

US2

## **Scanverfahren in der Messtechnik**

Toby Teasdale  
toby.teasdale@tu-dortmund.de

Erich Wagner  
erich.wagner@tu-dortmund.de

Durchführung: 14.06.2022

Abgabe: 21.06.2022

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Ziel</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Grundlagen zu Ultraschall . . . . .	3
2.2	Messverfahren mit Ultraschall . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
3.1	Vorbereitungsaufgabe . . . . .	5
3.2	Durchführung . . . . .	5
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
4.1	Ausmessung des Acrylblocks mittels A-Scan . . . . .	6
4.2	Ausmessung des Acrylblocks mittels B-Scan . . . . .	7
4.3	Bestimmung der Lage und Größe der Tumore im Brustmodell . . . . .	8
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>10</b>
5.1	Ausmessung des Acrylblocks mittels A-Scan . . . . .	10
5.2	Bestimmung der Lage und Größe der Tumore im Brustmodell . . . . .	11
	<b>Literatur</b>	<b>12</b>

## 1 Ziel

Das Ziel des Versuchs „Scanverfahren in der Ultraschalltechnik“ ist, die Scanverfahren der Ultraschallechographie kennenzulernen und anzuwenden.

## 2 Theorie

Das menschliche Gehör ist in der Lage im Frequenzbereich von circa 16Hz bis circa 20kHz zu hören. Im Bereich von 20kHz bis 1GHz wird von *Ultraschall* gesprochen und bei Frequenzen darüber von *Hyperschall*. Unter der Hörschwelle wird von *Infraschall* gesprochen.

### 2.1 Grundlagen zu Ultraschall

Die Ultraschallwellen breiten sich longitudinal aus. Dabei sind die Amplituden die Druckschwankungen. Die Erzeugung von Ultraschall ist über verschiedene Wege möglich. Ein Weg ist die Anwendung des reziproken *piezo-elektrischen Effektes*. Dafür wird ein piezo-elektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld gegeben, sodass dieser zu Schwingungen angeregt wird. Bei Schwingungen strahlt dieser dann Ultraschallwellen ab. Wird die Anregungsfrequenz so gewählt, dass die Eigenfrequenz des Kristalls getroffen wird, entsteht der Resonanzfall. Dabei können große Amplituden und Schallenergiedichten erzeugt werden. Der Kristall, meistens ein Quarz, kann auch als Empfänger genutzt werden. Da es sich um eine Welle handelt, kann diese durch die Wellenfunktion

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

beschrieben werden. Dabei ist  $Z = c \cdot \rho$  die akustische Impedanz, die durch die Dichte  $\rho$  und der ebenfalls materialabhängigen Schallgeschwindigkeit  $c$  gegeben ist. Die materialabhängige Schallgeschwindigkeit lässt sich durch die Gleichung

$$c_M = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}} \quad (2)$$

beschreiben.  $\kappa$  ist die Kompressibilität des Stoffes. Da bei Festkörpern die Schallausbreitung durch die Schubspannungen nicht vollständig longitudinal sind, muss die Gleichung 2 zu

$$c'_M = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

mit dem Elastizitätsmodul  $E$  abgeändert werden. In Festkörpern geht ein Teil der Energie durch Absorption verloren. Die Intensität fällt dann exponentiell durch die Gleichung

$$I(x) = I_0 \cdot e^{\alpha x} \quad (4)$$

ab. Dabei ist  $\alpha < 0$  der Absorptionskoeffizient. Dieser ist beispielsweise für Luft sehr hoch, weshalb in der Medizin ein Kontaktmittel bei Ultraschalluntersuchungen verwendet wird.

Bei Kontakt einer Schallwelle mit einem Medium wird ein Teil reflektiert und ein anderer tritt ein. Der transmittierte Anteil wird durch

$$T = 1 - R \quad (5)$$

mit dem Reflexionskoeffizienten

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

beschrieben.

## 2.2 Messverfahren mit Ultraschall

Grundlegend gibt es im Bereich der Ultraschalltechnik zwei verschiedene Messmethoden in der Medizin. Eins davon ist das „Durchschallungs-Verfahren“. Dieses ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wird mit einer Ultraschallsonde ein kurzer Schallimpuls ausgesendet und am anderen Ende der Probe empfangen. Es ist also nur möglich eine abgeschwächte Intensität zu messen, nicht jedoch die Fehlstelle der Probe zu ermitteln.

