

**VERSUCH NUMMER US2**

## **Scanverfahren in der Ultraschalltechnik**

Irgendjemand  
irgend.jemand@tu-dortmund.de

Someone  
some.one@tu-dortmund.de

Durchführung: 24.05.2022

Abgabe: 31.05.2022

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zielsetzung</b>	<b>1</b>
<b>2 Theoretische Grundlagen</b>	<b>1</b>
<b>3 Versuchsaufbau und Durchführung</b>	<b>2</b>
3.1 Aufbau . . . . .	2
3.2 Durchführung . . . . .	2
<b>4 Auswertung</b>	<b>3</b>
4.1 Untersuchung des Acrylblocks mit einem A-Scan . . . . .	4
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens . . . . .	6
4.3 Untersuchung des Acrylblocks mit einem B-Scan . . . . .	6
4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan . . . . .	8
<b>5 Diskussion</b>	<b>8</b>
<b>Literatur</b>	<b>9</b>

## 1 Zielsetzung

In diesem Versuch sollen verschiedene Arten der Ultraschall Technik untersucht werden. Die Methoden der Ultraschalluntersuchung geben Auskunft über viele Messgrößen die bestimmt werden sollen.

## 2 Theoretische Grundlagen

Menschen können Schall in einem Bereich von etwa 16 Hz bis 20 kHz hören. Schall unterhalb dieser Grenze wird Infraschall genannt. Interessanter ist allerdings der Schall überhalb dieser Grenze bei 30 kHz bis 1,0 GHz. Dieser wird in der Ultraschalltechnik verwendet, da dieser Schall nicht genug Energie besitzt um das zu testende Material zu zerstören. Schall bei noch größeren Frequenzen wird als Hyperschall bezeichnet. Schall ist in Gasen und Flüssigkeiten immer eine longitudinale Wellen. Sodas gilt

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

$Z = c \cdot \rho$  beschreibt dabei die akustische Impedanz. Diese setzt sich aus der Dichte  $\rho$  und der Schallgeschwindigkeit  $c$  zusammen. Diese Druckwellen haben analoge Eigenschaften zu elektromagnetischen Wellen. Doch ihre Phasengeschwindigkeit hängt von den Eigenschaften des Ausbreitungsmaterials ab. In Gasen und Flüssigkeiten breiten sich Schallwellen immer rein longitudinal aus. So kann für die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten der Ausdruck

$$c_{Fl} = \sqrt{\left(\frac{1}{\kappa \cdot \rho}\right)}$$

mit der Kompressibilität  $\kappa$ , bestimmt werden. In Festkörpern ist durch Materialspannungen auch eine transversale Ausbreitung möglich. Dies verändert die Schallgeschwindigkeit zu

$$c_{Fl} = \sqrt{\left(\frac{E}{\rho}\right)}$$

mit dem Elastizitätsmodul  $E$ . Doch es ist zu beachten, dass die Schallgeschwindigkeit im allgemeinen von der Ausbreitungsrichtung im Festkörper abhängt. Die Intensität von Schallwellen fällt bei durch Absorptionsprozesse exponentiell ab und kann durch

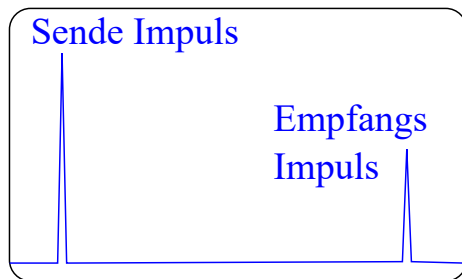
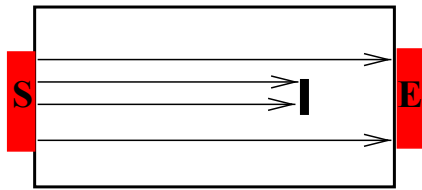
$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

