

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Jonas Osterholz

Moritz Rempe

Durchführung: 18.06.2019

Abgabe: 25.06.2019

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	5
3.1	Der A-Scan	5
3.2	Das Auflösungsvermögen	5
3.3	Der B-Scan	5
3.4	Der TM-Scan	5
4	Auswertung	6
4.1	Untersuchung mit A-Scan	6
4.2	Auflösungsvermögen	7
4.3	Untersuchung mit B-Scan	8
4.4	Herzmodell mit TM-Scan	10
5	Diskussion	12
	Literatur	12

1 Zielsetzung

Im Folgenden werden die verschiedenen Scan-Verfahren und das damit verbundene Auflösungsvermögen untersucht. Außerdem soll die Sonographie als Diagnosemethode an einem speziellen Beispiel untersucht werden.

2 Theorie

Der Ultraschall erstreckt sich in einem Frequenzbereich von 20 kHz bis 1 GHz. Unterhalb dieses Bereichs liegt der hörbare Bereich für Menschen und unter 20 Hz der Infraschallbereich. Oberhalb des Bereichs liegt der Hyperschallbereich.

Außerdem breitet sich Schall parallel zur Bewegungsrichtung aus und ist somit eine longitudinale Welle der Form

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

wobei Z die akustische Impedanz darstellt, die das Produkt aus der Dichte des Mediums und der Schallgeschwindigkeit im Medium, in dem sich die Welle fortbewegt, ist. Des Weiteren sorgen Druckschwankungen für die Ausbreitung der Welle. Diese Theorie gilt für Gase und Flüssigkeiten, wobei sich für Flüssigkeiten eine Schallgeschwindigkeit von

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

einstellt, wobei κ die Kompressibilität darstellt.

In Festkörpern breiten sich durch Schubspannungen neben den longitudinalen Wellen auch transversale Wellen aus. Dadurch ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit in einem Festkörper

$$c_{\text{Fe}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2)$$

wobei E das Elastizitätsmodul ist.

Ein weiterer Aspekt der Schallausbreitung ist, dass die Schallwellen durch Absorption teilweise Energie abgeben, womit auch die Anfangsintensität I_0 nach

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

abnimmt. Dabei ist α der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude.

Darüber hinaus kommt es an Grenzflächen von zwei verschiedenen Medien zur Reflexion und Transmission der Schallwellen. Dabei wird über die akustischen Impedanzen der beiden angrenzenden Medien der Reflexionskoeffizient nach

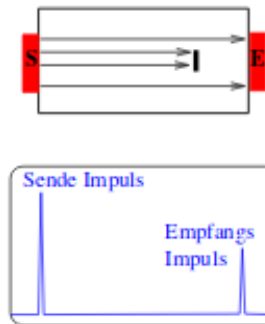
$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2$$

berechnet, wobei der Transmissionskoeffizient dann $T = 1 - R$ beträgt.

Bei der Erzeugung von Ultraschall werden Kristalle wie Quarze verwendet und zu Schwingungen angeregt. Beim reziproken piezo-elektrischen Effekt wird ein piezoelektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld gebracht, sodass dieser zum Schwingen angeregt wird. Dabei werden Ultraschallwellen ausgesendet, die bei der Resonanzfrequenz des Kristalls hohe Schwingungsamplituden aufweisen. Darüber hinaus können die Kristalle auch als Schallempfänger verwendet werden, indem Schallwellen auf sie gerichtet werden und die Kristalle dadurch zum Schwingen angeregt werden.

Es werden zwei Methoden in der Ultraschalltechnik verwendet, die in Abbildung 1 dargestellt sind.

