

VERSUCH US 2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Tabea Hacheney
tabea.hacheney@tu-dortmund.de

Bastian Schuchardt
bastian.schuchardt@tu-dortmund.de

Durchführung: 10.05.2022 Abgabe: 17.05.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
2.1 Ausbreitung von Schallwellen	3
2.2 Erzeugung von Ultraschall	4
2.3 Ultraschallverfahren	4
2.4 Scan-Methoden	4
3 Versuchsaufbau	5
4 Durchführung	5
4.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan	5
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens	6
4.3 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan	6
4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan	6
5 Auswertung	7
5.1 Maße des Acrylblocks	7
5.2 Messung der Schallgeschwindigkeit in Acryl	7
5.3 Tiefe der Störstellen	9
5.4 Auflösungsvermögen	9
5.5 B-Scan eines Acrylblocks	10
5.6 B-Scan eines Brustmodels	12
6 Diskussion	14
Anhang	14
Literatur	19

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Funktionsweise der Ultraschalltechnik untersucht werden, da sie vor allem in der medizinischen und materialwissenschaftlichen Technik ihre Anwendung findet und deshalb für die Experimentalphysik von Relevanz ist.

2 Theorie

Den Frequenzbereich des Schalls lässt sich in vier Teilbereiche aufteilen. Einmal in den für das menschliche Ohr hörbare Bereich von ca. 16 Hz bis ca. 20 kHz, in den Teilbereich von ca. 20 kHz bis ca. 1 GHz, der auch Ultraschall genannt wird und in den Teilbereich ab 1 GHz, der auch Hyperschall genannt wird. Der Teilbereich unter dem hörbaren Bereich wird auch Infraschall genannt.

2.1 Ausbreitung von Schallwellen

Bei Schallwellen handelt es sich um longitudinale Wellen, die sich aufgrund von Druckschwankungen fortbewegt. Eine Schallwelle mit Ausbreitung in x-Richtung lässt sich mit

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

darstellen.

Dabei ist p_0 der Normaldruck, v_0 die Schallschnelle, und $Z = \rho c$ die Akustische Impedanz mit der Schallgeschwindigkeit c und der Dichte ρ des durchschallten Materials.

Die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten lässt sich in Abhängigkeit ihrer Kompressibilität κ und ihrer Dichte ρ durch

$$c_{\text{Fl}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}$$

ausdrücken. Da in Festkörpern auch die transversalen Wellen aufgrund der Schubspannung mit berücksichtigt werden müssen, wird κ durch den Zusammenhang zum Elastizitätsmodul E ersetzt. Es ergibt sich

$$c_{\text{Fe}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}.$$

Im Normalfall geht immer eine Teil der Energie bei der Schallausbreitung durch Absorption verloren. Daraus bestimmt sich die Intensität zu

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

Dabei ist α der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude und I_0 die Intensität des ausgehenden Schallimpulses. Um den Absorptionskoeffizienten möglichst gering zu halten, wird aufgrund des hohen Absorptionskoeffizienten der Luft ein Kontaktmittel zwischen Schallgeber und Material verwendet.

Eine für den Versuch wichtige Eigenschaft von Schallwellen ist, dass diese reflektiert werden können. Der Reflexionskoeffizient ergibt sich in Abhänngigkeit der akustischen Impedanzen Z_1 und Z_2 der Materialien durch

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

Für den Transmissionskoeffizienten ergibt sich

$$T = 1 - R.$$

2.2 Erzeugung von Ultraschall

Ultraschallwellen können durch den piezo-elektrischen Effekt erzeugt werden. Dazu wird ein piezo-elektrischer Kristall, z.B. Quarz, in ein elektrisches Wechselfeld gebracht. Der Kristall gerät dadurch in Schwingung und erzeugt Ultraschallwellen. Bei Resonanz werden große Ultraschallamplituden erreicht.

Umgekehrt kann bei angeregten Schwingungen ein elektrisches Wechselfeld gemessen werden, sodass die Quelle der Ultraschallwellen auch als Empfänger dienen kann.

2.3 Ultraschallverfahren

Es werden in der Ultraschalltechnik zwei Verfahren verwandt.

1. *Durchschallungsverfahren* - Beim Durchschallungsverfahren wird ein Sender und ein Empfänger verwendet. Dabei befindet sich die Probe zwischen dem Sender und dem Empfänger. Wenn der Sender nun einen Schallimpuls aussendet, bewegt sich dieser durch die Probe und verliert an Intensität. Weiterhin kann durch Störstellen die Intensität auch verringert werden bevor der Impuls zum Zeitpunkt t auf den Empfänger trifft.
2. *Impuls-Echo-Verfahren* - Beim Impuls-Echo-Verfahren wird der Sender gleichzeitig als Empfänger verwendet. Nach der Laufzeit t wird die Intensität des Schallimpulses gemessen. Aus der Schallgeschwindigkeit c und der Laufzeit t lässt sich der Abstand zur Störstelle in der Probe durch

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

bestimmen.

