

US1

# **Grundlagen der Ultraschalltechnik**

David Venker

david.venker@tu-dortmund.de

Nico Guth

nico.guth@tu-dortmund.de

Durchführung: 02.06.2020

Abgabe: 29.06.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zielsetzung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
2.1	Beschreibung von Schall . . . . .	3
2.2	Anwendung von Ultraschall . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Durchführung</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Auswertung</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>10</b>
	<b>Literatur</b>	<b>11</b>

# 1 Zielsetzung

Dieser Versuch soll die Funktionsweise von Ultraschallechographie aufzeigen. Dabei soll mithilfe des Impuls-Echo- und der Durchschallungsverfahrens die Schallgeschwindigkeit und -dämpfung in Acryl bestimmt werden.

## 2 Theorie

Schall ist ein physikalisches Phänomen, das Jedem bekannt sein sollte. Über Schall ist der Mensch in der Lage zu hören. Dabei ist Schall eine longitudinale (in Festkörpern auch transversale) Welle die durch Druckschwankungen in einem Medium charakterisiert wird. Die Frequenz dieser Welle bestimmt die Tonhöhe von dem was wir hören. Allerdings ist der Mensch nur in der Lage Frequenzen von etwa 16 Hz bis 20 kHz zu hören. Schall mit einer Frequenz im Bereich von etwa 20 kHz bis 1 GHz wird Ultraschall genannt. [1]

Dieser Ultraschall kann dazu genutzt werden Materialien zu untersuchen, ohne dabei dieses Material zerstören zu müssen. Wie diese Untersuchung funktioniert soll im Folgenden dargelegt werden.

### 2.1 Beschreibung von Schall

Da Schall eine Druckwelle ist, kann dieser über

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

beschrieben werden. Eine wichtige Größe bei dieser Beschreibung ist die akustische Impedanz  $Z = c \cdot \rho$ . Diese kann als eine Art Widerstand des Mediums betrachtet werden. Er setzt sich zusammen aus der Schallgeschwindigkeit  $c$  des Mediums und der Dichte  $\rho$  des Mediums.

Da die Schallwelle beim traversieren des Mediums durch Absorption Energie verliert, nimmt die Intensität  $I_0$  dieser exponentiell nach

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x} \quad (2)$$

mit der Strecke  $x$  ab. Hier beschreibt  $\alpha$  den Absorptionskoeffizienten der Schallamplitude. Da bei Ultraschall in Luft  $\alpha$  sehr groß ist, wird in der Regel der Schallerzeuger und das zu untersuchende Medium über eine Flüssigkeit mit geringerem  $\alpha$  gekoppelt.

An einer Grenzfläche zwischen zwei Medien wird der Schall teilweise reflektiert. Dieses Verhalten kann über den Reflexionskoeffizienten

$$R = \frac{I_{\text{reflektiert}}}{I_{\text{einfallend}}} = \left( \frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (3)$$

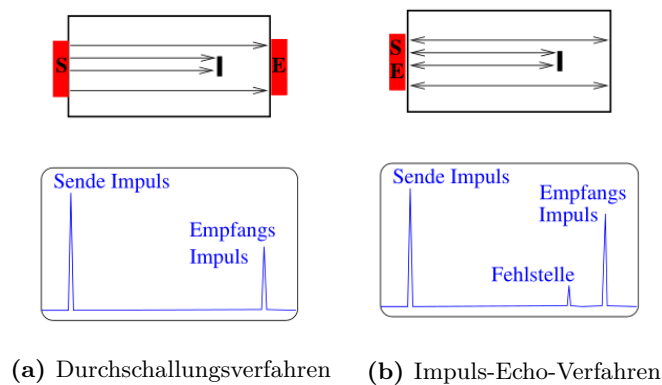
beschrieben werden. Der Transmissionskoeffizient ist dann

$$T = \frac{I_{\text{transmittiert}}}{I_{\text{einfallend}}} = 1 - R. \quad (4)$$

## 2.2 Anwendung von Ultraschall

Wie schon einleitend geschrieben kann mit Ultraschall ein Körper auf Fehlstellen bzw. örtliche Änderung des Materials untersucht werden. Am bekanntesten ist hierbei die Ultraschallsonographie, die zur medizinischen Untersuchung schwangerer Frauen verwendet wird.