Durchschallungs-Verfahren



Impuls-Echo-Verfahren

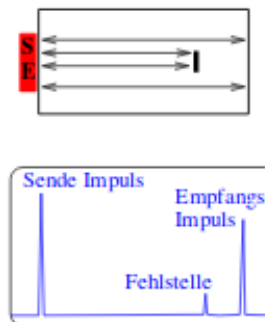


Abbildung 1: Prinzipieller Versuchsaufbau. [1]

Das Durchschallungsverfahren beschreibt die Technik, bei der auf der einen Seite der Probe der Sender und auf der anderen Seite der Empfänger angebracht werden. So kann bestimmt werden, ob sich eine Fehlstelle in der Probe befindet, da am Empfänger eine abgeschwächte Intensität gemessen wird. Dabei kann der Ort der Fehlstelle aber nicht genau bestimmt werden. Das Impuls-Echo-Verfahren beschreibt die Messtechnik, bei der der Sender und Empfänger auf der gleichen Seite angebracht werden. Dabei werden die ausgesendeten Ultraschallwellen an Fehlstellen reflektiert und es kann durch die

Laufzeitbestimmung nach

$$s = \frac{1}{2}ct \quad (3)$$

der genaue Ort der Fehlstelle bestimmen.

Dazu kommt, dass es drei verschiedene Darstellungsarten der Laufzeitdiagramme gibt. Beim A-Scan oder auch Amplituden-Scan werden die Echoamplituden des ausgesendeten Signals in Abhängigkeit der Laufzeit dargestellt. Der B-Scan oder auch Brightness-Scan ist ein zweidimensionales Bild der Echoamplituden in Helligkeitsabstufungen. Der TM-Scan oder auch Time-Motion-Scan kann eine zeitliche Bildfolge aufnehmen, durch das auch Bewegungen eines Organes sichtbar gemacht werden können.

3 Durchführung

3.1 Der A-Scan

Zunächst sollen mit Hilfe des A-Scans die Störstellen des Acrylblocks, der in Abbildung 2 dargestellt ist, identifiziert werden. Dazu wird mit einer 1 MHz-Sonde die Lage der Bohrungen untersucht. Dabei und bei den folgenden Messungen sollte Wasser als Kontaktmittel verwendet werden, da Luft einen sehr hohen Absorptionskoeffizienten hat. Die Sonde wird über die Störstellen gesetzt und die Laufzeit gemessen. Danach wird die Messung von der anderen Seite wiederholt um die Dicke der Störstellen zu bestimmen. Es muss die Laufzeitkorrektur aufgrund des Kontaktmittels berücksichtigt werden.

3.2 Das Auflösungsvermögen

In der nächsten Messung werden Sonden von 1 MHz, 2 MHz und 4 MHz verwendet. Dann werden die Störstellen 1 und 2 jeweils untersucht und Messungen mit dem A-Scan aufgenommen.

3.3 Der B-Scan

Bei dieser Messung wird mit einer 2 MHz-Sonde der B-Scan durchgeführt. Dabei wird die Sonde langsam und konstant über den Acrylblock bewegt um ein gleichmäßiges Bild zu erhalten. Dann werden jeweils die Messzeitdifferenzen der Störstellen notiert. Daraufhin wird der Acrylblock umgedreht und die Messung wiederholt.

3.4 Der TM-Scan

Es wird ein einfaches Herzmodell untersucht, das aus einem Doppelgefäß und einer beweglichen Membran besteht. Dabei kann die Membran eigenständig durch einen Gummiball bewegt werden. Aus der Messung werden dann aus dem enddiastolischen und das endsystolischen Volumen das Herzvolumen bestimmt. Dazu wird der obere Behälter zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Mit einer 2 MHz-Sonde wird dann bei regelmäßigem Aufpumpen der Membran ein TM-Scan des Herzens gemacht. Dabei sollte die Sonde auf der Wasseroberfläche angebracht sein.