Das andere Verfahren ist das „Impuls-Echo-Verfahren“, welches in Abbildung 2 dargestellt ist. Dabei wird der Sender der Ultraschallwellen auch als Empfänger genutzt. Dies wird durch die Messung der Reflexion des Ultraschallpulses realisiert. Ist die Schallgeschwindigkeit bekannt, kann auch die Fehlstelle durch die Gleichung

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

angegeben werden. Dabei ist  $t$  die Zeit, die der Puls ab Absenden bis zur Rückkehr zur Sonde braucht. Die Ergebnisse können in sogenannten A-Scan's, B-Scan's oder TM-Scan's dargestellt werden.

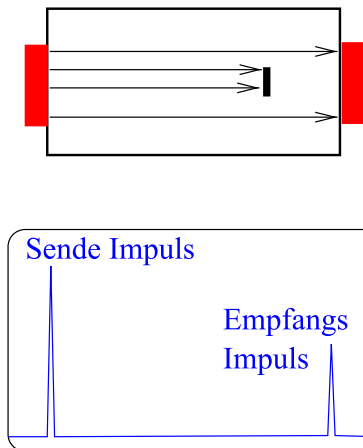


Abbildung 1: Das Durchschallungsverfahren [7].

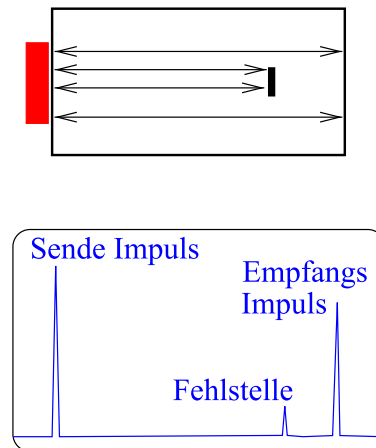


Abbildung 2: Das Impuls-Echo-Verfahren [7].

### 3 Durchführung

#### 3.1 Vorbereitungsaufgabe

Als Vorbereitungsaufgabe sollte zunächst die Schallgeschwindigkeit in Luft, destilliertem Wasser und Acryl recherchiert werden [5]:

$$\begin{aligned}c_{\text{Luft}} &= 343.2 \text{ m/s} \\c_{\text{Wasser}} &= 1480 \text{ m/s} \\c_{\text{Acrylglas}} &= 2730 \text{ m/s}\end{aligned}$$

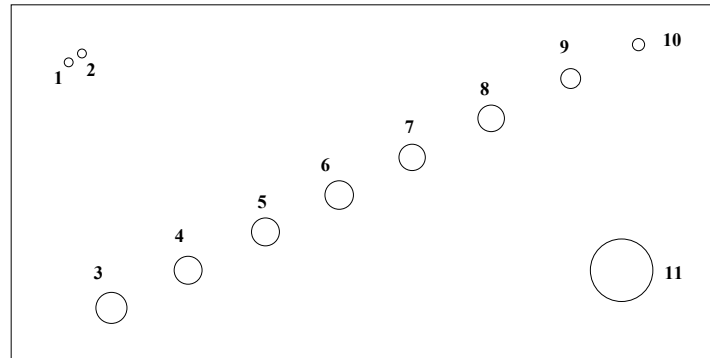
Weiterhin soll die Wellenlänge und Periode von Acryl errechnet werden. Das erfolgt über die Beziehung  $\lambda = c/f$ . Es folgt:

$$\begin{aligned}1 \text{ MHz} : \lambda_1 &= 2.73 \text{ m} \\2 \text{ MHz} : \lambda_2 &= 1.365 \text{ m} \\4 \text{ MHz} : \lambda_3 &= 0.6825 \text{ m}\end{aligned}$$