Dabei gibt es in der Laufzeitmessung von Ultraschall zwei verschiedene Verfahren:



**Abbildung 1:** Die verschiedenen Verfahren der Laufzeitmessung eines Ultraschallimpulses mit entsprechendem A-Scan.[1]

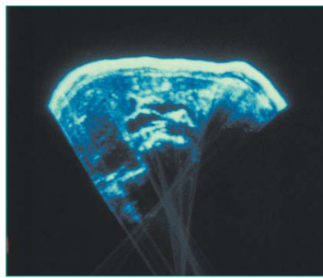
Zum Einen gibt es das Durchschallungsverfahren (siehe Abbildung 1a) in dem der Schallimpuls durch das Medium geschickt wird und auf der anderen Seite gemessen wird. Hier wird die Intensität bei einer gefundenen Fehlstelle abgeschwächt. Allerdings kann keine genaue Aussage über die Position der Fehlstelle getroffen werden.

Zum Anderen gibt es das Impuls-Echo-Verfahren (siehe Abbildung 1b) bei dem der Sender des Schallimpulses gleichzeitig auch als Empfänger dient. Hier wird also die Reflexion an einer Grenzfläche ausgenutzt und der Reflektierte Impuls gemessen. Hier kann über die Laufzeit des Impulses eine Aussage über die Lage der Fehlstelle getroffen werden. Die zurückgelegte Strecke des Impulses bis er reflektiert wurde kann über

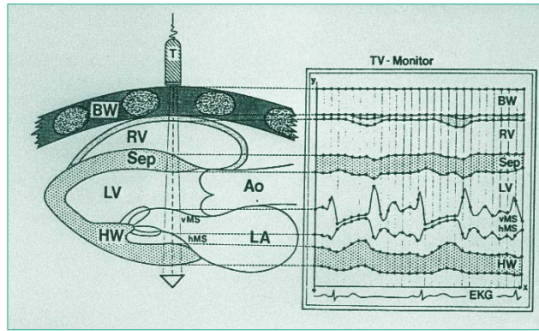
$$s = \frac{1}{2} c \cdot t \quad (5)$$

berechnet werden.

Bei beiden Verfahren kann aus dem Intensitätsverhältnis des ausgesendeten und empfangenen Impulses die Größe der Fehlstelle abgeschätzt werden. Die Intensitätsmessung kann auf verschiedene Arten visuell dargestellt werden.



(a) B-Scan eines Oberbauchs



(b) schematischer TM-Scan eines Herzen

**Abbildung 2:** Visualisierung der Scanverfahren.[2] (für den A-Scan siehe Abbildung 1)

Erstens gibt es den sogenannten A-Scan oder auch Amplituden-Scan, der die Schallamplitude in Abhängigkeit der Zeit in einem Diagramm darstellt. (siehe Abbildung 1)

Zweitens gibt es den B-Scan oder auch Helligkeits-Scan, der die Schallamplitude in Abhängigkeit des Ortes in einem 2D-Bild darstellt, in dem die Helligkeit die Höhe der Schallamplitude darstellt. (siehe Abbildung 2a)

Und drittens gibt es den TM-Scan oder auch Time-Motion-Scan, der die Bewegung des zu untersuchenden Körpers darstellt, indem die räumliche Veränderung der Bereiche gleicher Impulsamplitude dargestellt wird. (siehe Abbildung 2b)

Wie kann nun der Schallimpuls erzeugt bzw. gemessen werden?

Dazu wird häufig ein sogenannter piezoelektrischer Kristall verwendet. Dieser kontrahiert bzw. expandiert wenn an diesen ein elektrisches Feld angelegt wird und erzeugt andererseits ein elektrisches Feld wenn dessen Volumen durch äußere Kräfte verändert wird. Da dieser Effekt sehr schnell ist kann hiermit Ultraschall erzeugt werden. Allerdings wird nur eine hohe Schallintensität durch die Schwingung dieses Kristalls erzeugt, wenn die Frequenz der Anregung nahe der Resonanzfrequenz des Kristalls ist. Also werden für unterschiedliche Schallfrequenzen meist auch unterschiedliche Kristalle verwendet.

### 3 Durchführung

Es werden fünf verschieden hohe Acrylzyylinder mithilfe des Durchschallungs- und des Impuls-Echo-Verfahrens vermessen.

Dazu werden als erstes die Zylinder mit einem Messschieber vermessen.