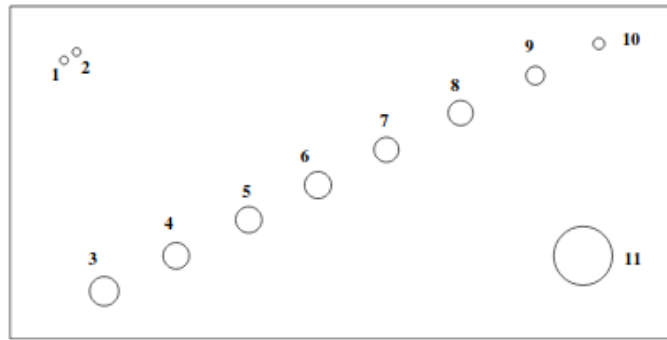


Abbildung 2: Der Acrylblock. [1]

4 Auswertung

In dem Versuch wird ein Acrylblock untersucht. Dieser Block hat folgende Maße:

Länge: 15 cm

Höhe: 8 cm

Dicke: 4 cm

Zudem haben die verwendeten Sonden jeweils eine Schutzschicht mit der Dicke

$$D = 0,2\text{cm}$$

4.1 Untersuchung mit A-Scan

Mithilfe des A-Scans werden für die Löcher 3 bis 10 folgende Werte ermittelt, zu sehen in Tabelle 1:

Tabelle 1: Ergebnisse des A-Scans.

n_{Loch}	$t1/\text{s}$	$t2/\text{s}$
3	46.5	9.7
4	40	15.9
5	34.6	22.1
6	29.1	28.4
7	23.4	34.1
8	17.6	39.9
9	11.7	45.6
10	5.7	51.7

$t1$ und $t2$ sind dabei die Laufzeiten von der jeweiligen Seite des Blocks. Nach Gleichung 3 und Abzug der Dicke der Schutzschicht ergeben sich die Positionen der Löcher im Block,

bzw. die Distanz von der Messwand. Die Geschwindigkeit c , die Schallgeschwindigkeit, beträgt in Acryl 2730 m/s [2]. Mit der Rechnung

$$G_{\text{Loch}} = h_{\text{Block}} - S_2 - S_1 \quad (4)$$

ergibt sich dann die Größe der Löcher (Tabelle 2). S_1 und S_2 sind jeweils die Streckenmessungen von 'oben' und 'unten' des Blockes.

Tabelle 2: Laufwege

N_{Loch}	S_1/cm	S_2/cm	$G_{\text{Loch}}/\text{cm}$
3	6.15	1.12	0.73
4	5.26	1.97	0.77
5	4.52	2.82	0.66
6	3.77	3.68	0.55
7	2.99	4.45	0.55
8	2.20	5.25	0.55
9	1.40	6.02	0.58
10	0.58	6.86	0.56

4.2 Auflösungsvermögen

Für die Messfrequenzen 1 MHz (Abbildung 3), 2 MHz (Abbildung 4) und 4 MHz (Abbildung 5) ergeben sich folgende Graphen bei der Untersuchung des Acrylblocks.

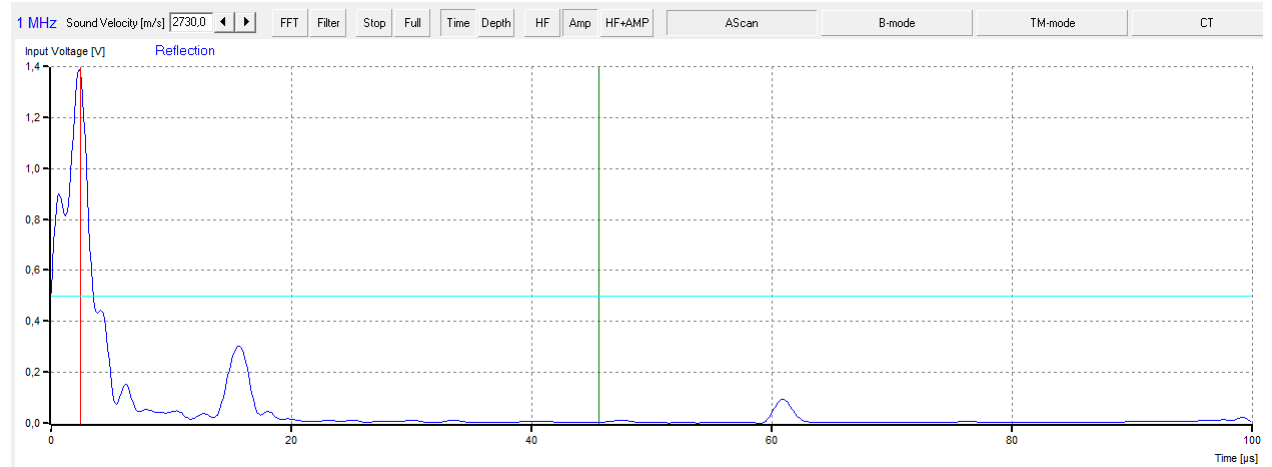


Abbildung 3: Auflösung bei 1 MHz.