beschrieben werden.  $I(x)$  ist die Intensität an einer Schichtdicke  $x$  bei einer inertialen Intensität  $I_0$ .  $\alpha$  wird als der Absorptionskoeffizient bezeichnet und ist materialabhängig. Der Schall verliert in verschiedenen Materialien unterschiedlich schnell seine Intensität. Da diese Verluste in Luft besonders gross sind wird in der Ultraschalltechnik häufig ein Kontaktmittel verwendet um diese zu verringern. Die Wellen weisen Effekte der elektromagnetischen Wellen auf. Das heisst, dass sie an Grenzflächen gebrochen und reflektiert werden. Mit Hilfe der akustischen Impedanz  $Z_1$  und  $Z_2$  beider Materialien lässt sich so eine Formel für das Verhältnis von reflektierter zu einfallender Intensität  $R$  bestimmen.

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

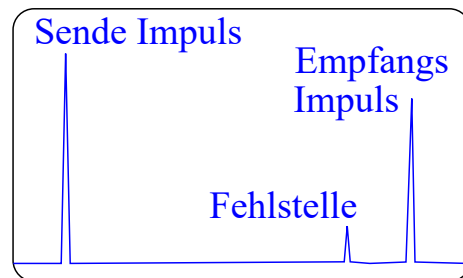
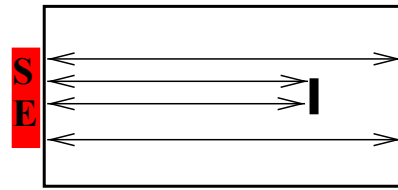
Damit gilt für den transmittierten Anteil  $T = 1 - R$ . Zur Erzeugung von Schallwellen können viele Wege verwendet werden. Der häufigste nutzt den reziproken piezo-elektrischen Effekt. Gewisse Stoffe erfahren Ausdehnung und Kontraktion in elektrischen Feldern. So kann zum Beispiel mit einem Quarz Kristall in einem elektrischen Feld eine Schallwelle großer Energie generiert werden. Quarz Kristalle haben zwar nur einen schwachen piezo-elektrischen Effekt aber besitzen gleichbleibende Eigenschaften und sind so besser geeignet. Dieser Effekt funktioniert auch anders herum sodass Schallwellen gemessen werden können. Um nun tatsächlich Informationen über einen Test Körper zu gewinnen, werden zwei verschiedene Methoden verwendet. Bei beiden wird ein Schallimpuls ausgesendet und nach durchqueren des Körpers wieder durch einen Empfänger gemessen. Die **Durchschallungs-Methode** beschreibt das Messen einer Schallwelle nach dem durchqueren eines Körpers. Der Empfänger ist dabei auf der gegenüberliegenden Seite des Senders. In Abbildung 1a ist die Stärke der gemessenen Impulse gegen die Zeit dargestellt. Die Schallwelle bewegt sich mit Schallgeschwindigkeit durch den Körper und kommt nach einer Zeit am

## Durchschallungs–Verfahren



(a) Die Durchschallungs-Methode im Laufzeit Diagramm [1]

## Impuls–Echo–Verfahren



(b) Die Impuls-Echo-Methode im Laufzeit Diagramm [1]

Abbildung 1

Empfänger an. Die Intensität hat dabei nach Gleichung 1 abgenommen. Aus diesen Daten können dann Informationen über das Material gewonnen werden. Ähnlich funktioniert die **Impuls-Echo-Methode** 1b. Der Unterschied besteht darin, dass der Empfänger auf der gleichen Seite wie der Sender ist. Dies bedeutet, dass das gemessene Echo von der Material Ungenauigkeit früher am Empfänger ankommt und einen eigenen Peak hinterlässt. Mit diesen Daten können dann auch wieder Informationen über die Schwachstelle gefunden werden. Wichtig ist dabei aus der Zeit die zurückgelegte Strecke zu bestimmen. Die Tiefe in den Körper, an der die Anomalie liegt, kann über

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

bestimmt werden. Diese Laufzeit Diagramme können auf verschiedenen Wegen dargestellt werden. Beim **A-Scan** oder Amplituden-Scan wird die Echoamplitude gegen die Laufzeit dargestellt. Es handelt sich um ein eindimensionales Verfahren mit dem nur die Tiefe einer Struktur bestimmt werden kann. Der **B-Scan** oder Brightness-Scan ist ein zweidimensionales Verfahren in dem Echoamplituden als Helligkeitsstufen dargestellt werden. Durch das bewegen der Sonde kann so ein zweidimensionales Bild der Lage gemacht werden. Die **TM-Scan** oder Time-Motion Scan kann durch das wiederholte aufnehmen von Bildern eine zeitliche Veränderung darstellen. Dies ist vor allem bei Organen die sich bewegen besonders wichtig.