Die 2 MHz Sonde wird über ein Ultraschallechoskop mit einem Computer verbunden. Am Computer wird die Scanmethode zu A-Scan gewählt. Somit kann jeweils die Amplituden und Zeiten der ausgesendeten und eingehenden Impulse auf dem Bildschirm abgelesen werden.

Für das Impuls-Echo-Verfahren wird der Zylinder auf ein Papiertuch gestellt, damit diesem keine Kratzer zugefügt werden. Die Ultraschallsonde wird mit bidestilliertem Wasser an den Zylinder gekoppelt. Dann wird am Computer das Impuls-Echo-Verfahren ausgewählt und die entsprechenden Amplituden und Zeiten der Impulse werden notiert.

Für das Durchschallungsverfahren wird der Zylinder horizontal auf eine Halterung gelegt und an beiden Seiten wird eine Sonde mit Kopplungsgel gekoppelt. Am Computer wird das Durchschallungsverfahren ausgewählt und es werden erneut die Amplituden und Zeiten der Impulse notiert.

Dies wird für fünf verschiedene Zylinder wiederholt.

## 4 Auswertung

Die Ergebnisse der Messungen für das Durchschallungsverfahren sind in Tabelle 1 notiert und die jeweilige Messung für das Impuls-Echo-Verfahren in Tabelle 2.

**Tabelle 1:** Messergebnisse des Durchschallungsverfahrens.

$l / \text{mm}$	$U_A / \text{V}$	$t_A / \mu\text{s}$	$U_R / \text{V}$	$t_R / \mu\text{s}$
31,1	0,79	0,3	1,35	12,8
40,5	0,79	0,3	1,36	15,8
80,6	0,79	0,3	1,35	31,2
102,1	0,79	0,3	1,34	39,2
121,7	0,79	0,3	1,34	45,4

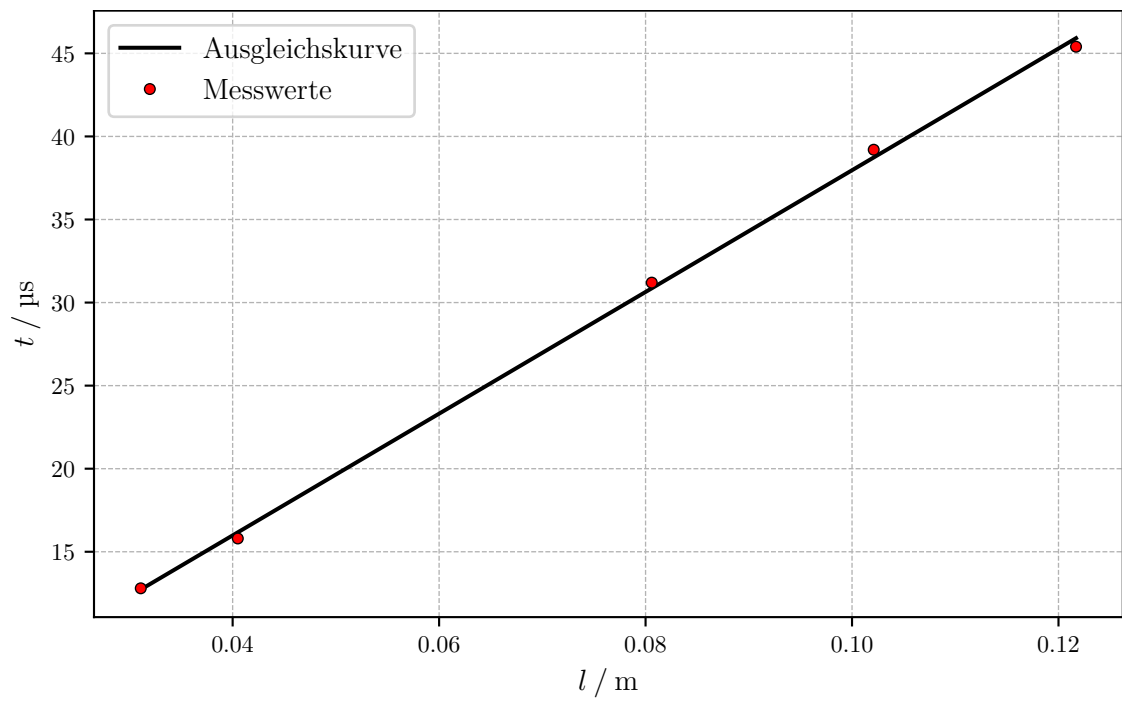
**Tabelle 2:** Messergebnisse des Impuls-Echo-Verfahrens.