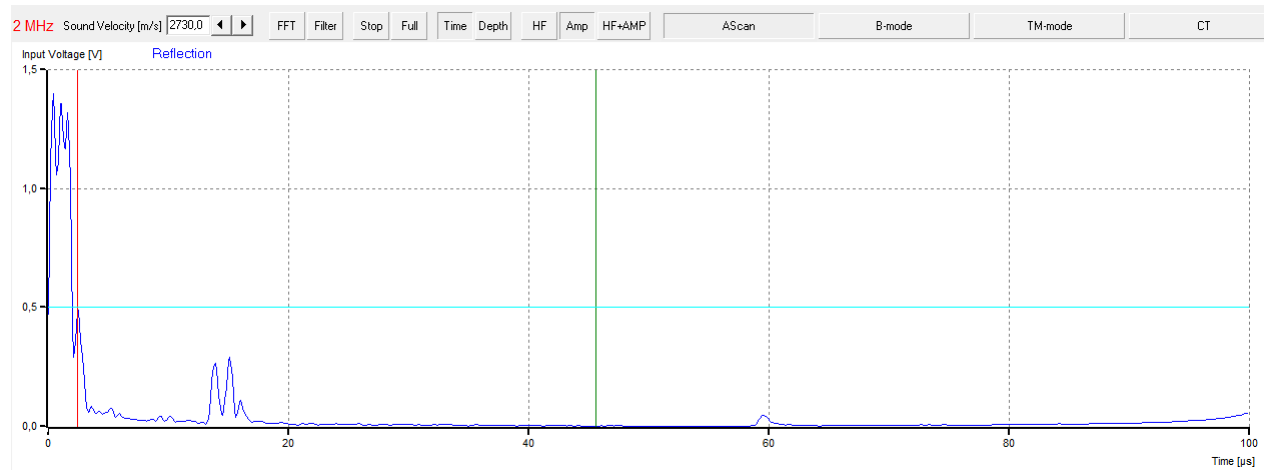


Abbildung 4: Auflösung bei 2 MHz.

