

**VERSUCH NUMMER US1**

## **Grundlagen der Ultraschalltechnik**

Irgendjemand

irgend.jemand@tu-dortmund.de

Durchführung: 17.05.2022

Someone

some.one@tu-dortmund.de

Abgabe: 24.05.2022

# 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
<b>4 Auswertung</b>	<b>3</b>
4.1 Vorbereitung . . . . .	3
4.2 Bestimmung der Zylinder Ausmaße . . . . .	4
4.3 Dämpfung . . . . .	6
4.4 Ausmaße des Augenmodells . . . . .	6
<b>5 Diskussion</b>	<b>7</b>
<b>Literatur</b>	<b>8</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 das heisst es 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 das die Schallgeschwindigkeit im allgemeinen von der Ausbreitungsrichtung im Festkörper abhängt. Die Intensität von Schallwellen fällt bei durch Absorptionsprozesse exponentiell ab und kann durch

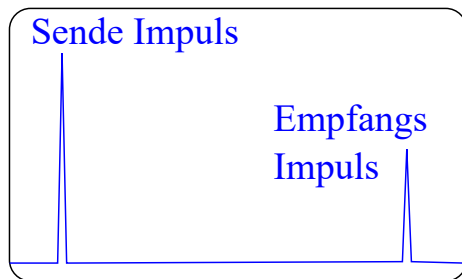
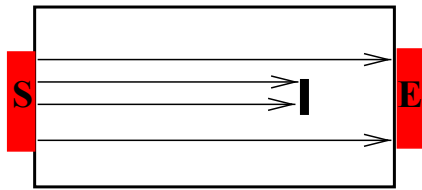
$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad (1)$$

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 wie gesagt auch Effekte der elektromagnetischen Wellen auf. Das heisst das 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.

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

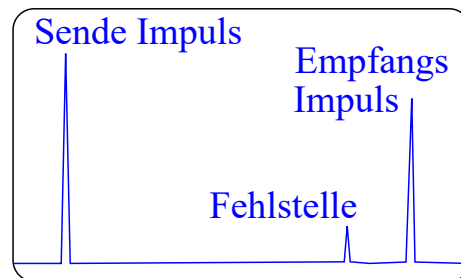
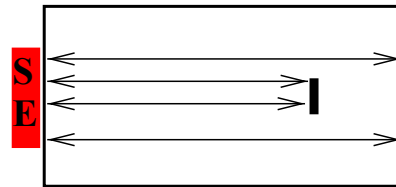
Damit gilt für den transmittierten Anteil  $T = 1 - R$ . Zur Erzeugung von Schallwellen können viele Wege verwendet werden. Der häufigste nutzt den reziproken piezo-elektrischen Effekt. Gewisse Stoffe erfahren Ausdehnung und Kontraktion in elektrischen Feldern. So kann zum Beispiel mit einem Quarz Kristall 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 vorhersagbarer. Dieser Effekt funktioniert auch andersherum das heißt man kann Schallwellen messen. 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 wird. 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, an der die Anomalie liegt, kann über

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

bestimmt werden. Es wird in diesem Versuch immer ein A-Scan durchgeführt. Das heißt, es wird die gemessene Amplitude gegen die Zeit aufgetragen.

## 3 Versuchsaufbau und Durchführung

### 3.1 Aufbau

Der Versuch besteht im allgemeinen aus dem Ultraschallechoskop, den Sonden und einem Computer für die Auswertung. Die Sonde hat eine Frequenz von 2,0 MHz (rot). 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. Nach dem sich mit dem Gerät vertraut gemacht wurde, werden verschiedene Messungen durchgeführt. Zunächst wird die Sonde mit bidestilliertem Wasser an einen Acrylglas Quader gekoppelt. Für diese Messung wird ein A-Scan mit dem Echo Verfahren durchgeführt und sowohl die Amplitude als auch die Schwingung dargestellt. Die im Programm abgebildete Graphik wird ausgewertet. Mit Hilfe der Skalen wird die Amplitude sowie die Zeitintervalle zwischen den großen Peaks der Amplitude gemessen. Zu dem wird die Periode an der Breite der Schwingung bestimmt. Für die weiteren Messungen werden Zylinder verschiedener Höhe verwendet. Die Sonde wird weiterhin mit bidestilliertem Wasser gekoppelt. Durch das entstandene Bild werden die Höhe des Zylinders sowie die Intensität der Schwingung abgelesen. Für die Durchschallungsmethode werden verschiedene Zylinder auf die Seite gelegt und von beiden Seiten Sonden gekoppelt. Auch hier wird die Höhe des Zylinders am Bild abgelesen. Zuletzt soll ein Augen Modell bemessen werden.