2.4 Scan-Methoden

Um die Messungen mit den zwei Ultraschalltechniken auszuwerten, gibt es drei unterschiedliche Verfahren.

1. *A-Scan* - Dabei wird nur die Amplitude angezeigt, so dass auch Abschwächungen messbar sind.

2. *B-Scan* - Durch ein zweidimensionales Graubild lässt sich die Intensität der zurücklaufenden Welle bestimmen.
3. *TM-Scan* - Mit Hilfe einer hohen Wiederholungsfrequenz kann ein Video ähnliches Bild erzeugt werden.

3 Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus einem Ultraschallteleskop, zwei Ultraschallsonden und einem Rechner.

Die zwei Ultraschallsonden haben unterschiedliche Frequenzen. Die eine Sonde hat eine Frequenz von 1 MHz und die andere eine Frequenz von 2 MHz.

Das Ultraschallteleskop wird ausschließlich im Echo-Impuls-Modus verwendet. Mit einem Kippschalter kann allerdings zwischen dem Echo-Impuls-Modus und dem Durchschallungs-Modus gewechselt werden. Da die zwei vorhandenen Sonden jedoch eine unterschiedliche Frequenz aufweisen, kann das Durchschallungsverfahren nicht angewandt werden. Hier müssen Sender- und Empfängersonde die gleiche Frequenz haben.

Die Sendeleistung der Sonde kann mithilfe des Ultraschallteleskops in einem Bereich von 0 bis 30 dB eingestellt werden.

Der Rechner besitzt ein Programm zum Aufzeichnen und graphischen Interpretieren der durch die Sonde empfangenen Impulse.

Da Luft eine große akustische Impedanz aufweist, wird als Kontaktmittel zwischen Sonde und zu untersuchenden Objekt bidestilliertes Wasser verwendet.

4 Durchführung

Die Versuchsreihe besteht aus insgesamt vier Teilversuchen. Als erstes wird ein Acrylblock mittels A-Scan untersucht.

4.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan

Gegeben ist ein Acrylblock mit elf unterschiedlich großen Löchern. Dieser Block wird für ein weiteres Vorgehen zunächst mit einer Schieblehre vermessen.

Anschließend wird mittels A-Scan die Schallgeschwindigkeit in dem Acrylblock untersucht, indem mit der Sonde sieben ausgewählte Löcher durchschallt werden und die Laufzeit bestimmt wird.

Anhand der vorher ausgemessenen Daten für die Lage der Löcher kann nun die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden. Es wird hierfür die 2 MHz Sonde verwendet.

Aufgrund der Anpassungsschicht der Sonde weist die Schallgeschwindigkeit eine systematische Abweichung auf, welche mithilfe einer Ausgleichsrechnung bestimmt werden kann.

Anschließend werden mittels A-Scan die Lage und Größe aller elf Bohrungen untersucht. Dafür werden zunächst alle Bohrungen durchschallt und Laufzeiten notiert. Dann wird

der Block umgedreht und erneut durchschallt und Laufzeiten aufgezeichnet.
Der verwendete Acrylblock ist in einer Frontalskizze in Abbildung 1 zu sehen.

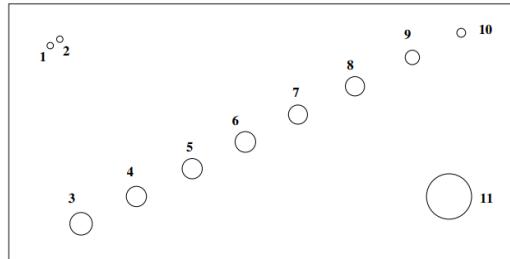


Abbildung 1: Frontalskizze des verwendeten Acrylblocks.

4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

In dem Acrylblock sind zwei kleine benachbarte Stellen (Loch eins und zwei). Diese zwei Bohrungen sollen mittels A-Scan weitergehend untersucht werden.

Es wird die 1 MHz **und** die 2 MHz Sonde verwendet.

Es werden beide Aufnahmen mittels der graphischen Interpretation des Rechners auf ihre Auflösung und Dämpfung hin untersucht werden.

4.3 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan

In diesem Versuchsteil werden wie bei den vorherigen Versuchen die Bohrungen des Acrylblocks untersucht. Dies wird jedoch diesmal mittels B-Scan durchgeführt.

Es wird die 2 MHz Sonde angeschlossen und ein Laufscan über mehrere Sekunden von links nach rechts aufgenommen und in einem zweidimensionalen Bild gespeichert. Dieses Bild wird durch den Rechner automatisch erzeugt.

Der Acrylblock wird nun umgedreht und obiges Verfahren erneut angewendet.

Es werden die Abmessungen der Störstellen ermittelt und mit den vorherigen Ergebnissen verglichen.