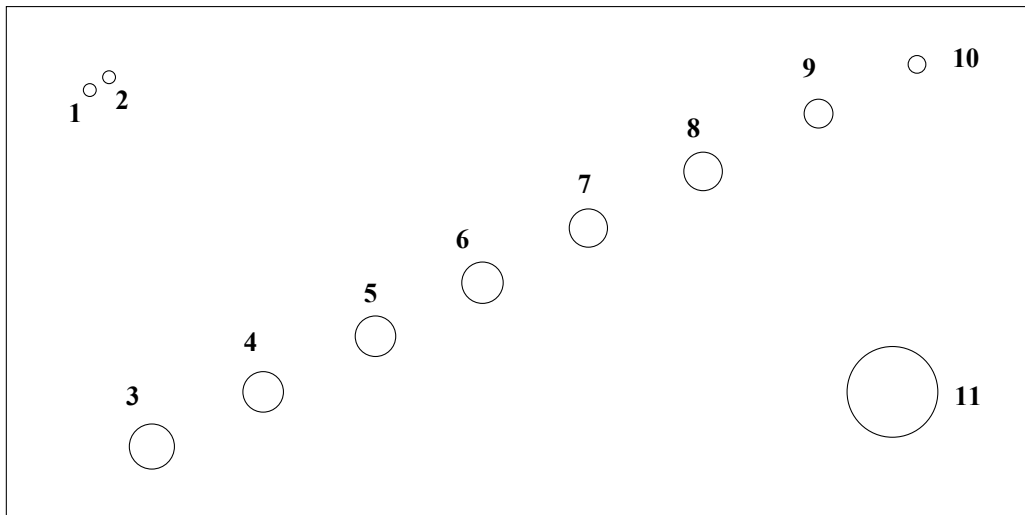
## 3 Versuchsaufbau und Durchführung

### 3.1 Aufbau

Der Versuch besteht im Allgemeinen aus dem Ultraschallechoskop, den verschiedenen Sonden und einem Computer für die Auswertung. Die Sonden haben unterschiedliche Frequenzen von 1,0 MHz (blau), 2,0 MHz (rot) und 4,0 MHz (grün). Die Sender und Empfänger arbeiten in einem Bereich von 0 dB bis 30 dB oder 35 dB. Mit Hilfe des Rechners können verschiedene Einstellungen und Darstellungen verwendet werden. So kann auch ein Frequenzspektrum mit Hilfe einer FFT bestimmt werden.

### 3.2 Durchführung

**Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan** Zunächst wird der Acrylblock in Abbildung 2 mit einer Schieblehre vermessen. Nun werden die Löcher in dem Acryl mit der Sonde untersucht um die Laufzeit der Schallwellen im



**Abbildung 2:** Aufbau des Acrylblocks [2]

Material zu bestimmen. Es wird destilliertes Wasser als Kontaktmittel verwendet. Dabei ist zu beachten, dass es auf Grund der Schutzschicht auf der Sonde zu einem systematischen Fehler kommt. Mit dieser Messung kann nun die Position aller Löcher im Acryl bestimmt werden. Der Acrylblock wird auf ein weiches Papiertuch gelegt und mit der Sonde von 2,0 MHz untersucht. In einem A-Scan wird nun die Tiefe der Löcher bestimmt. Durch das Umdrehen der Acryl Probe kann die Position der Löcher in beide Richtungen im Block bestimmt werden.