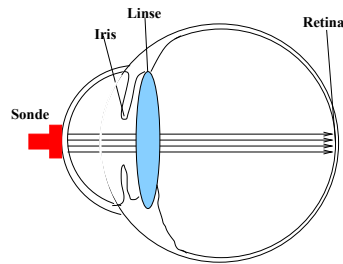


Abbildung 2: Darstellung des Augenmodells.[1]

Zum Koppeln der Sonde wird nun ein Ultraschallgel verwendet. Mit einem A-Scan und dem Echo Verfahren werden die Distanzen im Auge bestimmt.

## 4 Auswertung

Für die Auswertung wird immer der Literaturwert für die Schallgeschwindigkeit in Acryl  $c_{\text{acryl}} = 2700 \text{ m/s}$  [2] verwendet. Zudem wurden für jede Zeit Messung ein Fehler von  $0,10 \mu\text{s}$  und für jede Ortsmessung ein Fehler von  $0,10 \text{ mm}$  angenommen.

### 4.1 Vorbereitung

Zu nächst soll sich mit dem Gerät vertraut gemacht werden. Dazu wird eine Acryl Platte vermessen und dann mit der  $2,0 \text{ MHz}$  Sonde untersucht. Das dabei entstandenen Bild des A-Scans ist in Abbildung 3 dargestellt.

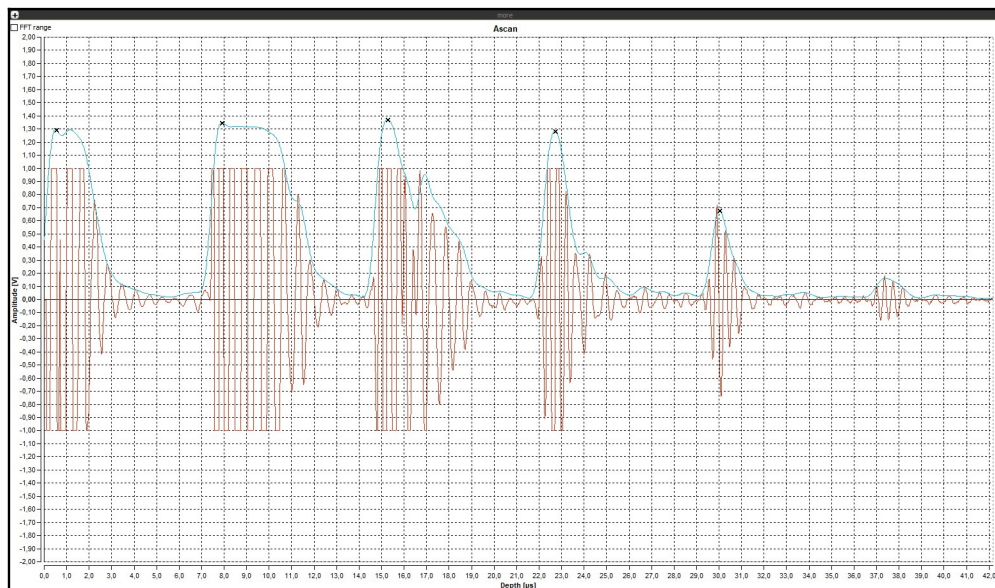


Abbildung 3: Bild des A-Scans der Acryl Platte.

Die Dicke der Platte wurde mit einer Schieblehre bestimmt und beträgt  $(9,34 \pm 0,01) \text{ mm}$ . An den eingezeichneten Stellen wurde die vergangene Zeit als auch die Amplitude abgelesen. So ergaben sich die Werte in Tabelle 1.

**Tabelle 1:** Messdaten der Amplituden Peaks.

$t / \mu\text{s}$	$\Delta t / \mu\text{s}$	$A / \text{V}$
0,50	7,4	1,3
7,9	7,4	1,4
15	7,4	1,4
23	7,4	1,3
30		0,57

Die Differenzen der vergangenzen Zeit (siehe Tabelle 1) treffen so eine Aussage über die Dicke der Platte. Diese ist durch die Schieblehren Messung bekannt und mit (3) kann so die Schallgeschwindigkeit

$$c_{\text{Acryl}} = (2524,3 \pm 55,3) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

bestimmt werden. Es kann von dem Bild auch noch die Perioden Dauer der Schwingung gemessen werden. Für die Frequenz Bestimmung wurden die Periodendauern in Tabelle 2 abgelesen. Dort wurde auch die Frequenz über  $f = \frac{1}{T}$  berechnet und eingetragen.