4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan

In diesem Versuchsteil steht ein Brustmodell zur Verfügung. In diesem Modell stecken zwei Tumore. Ein Tumor ist mit Flüssigkeit gefüllt (auch Zyste genannt) und einer besteht aus festen Gewebe.

Per Abtasten werden die groben Positionen der Tumore bestimmt und anschließend mittels A-Scan und der 2 MHz Sonde untersucht.

Danach werden mehrere B-Scans entlang gedachter Linien aufgenommen bis die zwei Tumore gut sichtbar sind.

Anhand dieser Aufnahmen wird nun Größe und Lage der Tumore bestimmt.

5 Auswertung

Die Schallgeschwindigkeiten in Wasser und Acryl sind durch

$$c_{\text{Acryl}} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$c_{\text{Luft}} = 1480 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

gegeben [1].

5.1 Maße des Acrylblocks

Die Messung ergibt für die Länge l und Höhe h des Acrylblocks.

$$l = 15,028 \text{ cm}$$

$$h = 8,025 \text{ cm}.$$

Die Messwerte für die Lage und Größe der Löcher sind in Tabelle 1 zu finden. Die

Störstelle	s/cm	d/cm
1	6,180	0,145
2	6,060	0,145
3	1,505	0,565
4	2,385	0,490
5	3,220	0,400
6	3,980	0,385
7	4,880	0,300
8	5,595	0,260
9	6,390	0,290
10	7,210	0,270
11	1,945	0,975

Tabelle 1: Abstand und Durchmesser der Löcher von der unteren Kante aus gemessen.

Messwerte können zum Abgleich mit den Ergebnissen der Ultraschallmessung verwendet werden.

5.2 Messung der Schallgeschwindigkeit in Acryl

Die Laufzeiten t_A , die mit dem A-Scan bestimmt worden sind, sind für die Störstellen in Tabelle 2 zu finden. In Abbildung 2 werden die Laufzeiten gegen die Höhe des Acrylblocks abzüglich der Abstände zu den Störstellen aufgetragen. Gleichung 2 lässt sich zu einer

Störstelle	$t_A/\mu\text{s}$
11	41,6
4	40,5
5	34,9
6	29,4
7	24,1
8	18,2
9	12,0

Tabelle 2: Laufzeiten der Störstellen.

linearen Regressionsformel umformen bei der die Anpassungsschichtdicke d als Ordinate bestimmt wird.

$$2h = c \cdot t + d$$

Aus der linearen Regression ergeben sich die Werte

$$c = (2944 \pm 99) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$b = (-3 \pm 3) \cdot 10^{-3} \text{ m}.$$

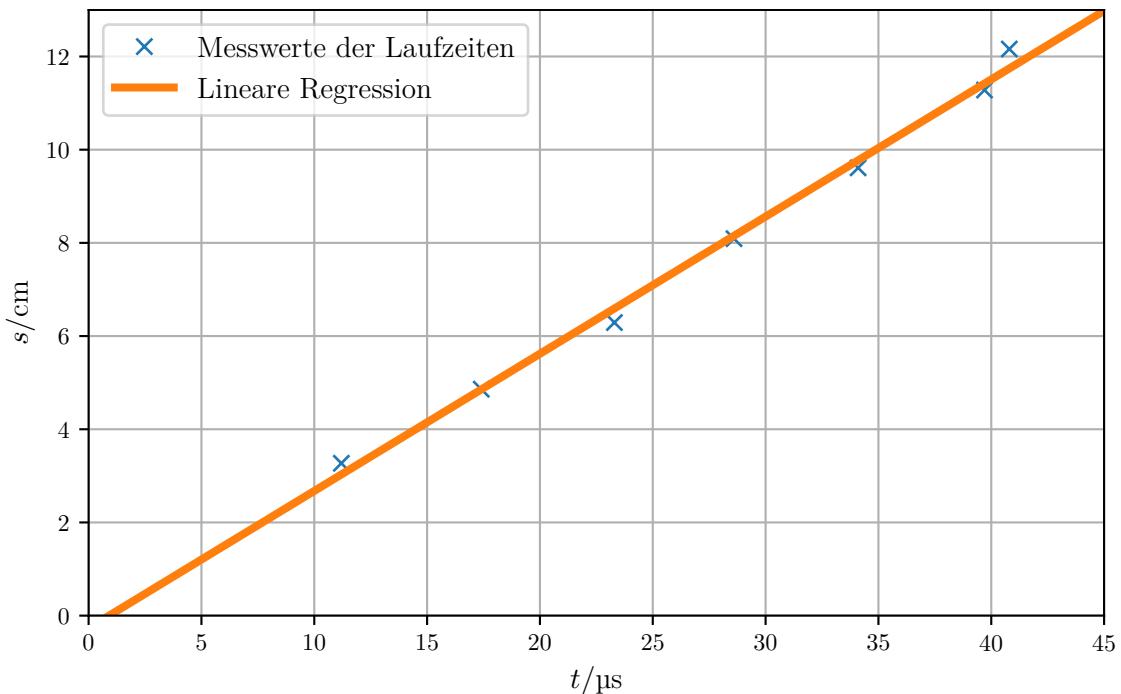


Abbildung 2: Plot.

