

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Theodor Zies

theodor.zies@tu-dortmund.de

Tom Troska

tom.troska@tu-dortmund.de

Durchführung: 12.04.2022

Abgabe: 19.04.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1. Zielsetzung	3
2. Theorie	3
2.1. Ultraschall	3
2.2. Messverfahren	3
3. Durchführung	4
3.1. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und Dicke der Kopplungsschicht .	4
3.2. Vermessung der Fehlstellen mithilfe eines <i>A-Scans</i>	4
3.3. Untersuchung des Auflösungsvermögens	5
3.4. Vermessung der Fehlstellen mithilfe eines <i>B-Scans</i>	5
3.5. Untersuchung eines Brustmodells auf Tumore	5
4. Auswertung	5
4.1. Abmessungen des Acrylblocks	5
4.2. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Acryl	6
4.3. Berechnung der Dicke der Kopplungsschicht	7
4.4. Vermessung des Acrylzylinder mit einem A-Scan	8
4.5. Untersuchung des Auflösungsvermögens	9
4.6. Vermessung des Acrylzylinder mit einem B-Scan	9
4.7. Untersuchung eines Brustmodells auf Tumore	11
5. Diskussion	13
Literatur	13
A. Anhang	14
A.1. Originaldaten	14

1. Zielsetzung

Ziel des Versuches ist es, zwei unterschiedliche Scanmethoden der Ultraschalltechnik anzuwenden und damit die Fehlstellen in einem Acrylblock zu bestimmen. Anschließend soll ein Brustmodell mit derselben Technik auf mögliche Tumore untersucht werden.

2. Theorie

2.1. Ultraschall

Bei Schall handelt es sich allgemein um eine longitudinale Welle, welche sich als Druckschwankung in einem Medium fortbewegt. Das menschliche Gehör kann diese in einem Frequenzbereich von ca. 16 Hz bis 20 kHz wahrnehmen. Schallwellen mit höheren Frequenzen zwischen 20 kHz und 1 GHz werden als Ultraschall bezeichnet.

Die Ultraschallwellen breiten sich mit einer vom Medium abhängigen Schallgeschwindigkeit c aus. Weiterhin ist die akustische Impedanz (auch Schallkennwiderstand) $Z = \rho \cdot c$ von Interesse, sie hängt von der Schallgeschwindigkeit sowie von der Dichte des Mediums ab.

Während der Ausbreitung verlieren die Schallwellen aufgrund von Absorption an Energie, ihre Intensität nimmt ab. Es besteht ein exponentieller Zusammenhang zwischen der Intensität und der zurückgelegten Strecke:

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

Aufgrund des hohen Absorptionskoeffizienten von Luft wird zwischen Schallgeber und Material ein Kontaktmittel verwendet.

Zur Erzeugung von Ultraschall wird unter anderem der sogenannte reziproke piezoelektrische Effekt verwendet. Piezo-elektrische Kristalle schwingen in elektrischen Wechselfeldern und strahlen dabei Ultraschallwellen ab. Derselbe Effekt funktioniert umgekehrt, somit kann ein solcher Kristall auch als Empfänger verwendet werden, der abhängig von der Schallintensität ein elektrisches Signal emittiert.

2.2. Messverfahren

Um Informationen über das zu untersuchende Material mithilfe von Ultraschall zu gewinnen, werden unter anderem Laufzeitmessungen durchgeführt. Dabei gibt es zwei wesentliche Verfahren.

Beim *Durchschallungs-Verfahren* wird mit einem Sender ein kurzzeitiger Schallimpuls in die Probe gegeben. Am anderen Ende der Probe wird das Signal dann wieder empfangen, aus der Laufzeit lässt sich die Länge berechnen:

$$s = c \cdot t \quad (2)$$

Die andere Möglichkeit nennt sich *Impuls-Echo-Verfahren*. Hier wird der Sender gleichzeitig als Empfänger verwendet. Der gesendete Impuls wird am Ende der Probe reflektiert

und somit wieder empfangen. Für die Längenberechnung zählt hier deshalb nur die halbe Zeit:

$$s = \frac{1}{2} c \cdot t \quad (3)$$

Die gesammelten Daten lassen sich auf zwei verschiedene Arten darstellen, den sogenannten *A-Scan* und *B-Scan*.

- Beim *A-Scan* handelt es sich um ein eindimensionales Verfahren, es werden die Amplituden des Echos in Abhängigkeit der Laufzeit oder der Laufstrecke dargestellt.
- Beim *B-Scan* werden die Messdaten zweidimensional dargestellt. Die Echoamplituden werden in Form von Helligkeitsstufen dargestellt, somit kann ein zweidimensionales Schnittbild erzeugt werden.