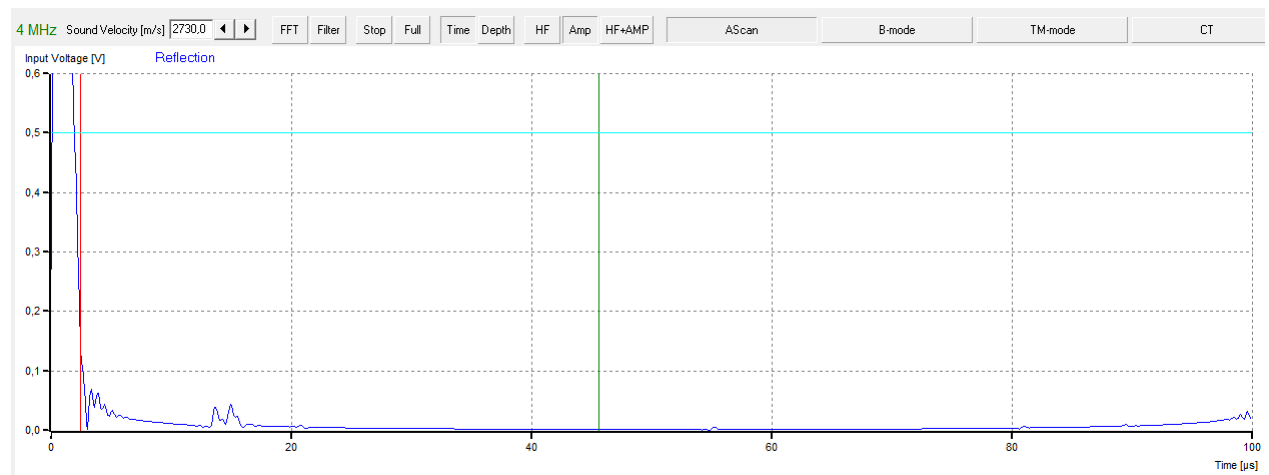


Abbildung 5: Auflösung bei 4 MHz.

An den Graphen ist erkennbar, dass bei 4 MHz die höchste Auflösung besteht und bei 1 MHz die geringste. Bei 4 MHz sind die Peaks der beiden Löcher klar erkennbar. Bei 1 MHz sind sie nicht mehr differenzierbar.

4.3 Untersuchung mit B-Scan

Bei der Messung mithilfe des B-Scans ergeben sich folgende Abbilder des Acrylblocks (oben / unten):

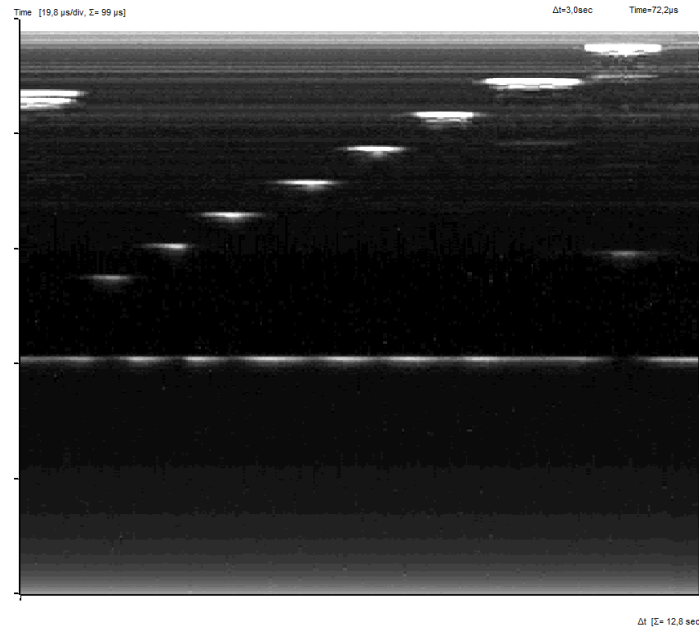


Abbildung 6: Abbild des Acrylblocks mit B-Scan (oben).

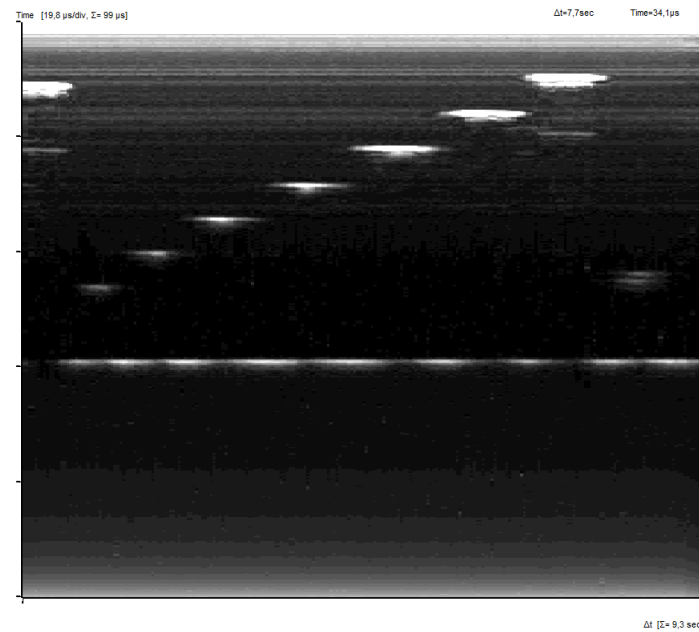


Abbildung 7: Abbild des Acrylblocks mit B-Scan (oben).

