MHz-Ultraschallsonde mit konstanter Geschwindigkeit über den Acrylblock bewegt. Sowohl von unten als auch von oben wird der B-Scan durchgeführt.

Im letzten Versuchsteil wird der TM-Scan verwendet, um die Herzfrequenz und das Herzvolumen eines Herzmodells zu bestimmen. Das Herzmodell wird zu einem Drittel mit Wasser gefüllt. Die Sonde steht senkrecht mit der Wasseroberfläche in Kontakt. Die bewegliche Membran des Modells ist mit einem Gummiball verbunden. Durch das Bewegen des Gummiballs kann das Herzpumpen dargestellt werden. Mit dem TM-Scan wird dann die Volumenänderung sichtbar gemacht.

4 Auswertung

Zunächst wird der Acrylblock ausgemessen. Der Acrylblock hat eine Tiefe von 8 cm. Die Abstände zu den einzelnen Fehlstellungen sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Ausmessung der Acrylblocks

Fehlstelle	s_{oben}/cm	s_{unten}/cm	$d_{Fehlstelle} / \text{cm}$
1	1,9	5,9	0,2
2	1,7	6,1	0,2
3	6,1	1,3	0,6
4	5,4	2,1	0,5
5	4,6	3,0	0,4
6	3,9	3,9	0,2
7	3,1	4,6	0,3
8	2,3	5,4	0,3
9	1,4	6,3	0,3
10	0,7	7,1	0,2
11	5,5	1,5	1,0

4.1 Ausmessung des Acrylblocks mit dem A-Scan

Nun wird der Acrylblock mit Hilfe des A-Scans ausgemessen. Die Werte sind in Tabelle 2 zu finden. Dabei wurde die Schallgeschwindigkeit von 2730 ms^{-1} [2] schon berücksichtigt. Die prozentualen Abweichungen ergeben sich durch einen Vergleich der Werte, die in Tabelle 1 angegeben sind. Die Formel lautet:

$$p = \left| \frac{s_{\text{mess}} - s_{\text{theo}}}{s_{\text{theo}}} \right| \quad (8)$$

Die Fehlstellen 1 und 2 wurden mit zwei Unterschiedlichen Sonden ausgemessen. Die höhere Frequenz der roten Sonde sorgt für eine bessere Darstellung der nah aneinander liegenden Fehlstellen. Die aufgenommenen Bilder des A-Scans sind für die beiden Sonden in Abbildung 6, 7, 4 und 5 zu sehen.

Tabelle 2: Ausmessung mit dem A-Scan

Ultraschallsonde	Fehlstelle	s_{oben} / mm	s_{unten} / mm	oben / %	unten / %
blau (1 MHz)	1	19	59	0	0
	2	19	59	11,8	3,3
	3	61	12	0	7,7
	4	53	21	1,9	0
	5	43	29	8,5	3,3
	6	38	38	2,6	2,6
	7	30	46	3,2	0
	8	22	54	4,3	0
	9	15	62	7,1	1,6
	10	6		14,3	
	11		14		6,7
rot (2 MHz)	1	16	57	15,8	3,4
	2	18	59	5,9	3,3