3. Durchführung

Für den Versuch wird ein in Abbildung 1 dargestellter Quaderförmiger Acrylblock verwendet, in dem elf Fehlstellen in Form von Bohrungen eingearbeitet sind. Im ersten Schritt wird die Höhe des Acrylblocks sowie die Lage sämtlicher Bohrungen mit der Schieblehre gemessen. Auch der Durchmesser der Löcher wird vermessen, diese Werte dienen später als Referenz für die Ultraschallmessungen.

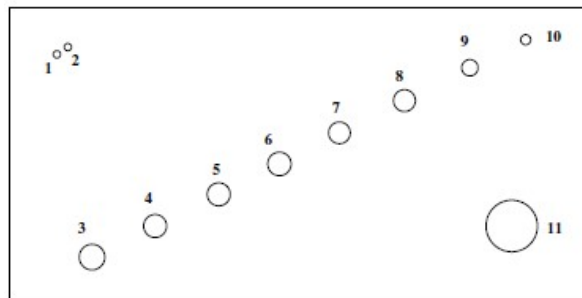


Abbildung 1: Skizze des verwendeten Acrylblocks.[4]

3.1. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit und Dicke der Kopplungsschicht

Im ersten Versuchsteil werden 7 Löcher verwendet, um mithilfe eines *A-Scans* die Laufzeit des Impulses bis zu deren Position zu bestimmen. Zusammen mit den vorher gemessenen Positionen der Löcher kann anschließend die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden.

3.2. Vermessung der Fehlstellen mithilfe eines *A-Scans*

Im Computerprogramm wird nun die theoretische Schallgeschwindigkeit in Acryl $c_{\text{theorie}} = 2730 \text{ m/s}$ [1] ergänzt, dies ermöglicht dem Programm die gemessenen Laufzeiten direkt als Längen anzugeben. Unter Verwendung eines *A-Scans* werden alle zuvor händisch

bestimmten Maße nun erneut genommen, indem der Block von der Ober- und Unterseite gescannt wird. Dies ermöglicht zusätzlich, den Durchmesser der Bohrungen mithilfe der Ultraschalltechnik zu berechnen.

3.3. Untersuchung des Auflösungsvermögens

Um mögliche Unterschiede des Auflösungsvermögens bei Verwendung verschiedener Frequenzen der Ultraschallwellen zu untersuchen, werden zwei benachbarte Bohrungen betrachtet. Die selbe Stelle wird mit einer 1 MHz sowie mit einer 2 MHz Sonde gescannt. Zur Feststellung möglicher Unterschiede werden die ausgegebenen Grafiken verglichen.

3.4. Vermessung der Fehlstellen mithilfe eines *B-Scans*

Analog zu 3.2 werden die Fehlstellen wieder Vermessen, jedoch wird nun der *B-Scan* eingesetzt. Die Positionen der Bohrungen können hierbei aus den Grafiken abgelesen werden, die Durchmesser lassen sich wieder aus den Differenzen bestimmen.

3.5. Untersuchung eines Brustmodells auf Tumore

Zuletzt soll ein Brustmodell mit einem *B-Scan* auf Tumore untersucht werden. Dafür wird deren Position zuerst ertastet, um die ungefähre Position für den Ultraschallscan zu kennen. Anschließend wird der *B-Scan* durchgeführt und graphisch ausgewertet, um die Existenz und Position der Tumore zu verifizieren.

4. Auswertung

4.1. Abmessungen des Acrylblocks

Die Höhe des Acrylblocks wird zu

$$h = 80,5 \text{ mm}$$

bestimmt. Aus der Höhe und den Abständen der Bohrungen zu der oberen und der unteren Kante wird außerdem der Durchmesser berechnet.

Tabelle 1: Abmessungen des Acrylblocks.