**Tabelle 2:** Abgelesene Perioden und berechnete Frequenzen.

$T / \mu\text{s}$	$f / \text{Hz}$
0,62	$1,60 \pm 0,26$
0,62	$1,60 \pm 0,26$
0,61	$1,60 \pm 0,27$
0,54	$1,90 \pm 0,34$
0,57	$1,80 \pm 0,31$

Alle Mittelwerte einer  $N$ -fach gemessenen Größe  $x$  werden über die Formel

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i. \quad (4)$$

berechnet. Der zugehörige Fehler des Messwertes berechnet sich dann über

$$\Delta \bar{x} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}. \quad (5)$$

Setzt sich eine zu berechnende Größe aus mehreren mit Unsicherheit behafteten Messwerten zusammen, so ist die Unsicherheit dieser Größe über die Gaußsche Fehlerfortpflanzung gegeben

$$\Delta f(x_1, \dots, x_N) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left[ \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot (\Delta x_i)^2 \right]}. \quad (6)$$

Bei der Angabe des Endergebnisses werden schließlich alle statistischen Teilfehler addiert. Alle Berechnungen, Graphen sowie das Bestimmen der Unsicherheiten werden mit Python 3.8.8 und entsprechenden Bibliotheken<sup>1</sup> durchgeführt. Im Mittel ergibt sich so der Wert  $f = (1,69 \pm 0,13) \text{ MHz}$ .

## 4.2 Bestimmung der Zylinder Ausmaße

Die Zylinder wurden zunächst mit einer Schieblehre ausgemessen. Diese Daten sind in Tabelle 3 dargestellt.

<sup>1</sup>Numpy [3], Uncertainties [4] and Matplotlib [5]

**Tabelle 3:** Gemessenen Höhen der Zylinder.

Zylinder Nummer	$h$ / mm
1,0	31
2,0	39
3,0	80
4,0	97
5,0	120

Die aus dem Programm entnommenen Daten stehen in Tabelle 4.

**Tabelle 4:** Abgelesenen Daten der Impuls-Echo-Messung.

Zylinder Nummer	gemessene Höhe / mm	$s$ / mm	$A$ / V
1,0	31	0	1,4
1,0	31	31	1,4
2,0	39	0	1,4
2,0	39	39	1,4
1,0 und 2	70	0	1,4
1,0 und 2	70	64	1,3
3,0	80	0	1,4
3,0	80	81	0,52
1,0 und 3	110	0	1,4
1,0 und 3	110	110	0,030
4,0	97	0	1,3
4,0	97	100	0,11
5,0	120	0	1,4
5,0	120	120	0,070

Da eine Impuls-Echo-Messung durchgeführt wurde hat das Programm mit  $s$  die Höhe der Zylinder angegeben. Bei  $s = 0$  wurde die Amplitude der ausgehenden Welle eingetragen. Zum Vergleich der Höhen werden diese und ihre Differenzen in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5:** Vergleich der Höhen.

$d_{\text{Schieblehre}}$ / mm	$h_{\text{echo}}$ / mm	$\Delta d$ / mm	Abweichung / %
31	31	0,11	0,35
39	39	0,39	0,99
70	64	6,3	8,9
80	81	0,87	1,1
110	110	0,98	0,88
97	100	6,7	6,9
120	120	0,61	0,51

Es ergibt sich ein systematischer Fehler. Dieser ist die Dicke der Sonden Anpassungsschicht mit etwa 1,1 mm. Ähnlich wird mit den Daten aus der Durchschallungs Methode umgegangen. Diese sind in Tabelle 6 dargestellt.