#### 3.2 Durchführung

Zunächst wird ein Acrylblock mithilfe einer Schieblehre ausgemessen. Dieser besitzt den schematischen Querschnitt aus Abbildung 3. Nun wird derselbe Acrylblock mithilfe einer Ultraschallsonde ausgemessen. Das Ziel ist es dabei, die Fehlstellen (Bohrungen) zu lokalisieren und den Durchmesser zu bestimmen. Verwendet wird dafür die 2 MHz Ultraschallsonde und als Koppelmittel wird bidestilliertes Wasser verwendet. Zunächst wird dies mit einem A-Scan vollzogen, worauf zu achten ist beide Seiten mit der Sonde zu messen. Danach wird ein B-Scan vollzogen. Über den angeschlossenen Rechner können die verschiedenen Modi

genutzt werden, die bereits in Abschnitt 2 erklärt wurden. Durch die Software geschieht auch das Aufnehmen der Messwerte. Diese werden nämlich per Screenshot abgespeichert und können somit nach der Messung ausgewertet werden.



**Abbildung 3:** Schematischer Querschnitt des Acrylblockes [7].

Weiterhin soll das Auslösevermögen und die Dämpfung der Sonden bei verschiedenen Frequenzen untersucht werden. Dafür wird eine A-Scan Messung bei den Fehlstellen 1 und 2 in Abbildung 3 gemacht. Es wird eine 1 und 2 MHz Sonde untersucht.

Schließlich soll mithilfe der Sonden noch in einem Brustmodell zwei Kugeln, die jeweils aus anderen Materialien bestehen, analysiert werden. Dafür werden sie zunächst per Abtasten gefunden und dann mithilfe der Sonden analysiert. Eine Kugel simuliert eine Zyste, die andere (festere) Kugel einen Tumor.

## 4 Auswertung

Im Folgenden sollen mithilfe der oben genannten Messverfahren die Durchmesser der Störstellen in dem Acrylblock bestimmt werden und anschließend anhand eines Brustmodells zwei Tumore identifiziert werden.

### 4.1 Ausmessung des Acrylblocks mittels A-Scan

Mithilfe einer Schieblehre werden die Maße des Acrylblocks bestimmt und in Tabelle 1 dargestellt. Der Ort einer Störstelle wird mittels A-Scan bestimmt, indem die Laufzeit jeweils vom oberen und unteren Ende des Acrylblocks zur Störstelle gemessen wird. Dabei muss die Laufzeit aufgrund der Sonden-Schutzschicht der Dicke 0,2 cm angepasst werden. Für die Berechnung der Abstände  $d_{\text{oben}}$  und  $d_{\text{unten}}$  wird eine Phasengeschwindigkeit in Acryl von 2730 m/s mit dem Weg-Zeit-Gesetz nach Gleichung 7 verwendet. Aus der Differenz der ausgemessenen Höhe des Acrylblocks und der berechneten Abstände ergeben sich in Tabelle 2 die Durchmesser der Störstellen  $d_{\text{Loch}}$ .

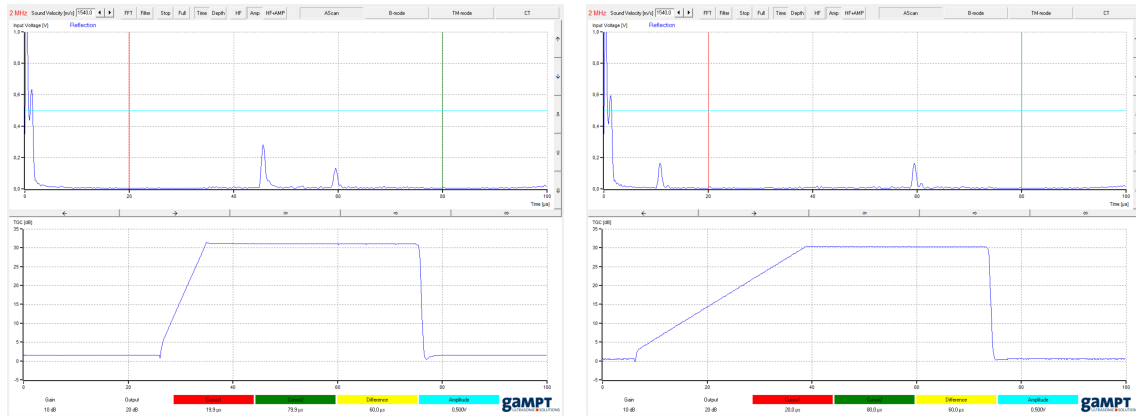
**Tabelle 1:** Die Abmessungen des Acrylblocks.