Lochnummer	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	d / mm
1	13,1	61,3	6,1
2	21,7	53,9	4,9
3	30,2	46,3	4,0
4	38,8	39,0	2,7
5	46,6	31,0	2,9
6	54,8	23,0	2,7
7	63,6	15,0	1,9
8	70,5	7,0	3,0
9	10,3	55,4	14,8
10	59,6	19,5	1,4
11	61,3	17,9	1,3

4.2. Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Acryl

Aus der Laufzeit der Ultraschallwellen und der aus 4.1 bekannten Positionen der Bohrungen wird ein Plot erstellt. Mithilfe einer linearen Ausgleichsrechnung mit der *python*-Erweiterung *scipy* [3] wird eine Regressionsgerade vom Typ $y = mx + b$ mit den Parametern

$$m = (360,3 \pm 3,0) \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\text{m}}$$
$$b = (0,7 \pm 3,0) \cdot 10^{-6} \text{s}$$

bestimmt. Aus (3) wird die Schallgeschwindigkeit in Acryl zu

$$c_{\text{exp}} = \frac{1}{m} = (2775 \pm 23) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

berechnet. Der Parameter b beschreibt die Laufzeit des Schallimpulses in der Kopplungsschicht. Mit der Schallgeschwindigkeit in der Kopplungsschicht von $c_{\text{Wasser}} = 1483 \text{ m/s}$ [2] kann die Dicke der Kopplungsschicht \tilde{d}_{K} bestimmt werden.

$$\tilde{d}_{\text{K}} = c_{\text{Wasser}} \cdot b = (1 \pm 4) \text{ mm}$$

Tabelle 2: Daten c -Bestimmung mit Impuls-Echo-Verfahren.

Lochnummer	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$\Delta t / \mu\text{s}$
1	13,1	10,7
2	21,7	16,9
3	30,2	23,1
4	38,8	29,5
5	46,6	35,3
6	54,8	41,0
7	63,6	46,8

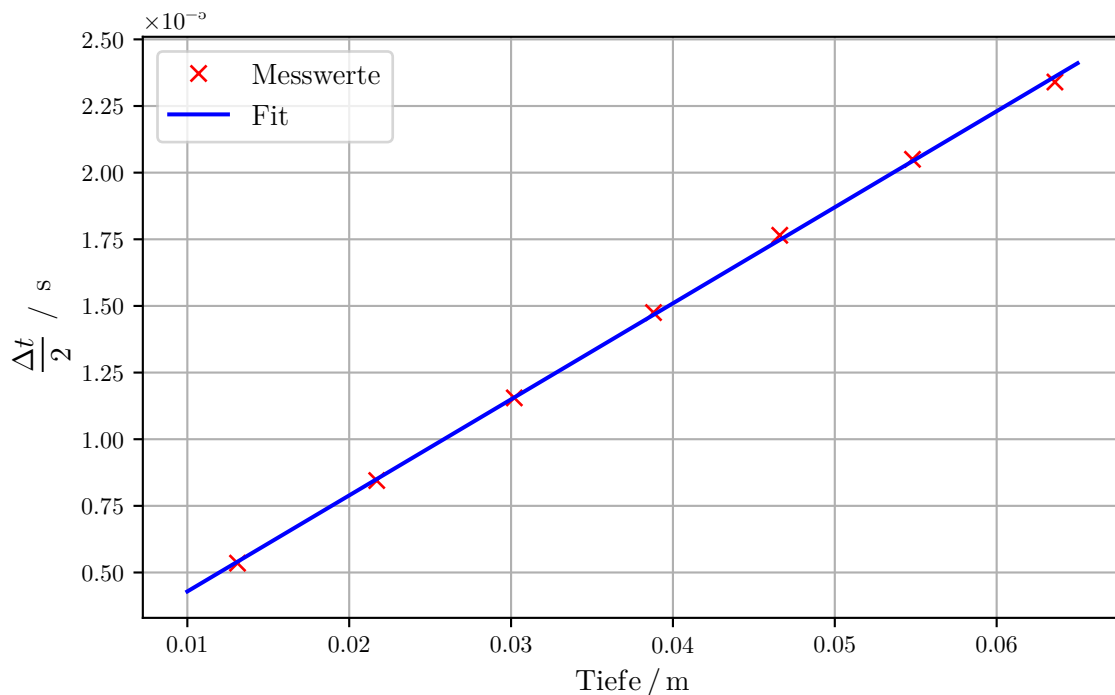


Abbildung 2: Graphische Darstellung der Messwertpaare aus Tabelle 2 mit Ausgleichsgerade.

4.3. Berechnung der Dicke der Kopplungsschicht

Die aus der linearen Regression bestimmte Dicke der Kopplungsschicht weist eine große Messunsicherheit auf, weshalb hier mit einer anderen Berechnungsmethode versucht wird, diese Unsicherheit zu verringern.