**Auflösungsvermögen** Es werden alle drei Sonden verwendet und in einem A-Scan dargestellt. Die Grafiken werden exportiert und zur Analyse verwendet.

**Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan** Es wird genau so vorgegangen wie bei dem A-Scan doch dieses mal wird ein B-Scan durchgeführt. Aus den Grafiken kann dann wieder die Position der Löcher bestimmt werden. Wichtig ist zudem, dass Kontaktmittel wieder von der Acrylprobe zu entfernen.

## 4 Auswertung

Zuerst wird der Acrylblock mit einer Schieblehre ausgemessen. Die Messwerte werden dann in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1:** Abmessungen der Fehlstellen im Acrylblocks gemessen mit der Schieblehre

Loch Nummer	$l_{\text{unten}}$ / mm	$l_{\text{oben}}$ / mm	$d$ / mm
1,0	60	19	1,7
2,0	61	17	1,3
3,0	13	61	6,1
4,0	22	54	5,0
5,0	30	46	4,0
6,0	39	39	3,4
7,0	47	31	3,0
8,0	55	23	3,0
9,0	63	15	3,0
10	71	6,8	3,0
11	16	55	9,7

Die Gesamthöhe des Acrylblocks wurde mit 81 mm gemessen. Auf diese Daten wird in der gesamten Auswertung

zurückgegriffen. Als Literaturwert für die Schallgeschwindigkeit von Acryl wird  $c_{acr} = 2700 \text{ m/s}$  verwendet [3].

#### 4.1 Untersuchung des Acrylblocks mit einem A-Scan

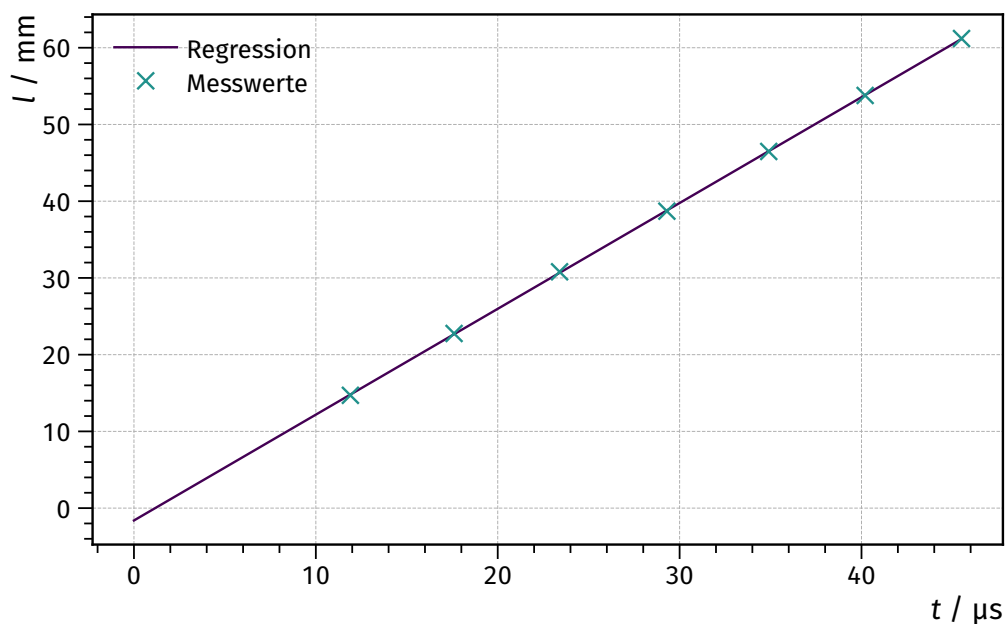
**Tabelle 2:** Berechneter und gemessener Durchmesser

Loch Nummer	$t / \mu\text{s}$	$l / \text{mm}$	$c / \text{m/s}$	Abw. / m/s	Abw. / %
3,0	46	61	2700	40	1,5
4,0	40	54	2700	54	2,0
5,0	35	46	2700	66	2,4
6,0	29	39	2600	88	3,2
7,0	23	31	2600	98	3,6
8,0	18	23	2600	14	5,3
9,0	12	15	2500	26	9,5