5.3 Tiefe der der Störstellen

Die Laufzeiten bis zu den Störstellen sind in Tabelle 3 zu finden. Es wurde eine Lauf-

Störstelle	$t_{Unten}/\mu s$	$s_{Oben}/\mu s$
1	14,1	48,8
2	15,3	44,6
3	49,9	10,8
4	40,5	17,2
5	34,9	23,3
6	29,4	29,5
7	24,1	35,4
8	18,2	41,1
9	12,0	46,9
10	6,2	53,0
11	41,6	12,6

Tabelle 3: Laufzeiten bis zu den Störstellen von beiden Seiten gemessen.

zeitkorrektur von $t_{Korrektur} = 1,6 \mu s$ bestimmt. Aus Gleichung 2 kann die Strecke bis zur Störstelle berechnet werden. Aus den bestimmten Werte lassen sich die Dicken der Störstellen bestimmen. Die Abstände und Dicken der Störstellen sind in Tabelle 4 zu finden.

Störstellen	s_{Unten}/cm	t_{Oben}/cm	d/cm
1	1,706	6,443	0,124
2	1,870	5,869	0,285
3	6,593	1,256	0,176
4	5,310	2,129	0,586
5	4,545	2,962	0,518
6	3,795	3,808	0,422
7	3,071	4,614	0,340
8	2,266	5,392	0,367
9	1,420	6,183	0,422
10	0,628	7,016	0,381
11	5,460	1,501	1,064

Tabelle 4: Abstände zu den Störstellen und Dicke der Störstellen.

5.4 Auflösungsvermögen

Das Auflösungsvermögen wurden an den Störstellen 1 und 2 mit einer 1 MHz- und einer 2 MHz-Sonde überprüft. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 und in Abbildung 4 zu sehen.

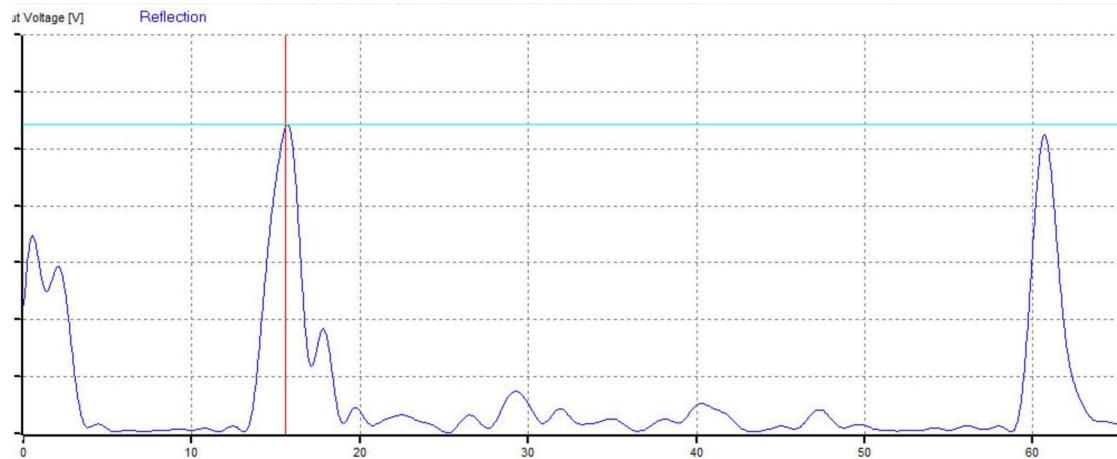


Abbildung 3: A-Scan der Störstellen mit einer 1 MHz-Sonde.