Dafür wird der aus 4.1 bekannte Abstand der Bohrungen zur Oberkante und ein Literaturwert für die Schallgeschwindigkeit in Acryl von $c_{\text{Acryl}} = 2730 \text{ m/s}$ [1] verwendet, um so die theoretische Laufzeit des Schallimpulses zu berechnen. Aus der Differenz der tatsächlichen und der theoretischen Laufzeit aus Tabelle 2 kann so wieder mit der Schallgeschwindigkeit

in der Kopplungsschicht die Dicke dieser zu

$$d_K = (0,68 \pm 0,22) \text{ mm}$$

bestimmt werden.

Im Folgenden wird aufgrund der geringeren Messunsicherheit dieser Wert verwendet.

4.4. Vermessung des Acrylzylinder mit einem A-Scan

Die Abstände der Bohrungen zu der oberen und unteren Seite des Acrylblocks müssen um die Dicke der Anpassungsschicht korrigiert werden. Zur Veranschaulichung wird außerdem die relative Abweichung der korrigierten Messwerte zu den Werten aus 4.1 angegeben.

Tabelle 3: Unkorrigierte Daten der Vermessung des Acrylblocks mit einem A-Scan.

Lochnummer	$\tilde{s}_{\text{oben}} / \text{mm}$	$\tilde{s}_{\text{unten}} / \text{mm}$
1	14,7	62,5
2	23,1	55,1
3	31,6	47,6
4	40,0	40,2
5	48,1	32,2
6	56,0	24,1
7	63,9	16,3
8	72,3	8,4
9	16,6	56,7
10	60,7	20,7
11	62,4	19,2

Tabelle 4: Korrigierte Daten der Vermessung des Acrylblocks mit einem A-Scan.

Lochnummer	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$\Delta_{\text{rel}}(s_{\text{oben}}) / \%$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	$\Delta_{\text{rel}}(s_{\text{unten}}) / \%$
1	13,3	1,90	61,1	0,25
2	21,7	0,23	53,7	0,28
3	30,2	0,16	46,2	0,11
4	38,6	0,39	38,8	0,39
5	46,7	0,32	30,8	0,49
6	54,6	0,28	22,7	1,09
7	62,5	1,65	14,9	0,34
8	70,9	0,64	7,0	0,70
9	15,2	48,05	55,3	0,09
10	59,3	0,42	19,3	0,77
11	61,0	0,41	17,8	0,28

4.5. Untersuchung des Auflösungsvermögens

Die Bohrungen 10 und 11 werden von der unteren Seite aus mit den beiden Messsonden betrachtet. Es ist zu erkennen, dass mit der 2 MHz Sonde deutlich besser zwischen den

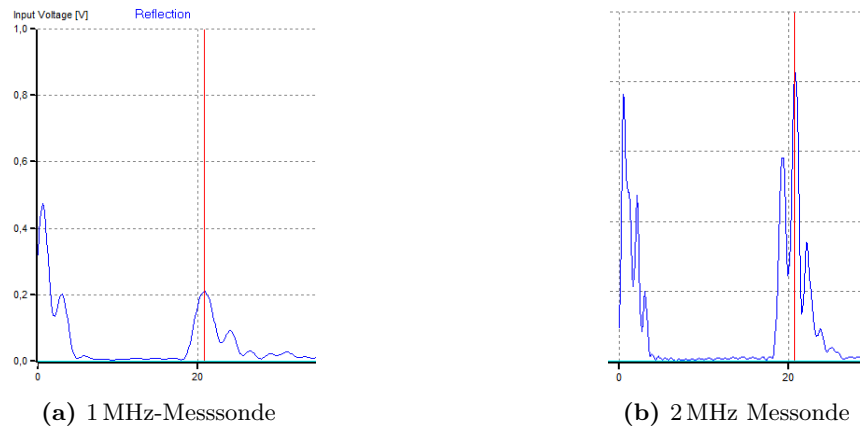


Abbildung 3: Ausgabe eines A-Scans der Bohrungen 10 und 11 mit verschiedenen Messsonden.

beiden nah aneinanderliegenden distinguished werden kann. Die Breite der Peaks ist bei der 2 MHz Sonde geringer als die der anderen Sonde, was das exakte Ablesen der Tiefe der Bohrungen erleichtert.

4.6. Vermessung des Acrylzylinder mit einem B-Scan

Aus den Graphiken der B-Scans der oberen und unteren Seite werden wie in 4.4 die Tiefen der Bohrungen abgelesen.