In Tabelle 2 sind sowohl die für die Zeit gemessenen Werte an den jeweiligen Fehlstellen, als auch die mit der Schieblehre gemessenen Längen, sowie die daraus berechnete Schallgeschwindigkeit in Acryl (mit Abweichungen) aufgetragen. Die Schallgeschwindigkeit wurde dabei wie folgt bestimmt:

$$c = 2 \cdot \frac{l}{t}.$$

Der Faktor 2 stammt dabei daher, dass beim Impuls-Echo-Verfahren der Schall den Weg zweimal durchläuft und so die doppelte Zeit angegeben wird. Die mittlere Schallgeschwindigkeit lautet  $\bar{c} = 2600 \text{ m/s}$ . Anhand von dieser und allen Geschwindigkeiten in Tabelle 2 ist zu erkennen, dass eine systematische Abweichung vorliegt. Diese ist durch die Wasserschicht zu erklären, die verwendet wird um die Sonde mit dem Acrylblock zu koppeln. Über eine Ausgleichsrechnung, in welcher die mit der Schieblehre gemessenen Längen gegen die Zeit aufgetragen werden lässt sich sowohl die Schallgeschwindigkeit (Steigung) als auch die Dicke der Kopplungsschicht (Schnittpunkt y-Achse bestimmen).



**Abbildung 3:** Ausgleichsrechnung

Die Ausgleichsrechnung ergibt

$$a = c_{\text{gem}} = 2800 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (4)$$

$$b = l_{\text{stör}} = -1,6 \text{ mm.} \quad (5)$$

Dabei beschreibt  $l_{\text{stör}}$  die Dicke der Kopplungsschicht. Es gibt allerdings einen anderen Weg diese Störung zu berechnen, indem die Differenz der mit dem Ultraschallscan gemessenen Länge mit der mit der Schieblehre gemessenen Länge gebildet wird. Hier ergibt sich durch diese Rechnung eine Störung von

$$\overline{l_{\text{stör}}} = 2,6 \text{ mm.}$$

Diese wird im weiteren Verlauf verwendet.

**Tabelle 3:** Abmessungen der Fehlstellen im Acrylblocks gemessen per Ultraschall

Loch Nummer	$l_{\text{u, oben}} / \text{mm}$	$l_{\text{u, unten}} / \text{mm}$
1,0	21	61
2,0	19	62
3,0	46	32
4,0	55	23
5,0	47	31
6,0	40	40
7,0	32	48
8,0	24	56
9,0	16	64
11	57	17

In Tabelle 3 sind die mit dem Ultraschall gemessenen Daten für die Position der Fehlstellen eingetragen. Mit Hilfe dieser lassen sich nach folgender Vorschrift die Durchmesser der Löcher ausrechnen.

$$d_{\text{u}} = h_{\text{Block}} - (l_{\text{u, oben}} + l_{\text{u, unten}} - l_{\text{stör}}).$$

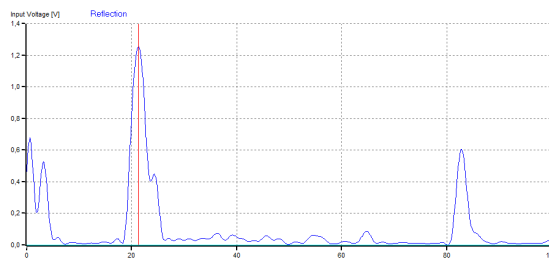
Die so berechneten Durchmesser werden in Tabelle 4 mit den über die Schieblehre bestimmten Durchmessern und der Abweichung dargestellt.