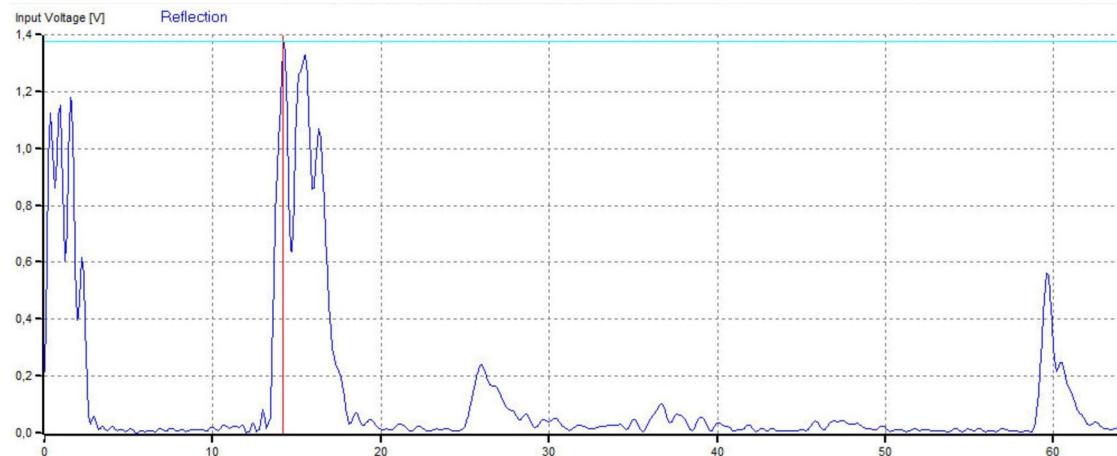


Abbildung 4: A-Scan der Störstellen mit einer 2 MHz-Sonde.

Insgesamt fällt auf, dass die 2 MHz-Sonde ein höheres Auflösungsvermögen als die 1 MHz-Sonde hat, im Gegenzug dazu aber die Amplitude schneller abfällt.

5.5 B-Scan eines Acrylblocks

Die B-Scans der Acrylblocks mit einer 2 MHz-Sonde sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 abgebildet.

Insgesamt konnte durch den B-Scan ein gutes Bild des Acrylblocks erfasst werden. Dennoch sind einige Störstellen verschmiert dargestellt. Dieser Effekt ist besonders stark, wo die Störstellen nah beinander sind.

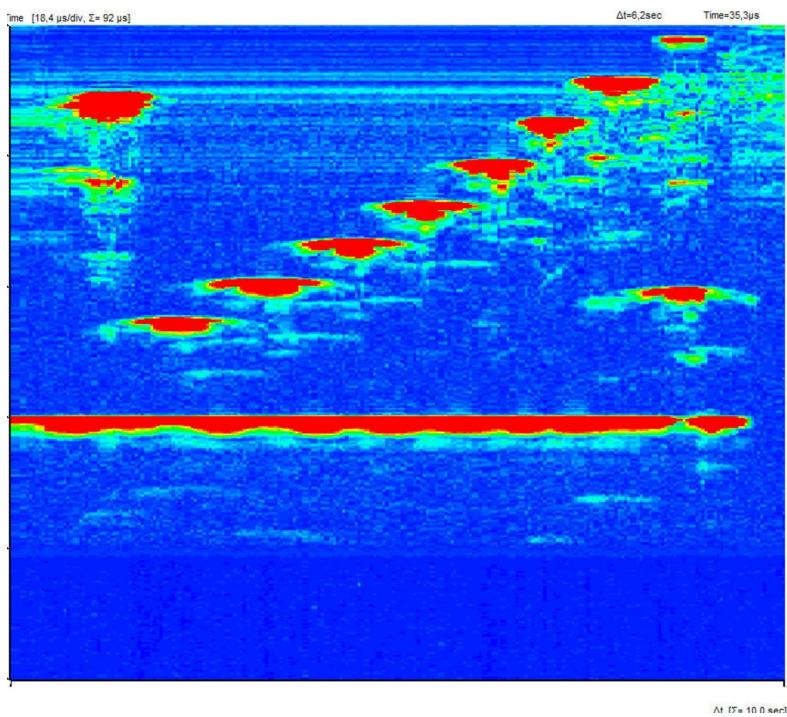


Abbildung 5: B-Scan des Acrylblocks.

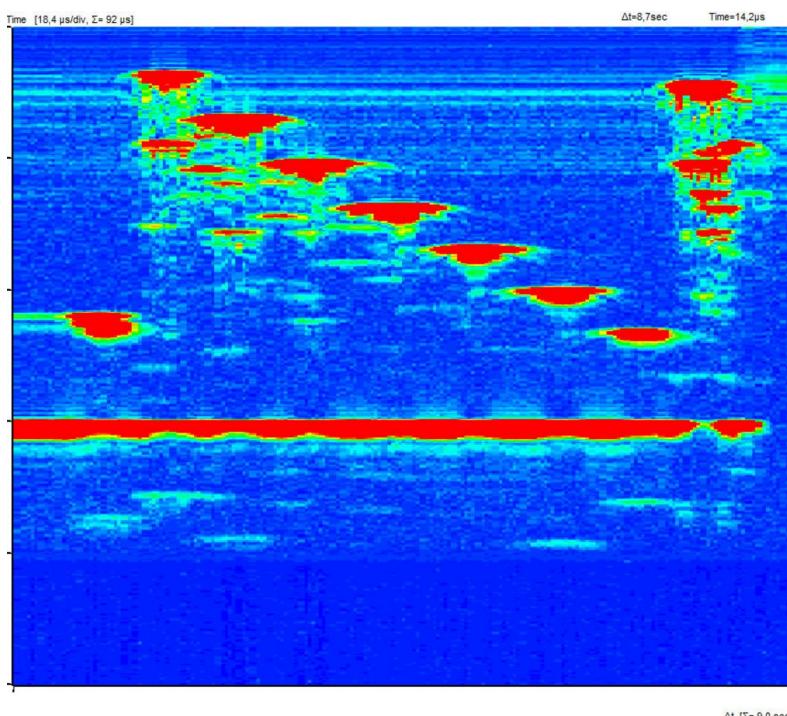


Abbildung 6: B-Scan des Acrylblocks anders herum gemessen.