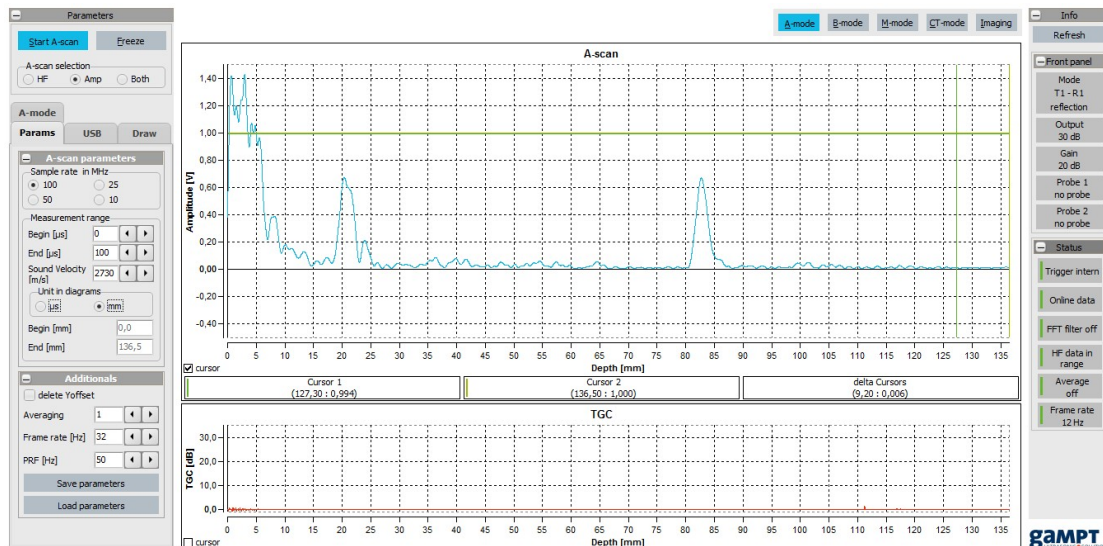


Abbildung 2: Messung der Fehlstellen 1 und 2 mit der blauen Sonde von oben

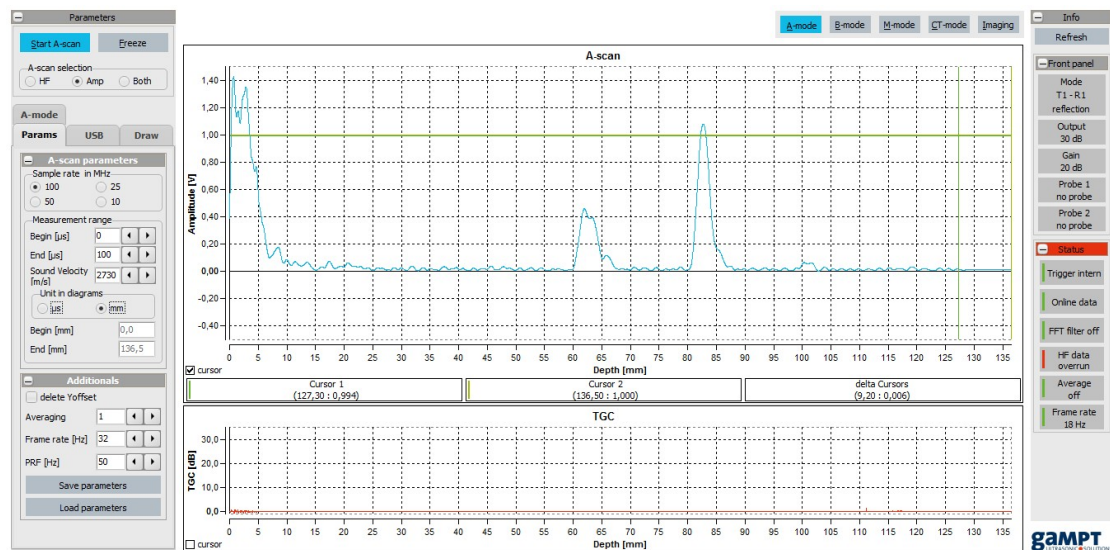


Abbildung 3: Messung der Fehlstellen 1 und 2 mit der blauen Sonde von unten

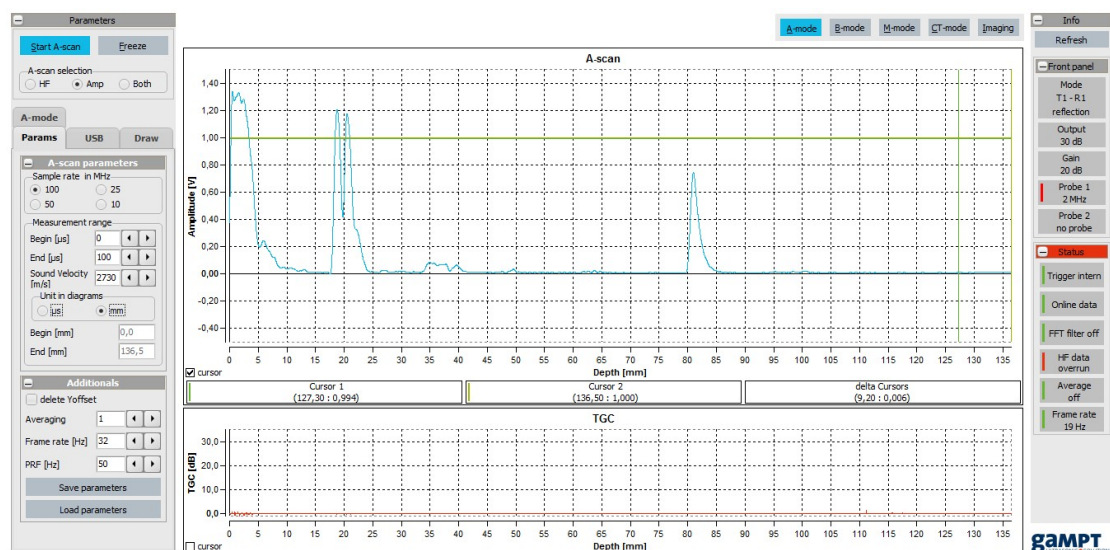


Abbildung 4: Messung der Fehlstellen 1 und 2 mit der roten Sonde von oben

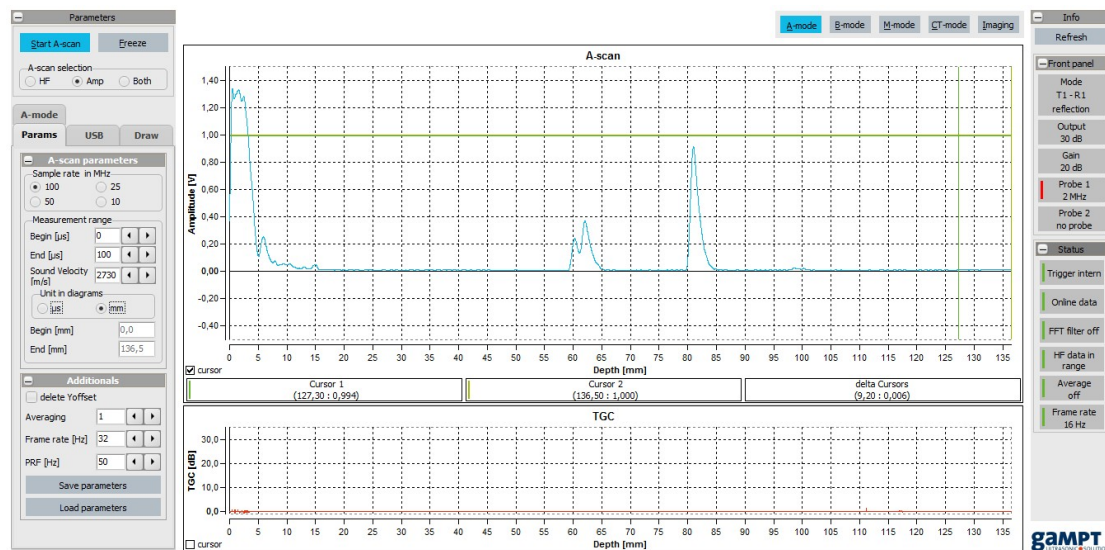


Abbildung 5: Messung der Fehlstellen 1 und 2 mit der roten Sonde von unten

4.2 Ausmessung des Acrylblocks mit dem B-Scan

In den Abbildungen 6 und 7 sind die gemessenen B-Scans zu sehen. Aus diesen Abbildungen werden die Werte in Tabelle 3 entnommen. Dabei war darauf zu achten, dass von den Werten die Wasserschicht abgezogen wird. Diese wird ebenfalls aus den Abbildungen entnommen und beträgt 3,45 mm.