**Tabelle 4:** Berechneter und gemessener Durchmesser

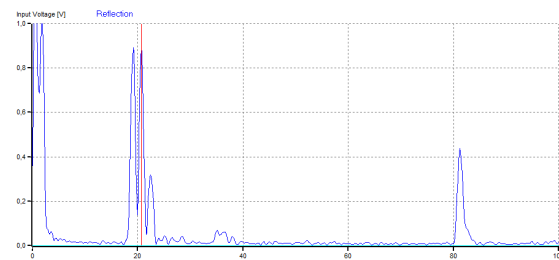
Loch Nummer	$d_{\text{u}} / \text{mm}$	$d_{\text{l}} / \text{mm}$	Abw. / %
1,0	0,53	1,7	68
2,0	0,43	1,3	67
3,0	5,0	6,1	17
4,0	4,0	5,0	19
5,0	3,1	4,0	22
6,0	1,9	3,4	43
7,0	1,9	3,0	36
8,0	1,7	3,0	42
9,0	1,8	3,0	39
11	8,6	9,7	11

Der Durchmesser von Loch 10 wurde hier nicht bestimmt, da die Ultraschallmessung von unten nicht möglich war, da das Loch von Loch 11 verdeckt wurde.

## 4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

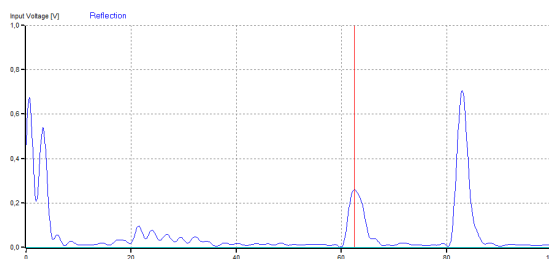


(a) Messung der Löcher 1 und 2 von oben mit der 1MHz Sonde.

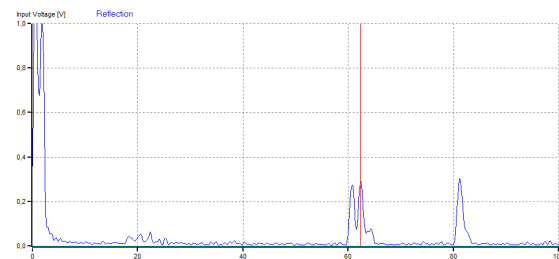


(b) Messung der Löcher 1 und 2 von oben mit der 2MHz Sonde.

**Abbildung 4:** Verwendete Graphiken zur Bestimmung der Genauigkeit der Auflösung von der oberen Seite des Blocks.



(a) Messung der Löcher 1 und 2 von unten mit der 1MHz Sonde.

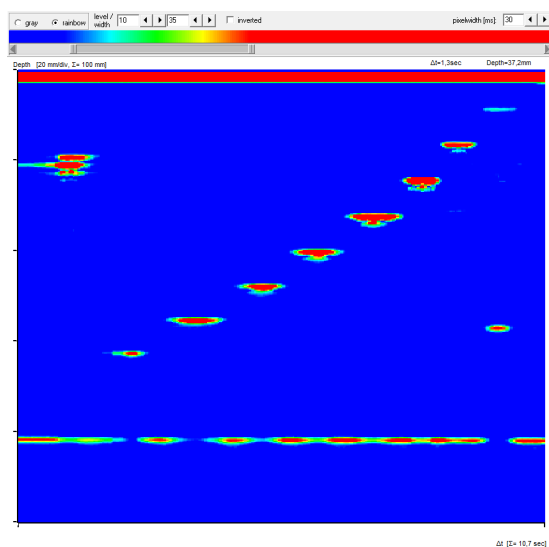


(b) Messung der Löcher 1 und 2 von unten mit der 2MHz Sonde.

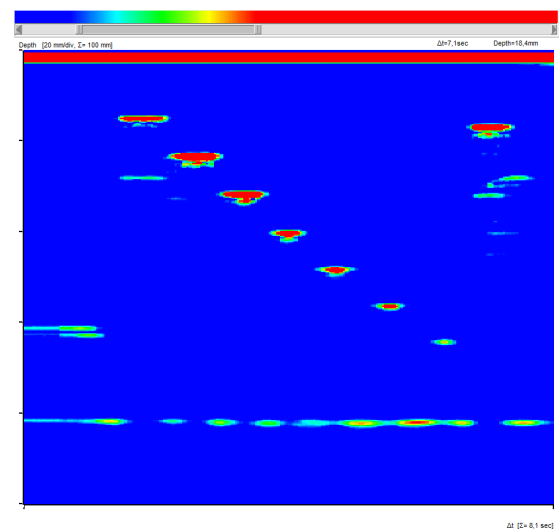
**Abbildung 5:** Verwendete Graphiken zur Bestimmung der Auflösungsgenauigkeit von der unteren Seite des Blocks.