	$s / \text{cm}$
Länge	15,0
Breite	4,0
Höhe	8,4

**Tabelle 2:** Die Laufzeiten und die berechneten Werte der Störstellen mittels A-Scan.

Stelle	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$d_{\text{oben}} / \text{cm}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$d_{\text{unten}} / \text{cm}$	$d_{\text{Loch}} / \text{mm}$
3	46,5	6,35	10,7	1,46	4,32
4	40,4	5,51	17,5	2,39	3,37
5	35,0	4,78	23,0	3,14	3,23
6	28,5	3,89	29,4	4,01	3,37
7	23,5	3,21	35,5	4,85	1,86
8	16,0	2,18	40,8	5,57	4,87
9	13,0	1,77	46,6	6,36	1,05
10	6,5	0,89	-	-	-
11	41,5	5,66	12,4	1,69	8,83

Eine beispielhafte Aufnahme eines solchen A-Scans einer Störstelle ist in Abbildung 4 dargestellt.



(a) A-Scan von oben.

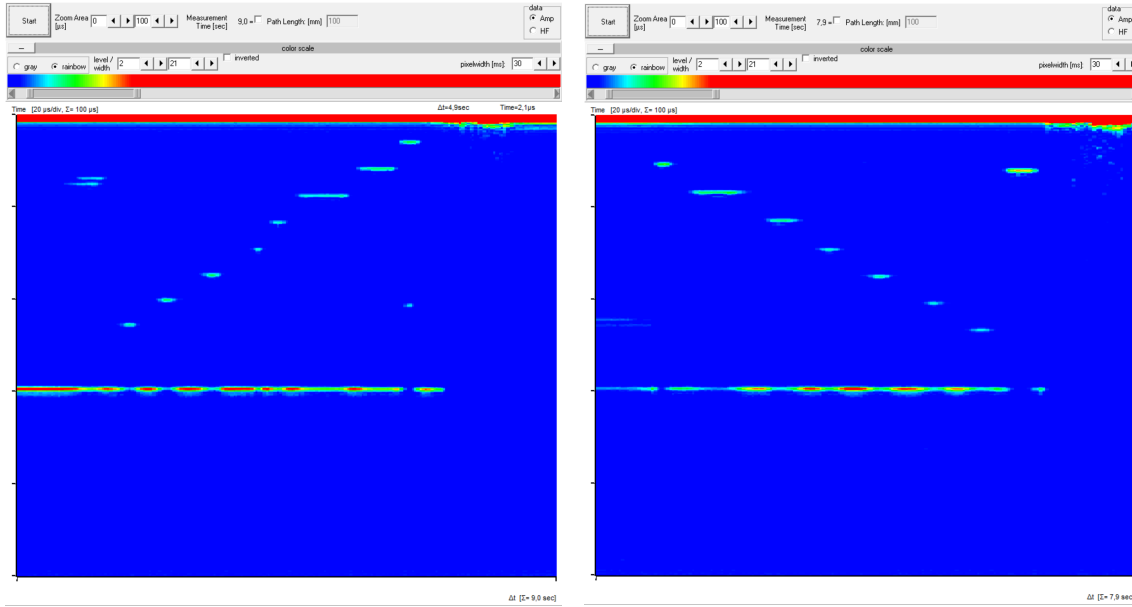
(b) A-Scan von unten.

**Abbildung 4:** Beispielhafter A-Scan der Störstelle 3.

## 4.2 Ausmessung des Acrylblocks mittels B-Scan

Die Aufnahmen des B-Scans sind in Abbildung 5 zu sehen.

Aus beiden Aufnahmen lassen sich ähnlich wie beim A-Scan in Unterabschnitt 4.1 die Laufzeiten ausgehend von der Sonde ablesen. Daraus werden die Abstände und schließlich



(a) B-Scan von oben.

(b) B-Scan von unten.

**Abbildung 5:** B-Scan des Acrylblocks, die Störstellen sind nummeriert von links nach rechts zu erkennen.

die Durchmesser in Tabelle 3 berechnet.