Wie beim A-Scan 4.1 können nun erneut mithilfe Gleichung 3 die jeweiligen Laufwege über die Laufzeiten (siehe Tab. 3) bestimmt werden.

Tabelle 3: Laufzeiten beim B-Scan.

N_{Loch}	$t_{1,1}/\text{s}$	$t_{2,1}/\text{s}$	$t_{1,2}/\text{s}$	$t_{2,2}/\text{s}$
1	15.7	16.8	46.4	47.1
2	14.3	15.5	45.0	46.0
3	46.0	47.1	10.8	13.2
4	40.7	41.7	17.0	19.1
5	35.2	36.3	23.2	25.3
6	29.6	31.0	29.6	31.8
7	23.8	25.3	35.6	36.9
8	17.7	19.5	41.3	43.0
9	12.1	14.3	47.1	48.3
10	6.1	8.2	—	—
11	41.7	43.2	12.2	15.1

Die Größen der Löcher werden mithilfe der Gleichung

$$G_{\text{Loch}} = S_{2,n} - S_{1,n} \quad (5)$$

berechnet (siehe Tab. 4).

Tabelle 4: Laufwege und Größen der Löcher beim B-Scan.

N_{Loch}	$S_{1,1}/\text{cm}$	$S_{2,1}/\text{cm}$	$S_{1,2}/\text{cm}$	$S_{2,2}/\text{cm}$	$G_{\text{Loch},1}/\text{cm}$	$G_{\text{Loch},2}/\text{cm}$
1	1.94	2.09	6.13	6.23	0.15	0.10
2	1.75	1.92	5.94	6.08	0.16	0.14
3	6.08	6.23	1.27	1.60	0.15	0.33
4	5.36	5.49	2.12	2.41	0.14	0.29
5	4.60	4.75	2.97	3.25	0.15	0.29
6	3.84	4.03	3.84	4.14	0.19	0.30
7	3.05	3.25	4.66	4.84	0.20	0.18
8	2.22	2.46	5.44	5.67	0.25	0.23
9	1.45	1.75	6.23	6.39	0.30	0.16
10	0.63	0.92	—	—	0.29	—
11	5.49	5.70	1.47	1.86	0.20	0.40

n steht dabei für die jeweilige Seite auf der der Block bei der Messung liegt, also oben/unten. Bei $n = 1$ sind die beiden kleinen Löcher oben.

4.4 Herzmodell mit TM-Scan

Bei der Messung eines A-Scans des Herzmodelles ergibt sich eine Echolaufzeit von

$$t = 53,5 \text{ s.}$$

Bei dem TM-Scan werden 8 Peaks aufgenommen über eine Zeit von 9,6 s (siehe Abbildung 8).

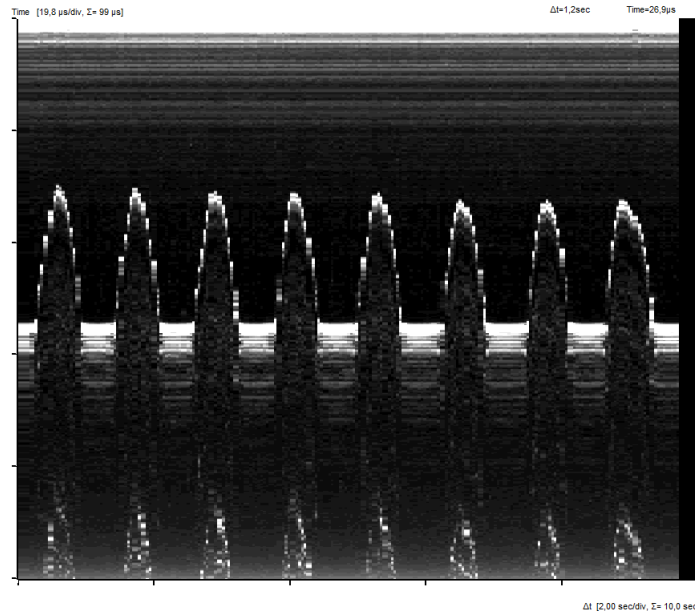


Abbildung 8: TM-Scan eines Herzmodells.