5.6 B-Scan eines Brustmodels

Durch Ertasten lassen sich zwei Tumore feststellen. Ein kleiner direkt über der Brustwarze und ein größerer rechts unten in der Brust. Diese finden sich auch im B-Scan der Brust wieder. Die B-Scans sind in Abbildung 7 und Abbildung 8 dargestellt.

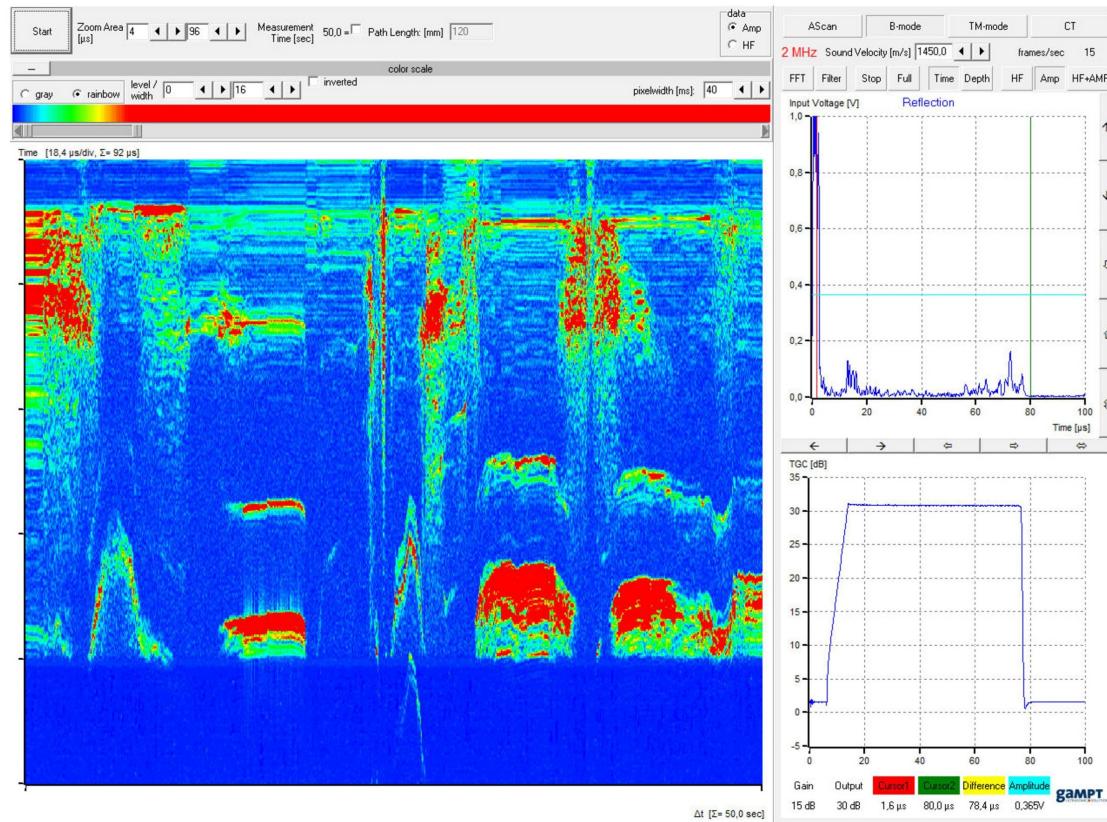


Abbildung 7: B-Scan des kleineren Tumors über der Brustwarze.