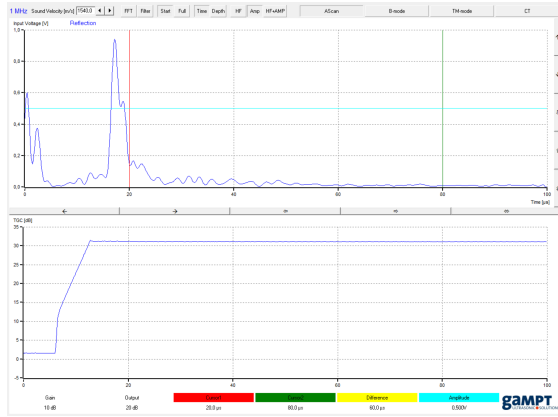
**Tabelle 3:** Die Laufzeiten und die berechneten Werte der Störstellen mittels B-Scan.

Stelle	$t_{\text{oben}} / \mu\text{s}$	$d_{\text{oben}} / \text{cm}$	$t_{\text{unten}} / \mu\text{s}$	$d_{\text{unten}} / \text{cm}$	$d_{\text{Loch}} / \text{mm}$
3	45,5	6,21	11,0	1,50	5,28
4	40,3	5,46	16,5	2,25	4,87
5	34,5	4,71	24,0	3,28	2,55
6	28,8	3,93	29,5	4,03	2,82
7	23,3	3,18	35,2	4,80	2,55
8	17,3	2,36	41,0	5,60	2,82
9	11,4	1,56	47,0	6,42	2,68
10	5,5	0,75	-	-	-
11	41,5	5,66	12,0	1,64	9,37

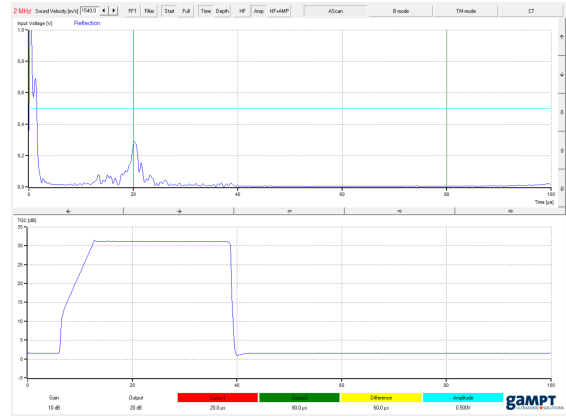
### 4.3 Bestimmung der Lage und Größe der Tumore im Brustmodell

Nach Ertasten des Brustmodells lässt sich der eine Tumor in oberer und der andere in rechter Lage bestimmen. Für beide Tumore werden A-Scans mit jeweils der 1 MHz- und der 2 MHz-Sonde durchgeführt, diese sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 dargestellt.



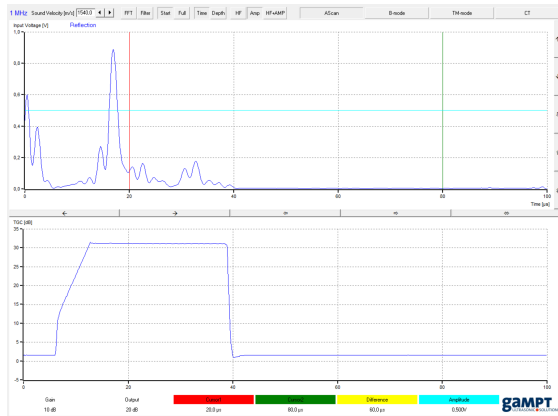


(a) A-Scan mit der 1 MHz-Sonde.

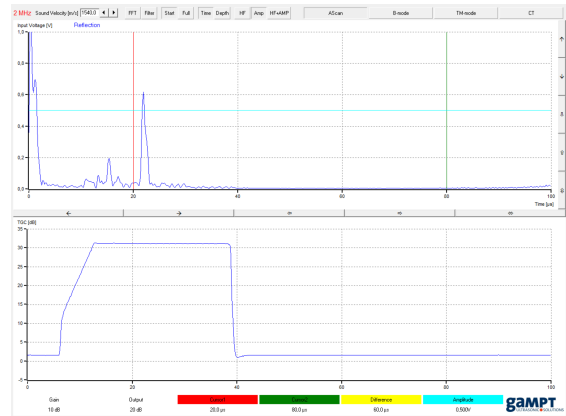


(b) A-Scan mit der 2 MHz-Sonde.