Anhand der Messungen ist gut zu erkennen, dass die 2,0 MHz-Sonde eine bessere Auflösung hat als die 1,0 MHz-Sonde, da hier feinere Strukturen zu erkennen sind. So sind bei der höher auflösenden Sonde Loch 1 und 2 klar zu unterscheiden, während diese bei der anderen Sonde zu einem Peak verschmelzen.

## 4.3 Untersuchung des Acrylblocks mit einem B-Scan



(a) B-Scan des Blocks von oben.



(b) B-Scan des Blocks von unten.

**Abbildung 6:** Die verwendeten Graphiken des B-Scans zur Bestimmung der Positionen der Löcher.



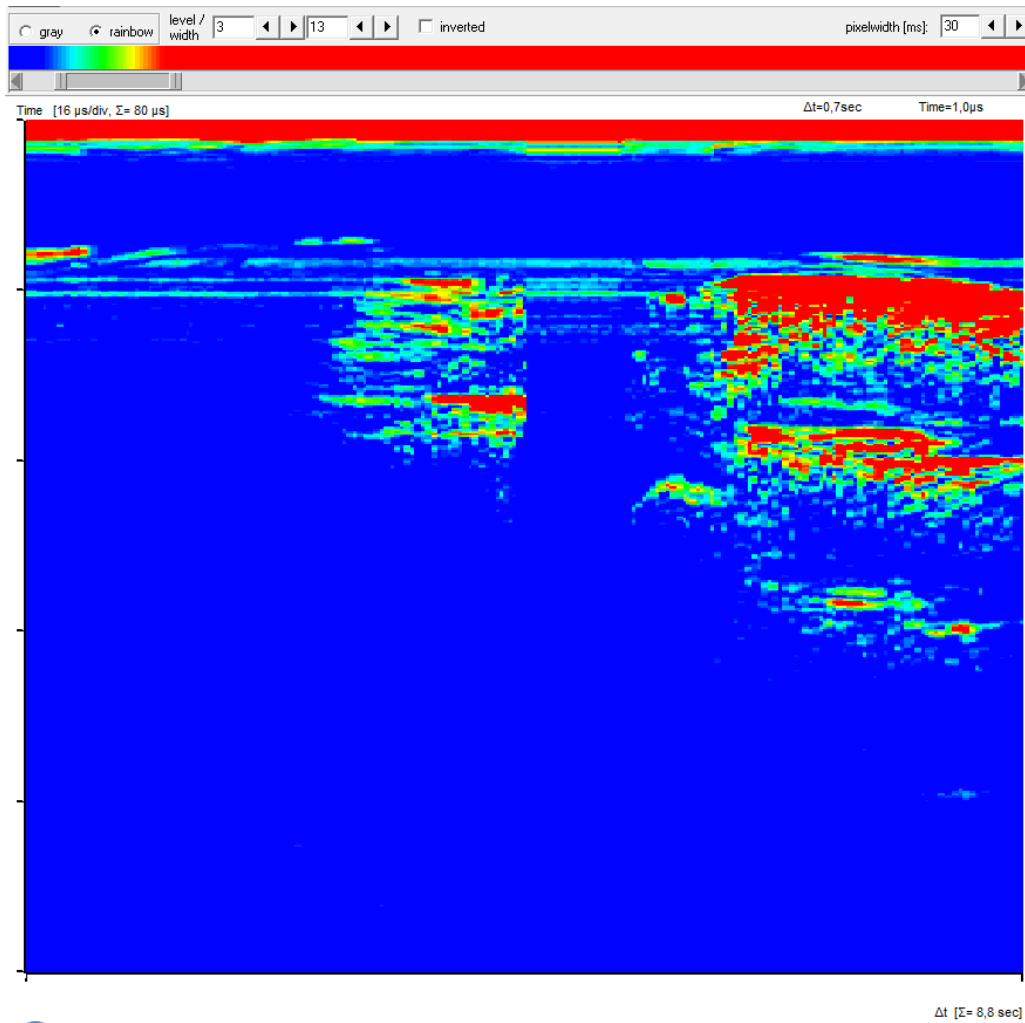
In den Bildern des B-Scans sind die Löcher klar zu erkennen. Außerdem gibt es je zwei „Linien“, die breitere stellt die Wasserschicht auf dem Acrylblock dar, während die schmalere das Ende des Blockes markiert. Damit lässt sich ein Verhältnis zwischen Pixeln in der Grafik und der Breite des Blocks aufstellen. Damit können dann die Pixel-Distanzen in den Bildern in Distanzen in mm umgerechnet werden. Damit ergeben sich die folgenden Werte:

**Tabelle 5:** Berechnete Abmessungen aus dem Bscan

Loch Nummer	$l_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$l_{\text{unten}} / \text{mm}$	$d_{\text{ber}} / \text{mm}$	$d / \text{mm}$	Abw. / %
3,0	61	12	7,8	1,3	500
4,0	53	20	7,0	6,1	15
5,0	46	29	6,2	5,0	24
6,0	38	38	5,2	4,0	31
7,0	30	46	4,8	3,4	42
8,0	16	54	9,8	3,0	230
9,0	13	63	4,5	3,0	49
11	55	14	1,2	9,7	19

Zur Berechnung der Werte wurden aus dem jeweiligen Bild nur die Distanzen bis zur Fehlstelle verwendet, da die Messung danach aufgrund des wechselnden Mediums gestört ist. Die Durchmesser wurden wieder durch das Bilden einer Differenz bestimmt.

#### 4.4 Untersuchung eines Brustmodells mit einem B-Scan



**Abbildung 7:** B-Scan entlang einer Linie auf dem Brustmodell.

Anhand des aufgenommenen Bildes ist zu erkennen, dass zwei Tumore vorliegen. Es ist auch zu erkennen, dass der rechte scheinbar eine höhere Dichte hat, da die Intensität auf dem Scan größer ist. Auf die genauen Maße der Tumore lässt sich allerdings mit einem einzigen Scan nicht schließen.

## 5 Diskussion

Die über die Ausgleichsrechnung bestimmte Schallgeschwindigkeit liegt näher am Literaturwert und diesem ist somit mehr Vertrauen zu schenken. Die Abweichung ruht daher, dass bei der Bestimmung des Mittelwertes die Kopplungs-Störschicht noch nicht rausgerechnet wurde. Zum Ausmessen von geometrischen Gegebenheiten per Ultraschallscan lässt sich sagen, dass diese meist nicht besonders genau sind. Dies liegt vor allem daran, dass es schwierig ist alle Parameter (wie beispielsweise die Dicke der Kopplungsschicht) konstant zu halten. Es fällt allerdings auf, dass die Peak-to-Peak-Messungen in Unterabschnitt 4.1 eine deutlich höhere Genauigkeit aufweisen, als die Messungen über die Bilder, welche mit dem B-Scan entstanden sind. Dieses Scanverfahren eignet sich deutlich besser dazu, sich ein Bild der räumlichen Gegebenheiten zu machen, als diese genau zu vermessen. Außerdem ist zu erkennen, dass Sonden mit einer schnelleren Frequenz ein besseres Auflösungsvermögen besitzen.

## Literatur

- [1] Versuch Nr. US1. Grundlagen der Ultraschalltechnik. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.
- [2] Versuch Nr. US2. Scanverfahren in der Ultraschalltechnik. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.
- [3] Evident-Olympus. Schallgeschwindigkeit im Material. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 19.05.2022).