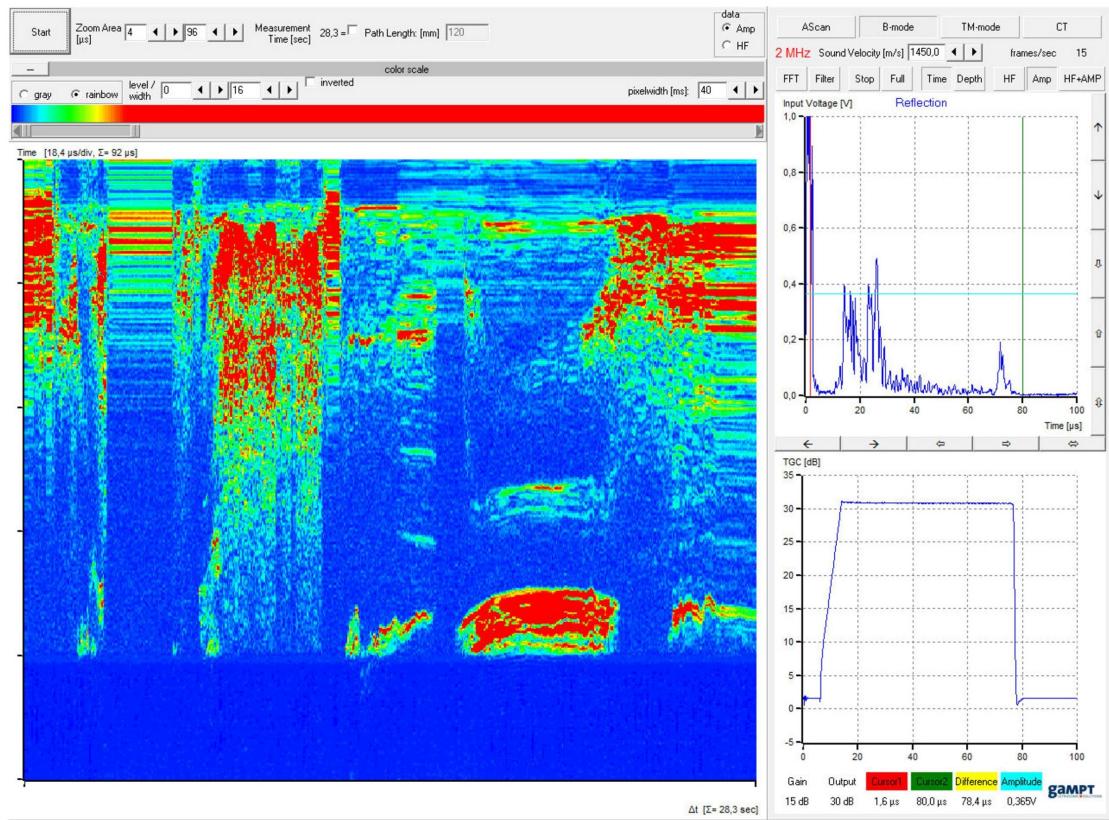


Abbildung 8: B-Scan des größeren Tumors in der unteren Brust.

6 Diskussion

Insgesamt lässt sich erkennen, dass die gemessenen Positionen und Dicken für die größeren Störstellen einen geringeren Fehler auf weisen als die kleineren Störstellen. Dies lässt sich durch das Auflösungsvermögen erklären, dass bei niedrigeren Frequenzen bzw. größeren Wellenlängen kleiner ist. Da aber bei kleineren Wellenlängen die gemessenen Amplituden stärker abfallen, muss einer Ultraschallsonde gewählt werden, die das Auflösungsvermögen maximiert und dabei die Amplituden noch groß genug lässt. Weiterhin haben sich B-Scans mit gut erkennbaren Störstellen ergeben. Hierbei lässt sich das Verschmieren wieder über das Auflösungsvermögen erklären. Für den B-Scan des Brustmodels ließen sich beide ertasteten Tumore verifizieren und sie weisen eine realistische Dicke auf.