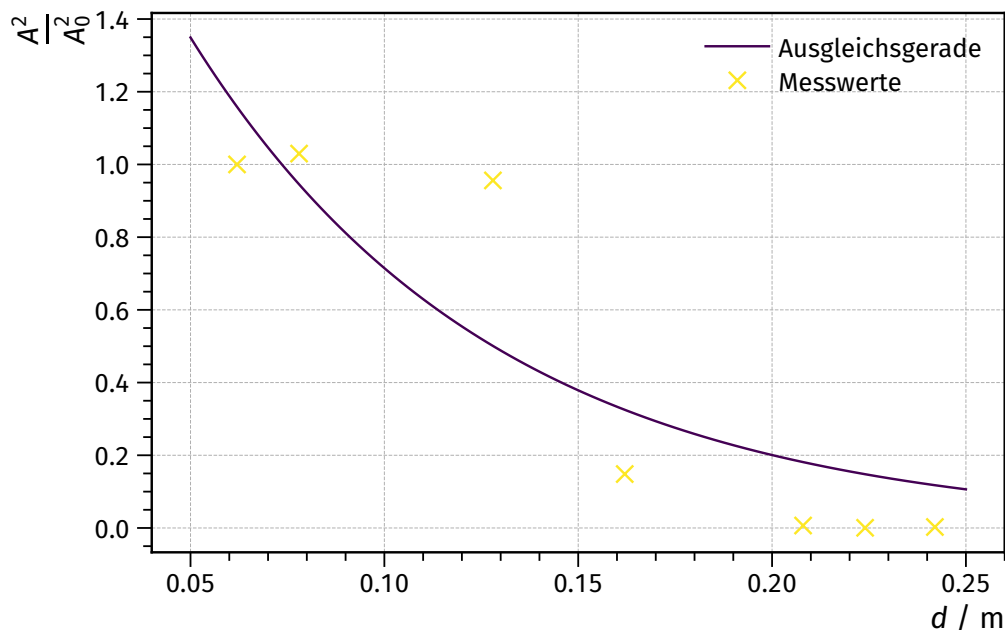
**Tabelle 6:** Gestimmte Höhe der Zylinder mit der Durchschallungs-Methode.

Zylinder Nummer	$h$ / mm	$\Delta h$ / mm	Abweichung / %
1,0	35	4,1	13
2,0	41	1,6	4,0
3,0	84	3,9	4,8
4,0	100	6,7	6,9
5,0	120	4,6	3,8

Auch für diese wurde die Differenz zu den gemessenen Höhen bestimmt. Es kommt zu einer durchschnittlichen Abweichung von  $(4,0 \pm 1,6)$  mm.

### 4.3 Dämpfung

Zur Bestimmung der Dämpfung werden auch die Daten aus Tabelle 4 verwendet. Aus den gemessenen Amplituden werden die Intensitäten bestimmt. Dazu werden die Amplituden quadriert. Zudem wird die Intensität in Vielfachen der Intensität am Start. Deshalb wurde durch  $A_0^2$  dividiert. So ist auch der Verstärkungsfaktor der Eingestellt wurde nicht wichtig da sich diese Abhängigkeit nun rauskürzt. Die Daten werden in Abbildung 4 dargestellt.



**Abbildung 4:** Logarithmische Daten der Intensität der Schwingung.

Zudem wurde mit Hilfe von Scipy's curve fit in Python eine Ausgleichsrechnung der Form