Somit ergibt sich nach

$$f = \frac{t}{n} \cdot 60$$

eine Herzfrequenz von 76 Schlägen pro Minute.

Die Peaks verlaufen jeweils zeitlich von 32,8 s bis 55,9 s.

Das Herzmodell hat einen Durchmesser von 5 cm und kann als Halbkugel betrachtet werden. Bei dem Enddiastolischen Volumen, kurz EDV, handelt es sich um das Blutvolumen, welches nach maximaler Füllung in einer Herzkammer vorzufinden ist. Somit kann über die Echolaufzeit mit der Gleichung 3 das Volumen des Modells ohne Kontraktion des Ballons (Herz) bestimmt werden. Die Geschwindigkeit c , die Schallgeschwindigkeit, beträgt in Wasser 1484 m/s. Das Volumen eines Zylinders ist definiert als

$$V_Z = \pi \cdot r^2 \cdot h.$$

h ist definiert als s aus 3. Für das Modellherz ergibt sich also eine Enddiastolische Volumen von

$$\text{EDV} = 157.08 \text{ ml.}$$

Das Endsystolische Volumen, kurz ESV, gibt das Blutvolumen nach voller Kontraktion des Herzens in einer Herzkammer an. Somit muss dem Volumen des voll aufgespannten Herzens, hier Ballons, das zuvor berechnete Volumen abgezogen werden. Für das vom Herzen eingenommenen Volumen wird die Gleichung

$$V_{\text{Halbkugel}} = \frac{2}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$

verwendet. Für das Endsystolische Volumen ergibt sich somit

$$\text{ESV} = 104.72\text{ml}$$

Zur Bestimmung des HZV wird nun das ESV vom EDV abgezogen und mit der Herzfrequenz multipliziert:

$$\text{HZV} = (\text{EDV} - \text{ESV}) \cdot f$$

Somit ergibt sich ein Herzzeitvolumen von

$$\text{HZV} = 3979 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$$

5 Diskussion

Bei der Untersuchung des Acrylblocks liefern beide Scan-Methoden ähnliche Werte. Es ist jedoch anzunehmen, dass die Methode des A-Scans für die Bestimmung der Lage der Löcher genauer ist, da bei dieser Messmethode keine Fehler durch zu schnelles Bewegen der Sonde auftreten können, wie bei dem B-Scan.

Zudem fällt auf, dass beim B-Scan für die beiden Seiten unterschiedliche Ergebnisse für die Löchergrößen und -lagen auftreten. Dies kann wie bereits erwähnt aus zu schnellen Bewegen der Sonde oder ungenauem Ablesen der Grafik resultieren. Auch konnte bei dem B-Scan ein Loch nicht erfasst werden, da es durch ein darüber liegendes Loch verdeckt wurde.

Bei der Untersuchung des Auflösungsvermögens bei verschiedenen Frequenz kann zusammengefasst werden, dass mit wachsender Frequenz auch die Auflösung schärfer wird. Die Peaks werden dabei jedoch kleiner, weshalb die Frequenz vermutlich nicht zu hoch gewählt werden kann. Bei einer Frequenz von 1MHz konnten die beiden untersuchten Löchern nicht mehr unterschieden werden.

Mithilfe des TM-Scans konnte die Herzfrequenz, sowie das Herzzeitvolumen sehr gut berechnet werden. Für das Herzzeitvolumen ergibt sich ein Wert von

$$\text{HZV} = 3979 \frac{\text{mL}}{\text{min}}.$$

Der Normalwert in Ruhe eines gesunden Erwachsenen liegt bei $4500 - 5000 \frac{\text{mL}}{\text{min}}$ [3].

Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zum Experiment US2 - Scanverfahren in der Ultraschalltechnik*. 2019.
- [2] URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [3] URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Herzzeitvolumen>.