Anhang

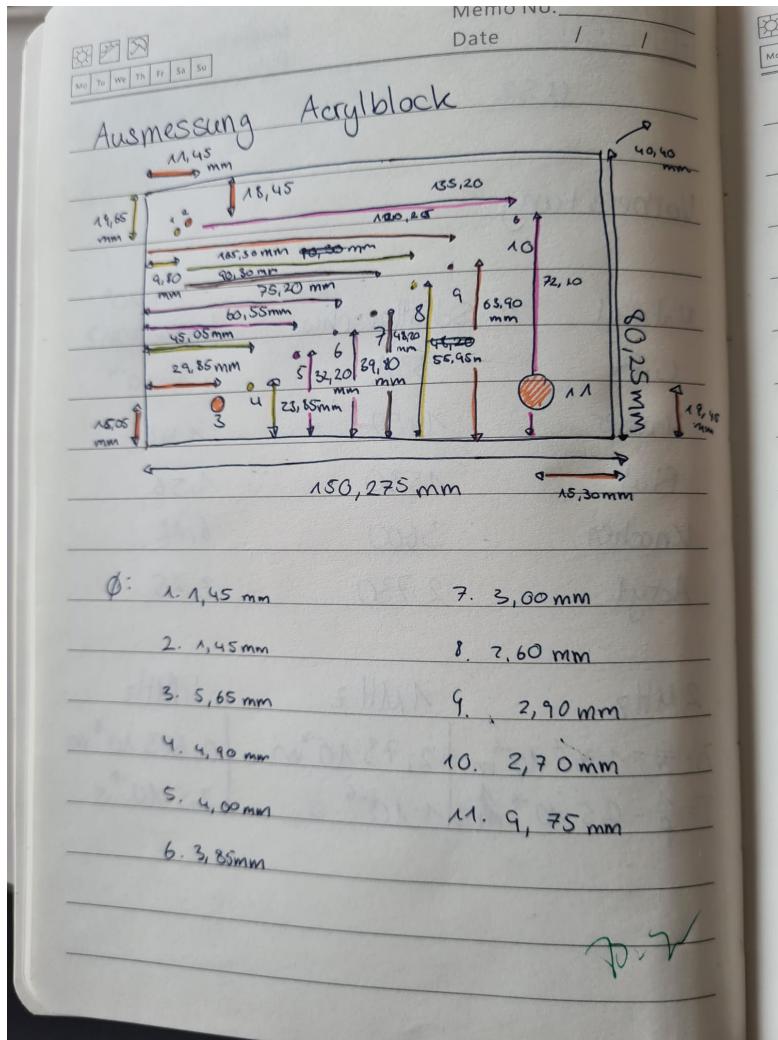


Abbildung 9: Abmessungen des Acrylblocks.


 Mo Tu We Th Fr Sa Su
 Memo No. _____
 Date / /
 Messung d. Schallgeschw. mit
 2 MHz Sonde
 gewählte Löcher: 11, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Nummer Loch	Laufzeit
11	41,6 μ s
4	40,5 μ s
5	34,9 μ s
6	29,4 μ s
7	24,1 μ s
8	18,2 μ s
9	12 μ s

Ap. 21 ✓

Abbildung 10: Messung der Schallgeschwindigkeit mit 2 MHz-Sonde.

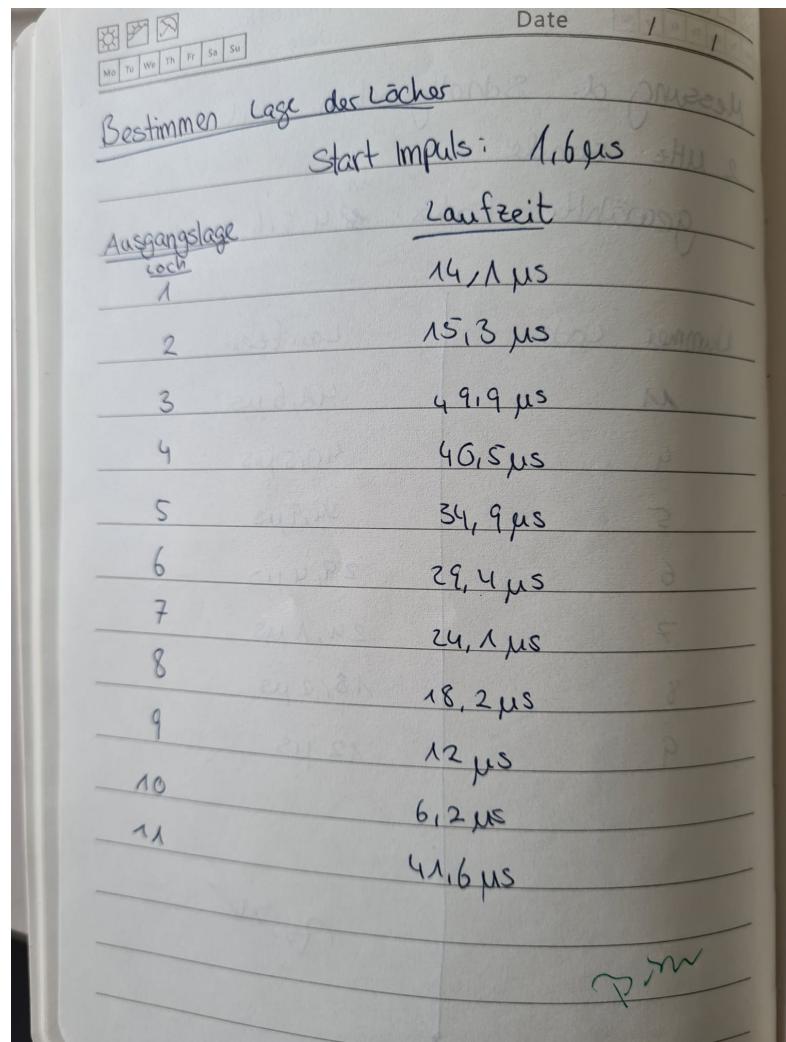


Abbildung 11: Lage Bestimmung der Löcher im Acrylblock.

Memo No. _____
Date / /

<u>Loch</u>	<u>Laufzeit</u>
1	48,8 μ s
2	44,6 μ s
3	10,8 μ s
4	17,2 μ s
5	23,3 μ s
6	29,5 μ s
7	35,4 μ s
8	41,1 μ s
9	46,9 μ s
10	53,0 μ s
11	12,6 μ s

7/22

Abbildung 12: Lage Bestimmung der Löcher im Acrylblock im umgedrehten Zustand.

Literatur

- [1] Olympus. *Schallgeschwindigkeit im Material*. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 11.05.2022).