$$I(d) = I(0)e^{-\alpha d}$$

durchgeführt. So ergeben sich die Werte

$$\alpha = (12,7 \pm 4,6) \frac{1}{m}$$

$$I(0) = 2,50 \pm 1,05.$$

### 4.4 Ausmaße des Augenmodells

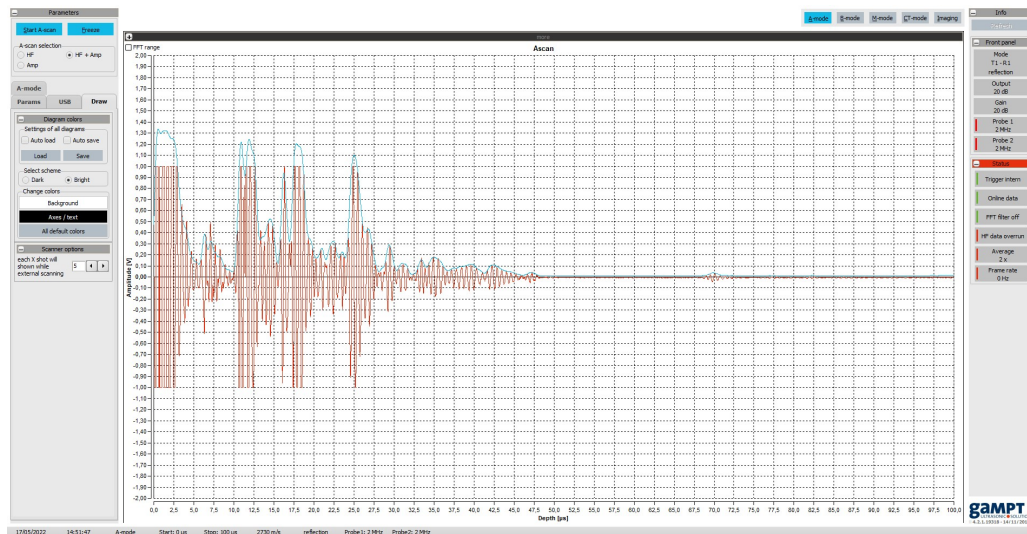
Das Augenmodell wurde mit der 2,0 MHz Sonde untersucht. Da die Schallgeschwindigkeit nun nicht mehr homogen ist wird zunächst nur die Zeit aufgenommen. Die so gewonnenen Daten sind in Tabelle 7 dargestellt.



**Tabelle 7:** Messdaten des Augenmodells.

$t / \mu s$
0,50
11
17
25
71

Die fünf Peaks sind in Abbildung 5 zu sehen.



**Abbildung 5:** Peaks der verschiedenen Objekte im Augenmodell.

Mit den bekannten Schallgeschwindigkeiten im Glaskörper  $c_{Gl} = 1400 \text{ m/s}$  und in der Linse  $c_L = 2500 \text{ m/s}$  können über (3) die Entfernungen im Auge bestimmt werden. Von der Sonde bis zu dem jeweiligen Objekt werden so der Abstand bestimmt.

$$d_{\text{Iris}} = 7,4 \text{ mm}$$

$$d_{\text{Linse, ein}} = 12 \text{ mm}$$

$$d_{\text{Linse, aus}} = 21 \text{ mm}$$

$$d_{\text{retina}} = 54 \text{ mm}$$

## 5 Diskussion

Für die Schallgeschwindigkeit aus der Vorbereitung ergibt sich eine relative Abweichung von 7,5 %. Dies lässt darauf schließen, dass die Schallgeschwindigkeit gut durch diesen Versuch bestimmt werden kann. Vor allem wenn noch mehr Messpunkte aufgenommen werden sollte sich die Genauigkeit verbessern. Die Periode der Schwingung könnte nur bis auf eine Abweichung von  $(16 \pm 7) \%$  bestimmt werden. Zur Verbesserung der Messung kann die erwähnte FFT verwendet werden. Aus der entstandenen Graphik kann die Frequenz genauer abgelesen werden. Auch ist zu beachten, dass in der Messung nicht die Schicht auf der Sonde beachtet wurde, welche in den weiteren Messungen zu erkennen war. In der Messung der Zylinderhöhe ist genau dieser systematische Fehler aufgefallen, die Werte hatten von den gemessenen Höhen einen klaren Unterschied. Die Abweichung von den Höhen war bei der Durchschallungs-Methode dabei deutlich größer, wie in Tabelle 6 und Tabelle 5 zu erkennen ist. Bei der Impuls-Echo-Methode kam es zu einer durchschnittlichen relativen Abweichung von 2,7 % und bei der Durchschallungs-Methode zu 6,3 %. Da die

Schicht auf der Sonde auf etwa 1,0 mm bestimmt wurde und die Durchschallungsmethode einen deutlich grösseren Abstand vermuten lässt ist die Messung des Impuls-Echo-Verfahrens besser geeignet. Es ist zu bemerken das zwei der Werte deutlich grössere Abweichungen besitzen dies lässt darauf schliessen, dass die Messung der Schieblehre nicht exakt genug war. Zum Augenmodell ist zusagen das die Werte in einem guten Bereich liegen und relativ geringe Abweichungen haben sollten.

## Literatur

- [1] Versuch Nr. US1. Grundlagen der Ultraschalltechnik. TU Dortmund, Fakultät Physik. 2022.
- [2] Evident-Olympus. Schallgeschwindigkeit im Material. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 19.05.2022).
- [3] 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/>.
- [4] Eric O. Lebigot. Uncertainties: a Python package for calculations with uncertainties. Version 2.4.6.1. URL: <http://pythonhosted.org/uncertainties/>.
- [5] 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/>.