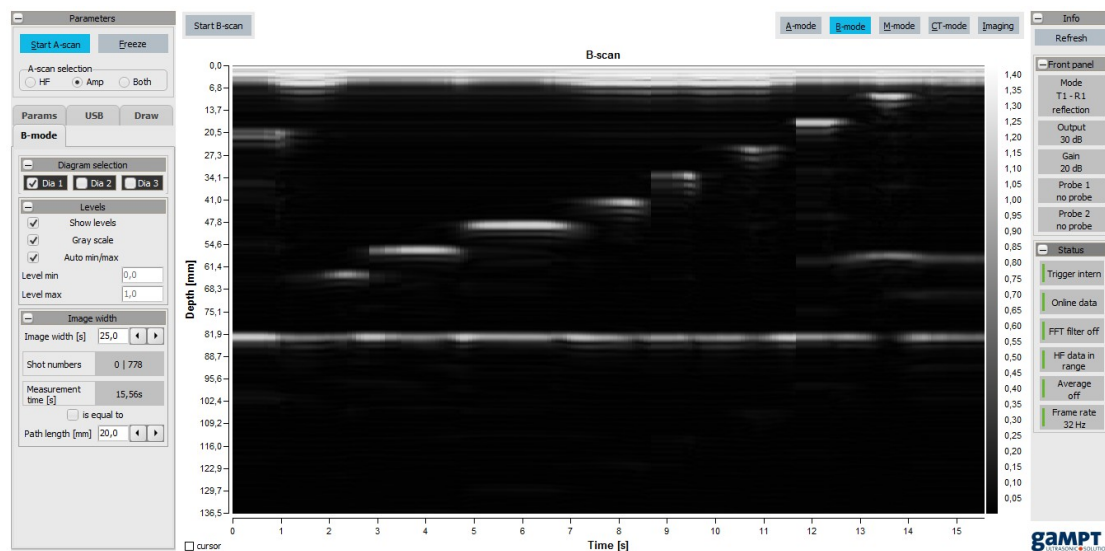


Abbildung 6: B-Scan des Acrylblocks von oben

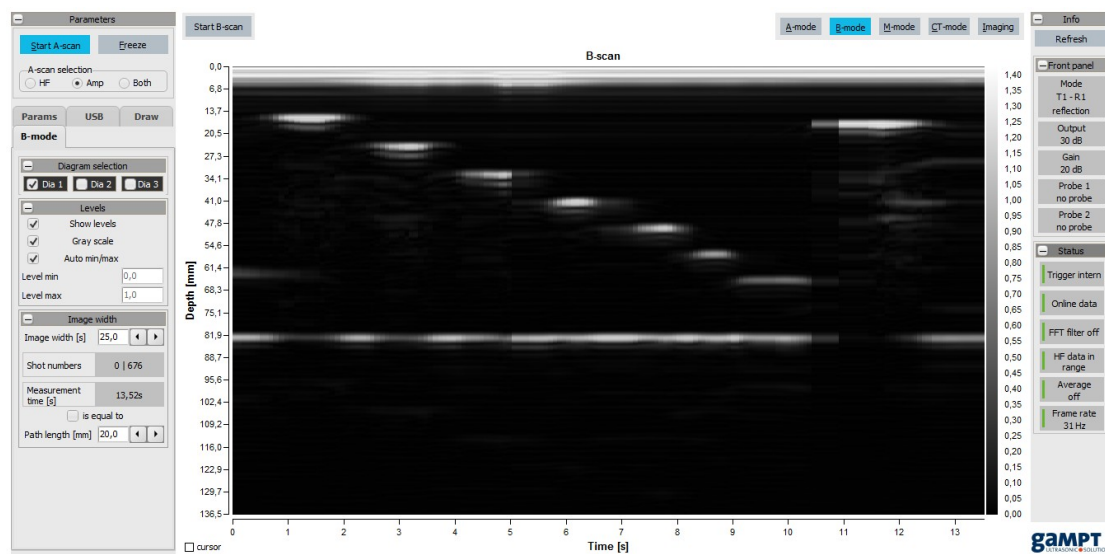


Abbildung 7: B-Scan des Acrylblocks von unten

Tabelle 3: Ausmessung mit dem B-Scan

Fehlstelle	s_{oben} / mm	s_{unten} / mm	oben / %	unten / %
1	17,74		6,6	
2	17,74		4,4	
3	60,71	13,7	0,5	5,4
4	53,22	21,88	1,4	4,2
5	45,73	29,27	0,6	2,4
6	38,24	38,93	1,9	0,2
7	30,65	47,11	1,1	2,4
8	23,16	54,6	0,7	1,1
9	13,7	62,78	2,1	0,3
10	6,8		2,9	
11	56,57	14,98	2,9	0,1

Die prozentuale Abweichung wurde mit Formel (8) bestimmt.