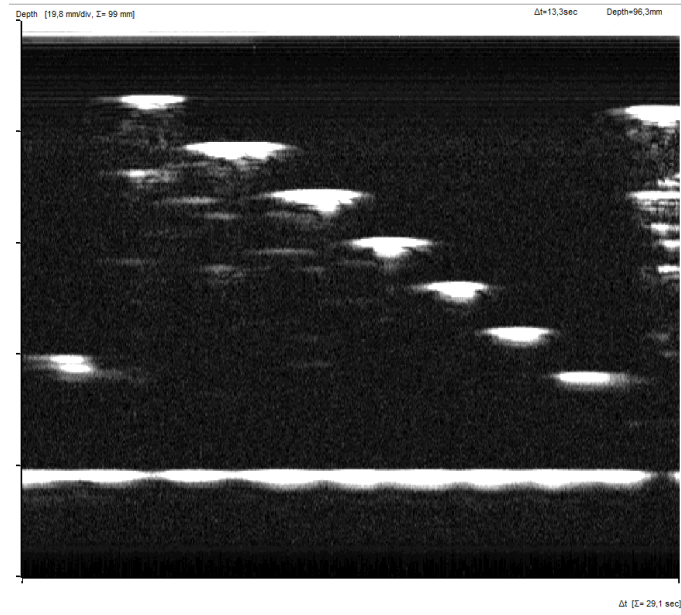


Abbildung 4: Aufnahme des B-Scans der Oberseite des Acrylblocks.

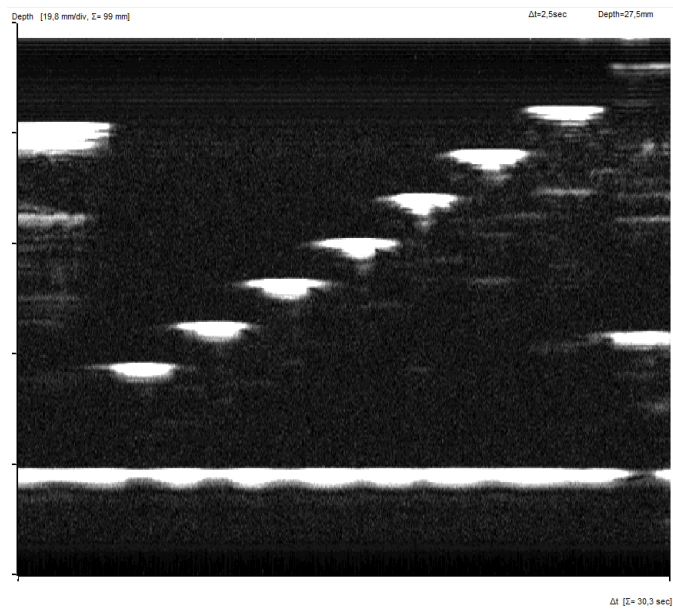


Abbildung 5: Aufnahme des B-Scans der Unterseite des Acrylblocks.

Tabelle 5: Unkorrigierte Daten der Vermessung des Acrylblocks mit einem B-Scan.

Lochnummer	$\tilde{s}_{\text{oben}} / \text{mm}$	$\tilde{s}_{\text{unten}} / \text{mm}$
1	15,4	62,9
2	23,6	55,5
3	31,2	47,9
4	40,6	40,7
5	48,6	32,7
6	56,6	24,8
7	64,6	17,0
8		9,4
9	17,2	57,4
10	61,4	21,6
11	63,4	19,8

Auch hier werden wie zuvor bei der Auswertung des A-Scans die Messwerte um die Dicke der Anpassungsschicht korrigiert und es wird die relative Abweichung zu den Werten aus 4.1 angegeben.

Tabelle 6: Korrigierte Daten der Vermessung des Acrylblocks mit einem B-Scan.

Lochnummer	$s_{\text{oben}} / \text{mm}$	$\Delta_{\text{rel}}(s_{\text{oben}}) / \%$	$s_{\text{unten}} / \text{mm}$	$\Delta_{\text{rel}}(s_{\text{unten}}) / \%$
1	14,0	7,24	61,5	0,41
2	22,2	2,53	54,1	0,46
3	29,8	1,16	46,5	0,54
4	39,2	1,16	39,3	0,89
5	47,2	1,39	31,3	1,13
6	55,2	0,82	23,4	1,95
7	63,2	0,55	15,6	4,33
8			8,0	14,99
9	15,8	53,87	56,0	1,17
10	60,0	0,75	20,2	3,84
11	62,0	1,22	18,4	3,07

4.7. Untersuchung eines Brustmodells auf Tumore

Durch die Abtastung des Brustmodells lässt sich die Position der Tumore auf die in Abbildung 6 gekennzeichneten grünen Kreise einschränken. Der nachfolgende B-Scan dieser Bereiche zeigt eine klare Veränderung der Materialdichte in diesen Bereichen, weshalb davon auszugehen ist, dass es sich hierbei um die Tumore handelt. Aus dem B-Scan geht außerdem hervor, dass die Tumore in einer Tiefe von rund 1,5 cm liegen.