**Abbildung 6:** Der A-Scan des oberen Bereichs für die 1 MHz- und 2 MHz-Sonde.



(a) A-Scan mit der 1 MHz-Sonde.



(b) A-Scan mit der 2 MHz-Sonde.

**Abbildung 7:** Der A-Scan des rechten Bereichs für die 1 MHz- und 2 MHz-Sonde.

## 5 Diskussion

### 5.1 Ausmessung des Acrylblocks mittels A-Scan

Da während der Messung der Störstellen eins und zwei keine weitere Sonden-Frequenz gemacht wurde, konnte keine axiale Auflösung zweier benachbarter Störstellen im Acrylblock bestimmt werden. Des Weiteren soll erwähnt sein, dass die Störstelle 10 beim A- und B-Scan von der Störstelle 11 verdeckt wurde und daher keine Aufnahme von unten möglich war, von oben jedoch schon.

Im Vergleich der experimentell bestimmten Durchmesser der Störstellen in Tabelle 4 ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten Abweichungen.

**Tabelle 4:** Die berechneten Durchmesser im Vergleich mit den gemessenen.

Stelle	$d_{\text{Loch}} / \text{mm}$ (A-Scan)	$d_{\text{Loch}} / \text{mm}$ (B-Scan)	$d_{\text{Loch}} / \text{mm}$
3	4,32	5,28	5,80
4	3,37	4,87	4,70
5	3,23	2,55	3,60
6	3,37	2,82	2,86
7	1,86	2,55	2,86
8	4,87	2,82	2,86
9	1,05	2,68	2,86
10	-	-	2,86
11	8,83	9,37	9,00

**Tabelle 5:** Die relativen Abweichungen der bestimmten Durchmesser.

Stelle	$\Delta d_{\text{Loch}} / \%$ (A-Scan)	$\Delta d_{\text{Loch}} / \%$ (B-Scan)
3	25,52	8,97
4	28,30	3,62
5	10,28	29,17
6	17,83	1,40
7	34,97	10,84
8	70,28	1,40
9	63,29	6,29
10	-	-
11	1,89	4,11

Neben der allgemeinen Messung mit der Sonde, fiel das Ablesen der Laufzeiten in Unterabschnitt 4.1 und Unterabschnitt 4.2 schwer, da der Cursor im Messprogramm nicht verwendet wurde. Weitere Fehlerquellen für die sporadischen Abweichungen finden sich in der Herausforderung, klare Aufnahmen beim B-Scan zu machen, während die Sonde über den Acrylblock geführt wurde.

## **5.2 Bestimmung der Lage und Größe der Tumore im Brustmodell**

Im Vergleich zum zweiten Tumor ist bei der Aufnahme des ersten Tumor ein klarer Peak zu erkennen, der auf ein härteres Hindernis und daher auf den festen Tumor schließen lässt. Der zweite hingegen lässt einen weiteren Peak nach dem ersten erkennen, was als ein Hohlraum gedeutet werden kann. Der Tumor auf der rechten Seite kann daher als Zyste identifiziert werden. Ein B-Scan, auf dem ein klarer Unterschied der beiden Geschwüre erkenntlich ist, konnte nicht gemacht werden.

## Literatur

- [1] John D. Hunter. „Matplotlib: A 2D Graphics Environment“. Version 1.4.3. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 90–95. URL: <http://matplotlib.org/>.
- [2] 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/>.
- [3] Eric O. Lebigot. *Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties*. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [4] Travis E. Oliphant. „NumPy: Python for Scientific Computing“. Version 1.9.2. In: *Computing in Science & Engineering* 9.3 (2007), S. 10–20. URL: <http://www.numpy.org/>.
- [5] *Schallgeschwindigkeit im Material*. 2022. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 21.05.2022).
- [6] The pandas development team. *pandas-dev/pandas: Pandas*. Version latest. Feb. 2020. DOI: 10.5281/zenodo.3509134. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3509134>.
- [7] *Versuchsanleitung „Scanverfahren in der Ultraschalltechnik“*. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.