4.3 Untersuchung eines Herzmodells

Zunächst wird der Zylinder ausgemessen.

$$\begin{aligned}d_{Wand} &= 0,2 \text{ cm} & d_{gef} &= 4,71 \text{ cm} \\ \Rightarrow d_{ges} &= 4,51 \text{ cm}\end{aligned}$$

Die mit Abbildung 8 bestimmte Herzfrequenz beträgt 27 bpm. Das entspricht einer Frequenz von 450 mHz. Nun wird ein A-Scan durchgeführt. Es werden die Störstellen bei ruhender Membran und gepumpter Membran aufgenommen.

$$\begin{aligned}s_r &= 34 \text{ mm} \\ s_p &= 56 \text{ mm}\end{aligned}$$

Das Herzzeitvolumen (HZV) berechnet sich mit der Formel

$$HZV = (ESV - EDV) \cdot \nu \quad (9)$$

Dabei ist ESV das endsystolische Volumen und EDV das enddiastolische Volumen. Somit ergibt sich das HZV zu

$$\begin{aligned}HZV &= \pi r^2 (s_p - s_r) \nu \\ &= \pi (2,255 \cdot 10^{-2})^2 \cdot (56 - 34) 10^{-3} \cdot 450 \cdot 10^{-3} \\ &= 1,58 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}\end{aligned}$$

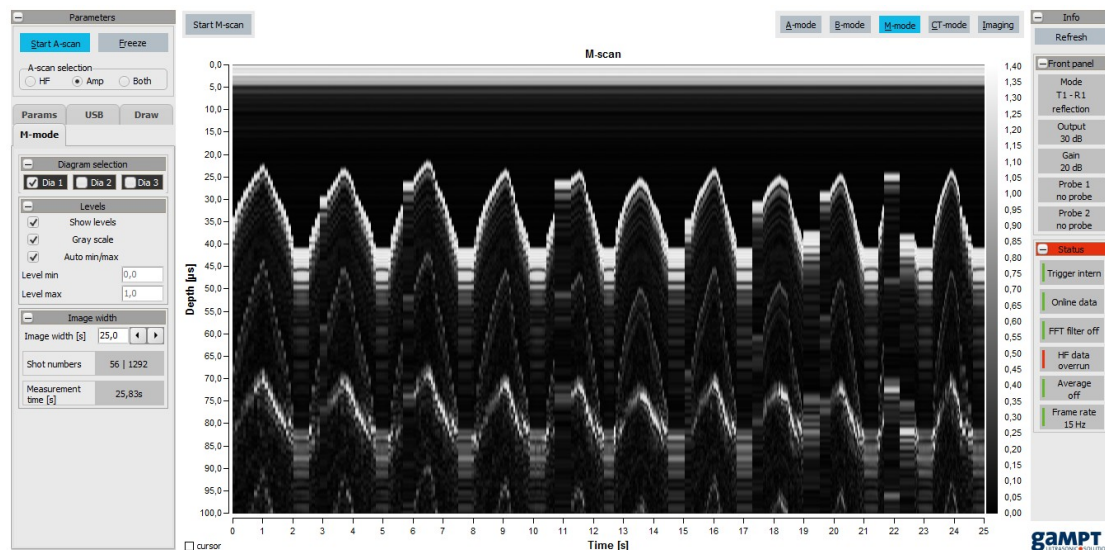


Abbildung 8: Time-Motion Scan eines Herzmodells

5 Diskussion

Die Abweichungen der mit dem A- und B-Scan bestimmten Werte sind im Vergleich zu den theoretischen Werten gering. Dabei ist zu beachten, dass die theoretischen Werte mittels einer Schieblehre bestimmt wurden und somit ebenfalls fehlerbelastet sind. Es ist zu erkennen, dass die Abweichungen beim B-Scan insgesamt geringer sind und dies somit das genauere Verfahren ist. Die Fehlerstellen 1, 2, 10 und 11 konnten nicht immer mit angegeben werden, da aufgrund der unterschiedlich benutzten Sonden die Messung nicht möglich war. Das liegt zum einen daran, dass niedrige Frequenzen eine höhere Wellenlänge besitzen und somit enger aneinander liegende Störstellen nicht einzeln messbar sind, zum anderen daran, dass niedrige Frequenzen auch geringer in das Material eindringen. Im letzten Teil des Versuchs wird die Herzfrequenz mit Hilfe der Abbildung 8 bestimmt. Somit ist zu beachten, dass es hier ebenfalls eine Fehlerbelastung gibt.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch 408*. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/MEDPHYS/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf> (besucht am 18.06.2018).
- [2] *Schallgeschwindigkeit in Acryl*. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/> (besucht am 18.06.2018).