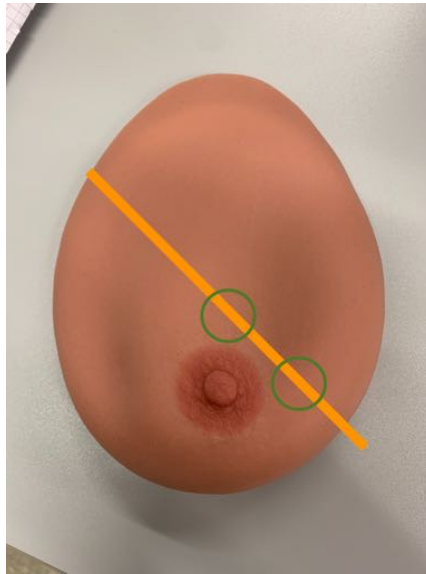


Abbildung 6: Bild des Brustmodells. Als grüne Kreise sind die ertasteten Tumore gekennzeichnet. Die orangene Line markiert den Verlauf des B-Scans.



Abbildung 7: Aufnahme des Brustmodells mit einem B-Scan.

5. Diskussion

Mithilfe der ersten Versuchsreihe konnte für die Schallgeschwindigkeit ein plausibler Wert bestimmt werden, der nah am theoretischen Wert liegt.

Die Bestimmung der Dicke der Kopplungsschicht über die lineare Regression weist einen großen Fehler auf, weshalb die alternative Berechnung durchgeführt wurde. Der neue Wert hat anschließend die Ultraschallmessungen gut korrigiert, weshalb die relativen Fehler der Länge nur bei wenigen Prozent liegen.

Auffällig ist jedoch, dass der Fehler für die Vermessung der Bohrung mit der Nummer 9 von oben mit rund 48,05 %, gerade im Vergleich zu den anderen Fehlern, sehr groß ist. Eine mögliche Erklärung hierfür ist das Ablesen einer falschen Reflexion.

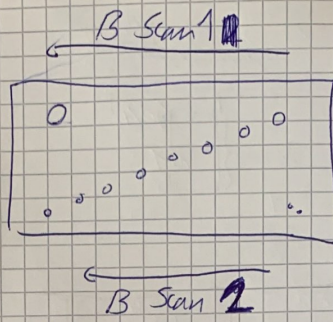
Während der *B-Scan* einen guten optischen Eindruck über die Position der Bohrungen ermöglicht, sind die gewonnen Werte ungenauer. Aufgrund des Rauschen im Bild sind größere relative Fehler entstanden. Außerdem konnte eine Fehlstelle nicht korrekt identifiziert werden, deshalb liegen nur zehn Messdaten trotz elf Bohrungen vor.

Ähnliche Schwierigkeiten spielen beim Scan des Brustmodells eine Rolle. Der qualitative Nachweis der Tumore war mit dem Scanbild möglich, für genauere Aussagen über deren Größe und Art ist allerdings auch hier das Bild zu verrauscht. Eine bessere Auflösung wäre hier eventuell, wie in 4.5 beobachtet, durch Erhöhung der Frequenz erreichbar.

Literatur

- [1] Olympus Corporation. *Schallgeschwindigkeit im Material*. 2022. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 07.04.2022).
- [2] Horst Czichos und Manfred Hennecke. *HÜTTE - Das Ingenieurwissen*. Springer, 2008. ISBN: 9783540718512.
- [3] Eric Jones, Travis E. Oliphant, Pearu Peterson u. a. *SciPy: Open source scientific tools for Python*. Version 0.16.0. URL: <http://www.scipy.org/>.
- [4] *Versuch US1: Einführung in die Ultraschalltechnik*. TU Dortmund, Fakultät Physik.

3. Messung



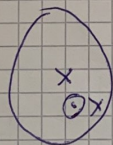
Scan 1: in mm

15.4
23.6
31.2
40.6
48.6
56.6
64.6
72.2

Scan 2: in mm

73.8
21.6
32.7
40.7
47.9
55.5
62.9
72.0
79.4
87.4

4. Messung:



D.O.