$l / \text{mm}$	$U_A / \text{V}$	$t_A / \mu\text{s}$	$U_R / \text{V}$	$t_R / \mu\text{s}$
31,1	1,29	6,0	1,36	23,7
40,5	1,30	6,5	1,33	30,5
80,6	1,27	5,6	1,32	59,8
102,1	1,29	6,0	1,18	76,9
121,7	1,29	6,0	0,33	89,1

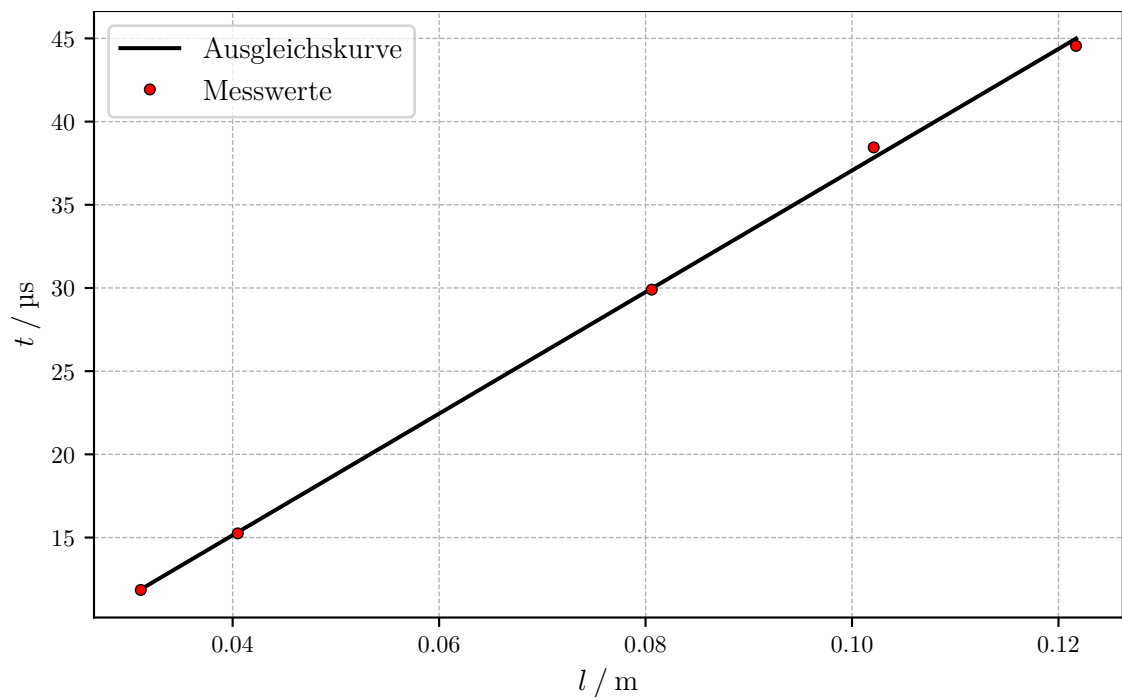
Zunächst wird aus diesen Messwerten die Schallgeschwindigkeit  $c$  bestimmt, dies gelingt über eine Ausgleichsrechnung. Also werden die Messdaten geplottet und eine Ausgleichsgerade durch die Punkte gelegt. Bei dem Impuls-Echo-Verfahren wird die Laufzeit  $t$  halbiert, da der Impuls die Strecke doppelt durchläuft.

Dabei wurde eine lineare Funktion der Art

$$f(x) = a \cdot x + b \quad (6)$$



**Abbildung 3:** Plot der Messwerte zum Durchschallungsverfahren



**Abbildung 4:** Plot der Messwerte zum Impuls-Echo-Verfahren

verwendet. Für die Durchschallung gilt

$$t = \frac{1}{c} \cdot s + b \quad (7)$$

und für das Impuls-Echo-Verfahren gilt nach (5)

$$\frac{t}{2} = \frac{1}{c} \cdot s + b. \quad (8)$$

Dann ergeben sich folgende Ausgleichsparameter für das Durchschallungsverfahren als

$$a_D = (366 \pm 6) \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\text{m}} \quad (9)$$

$$b_D = (13 \pm 5) \cdot 10^{-7} \text{s}. \quad (10)$$

Auf dem gleichen Weg werden ebenso die Parameter für das Impuls-Echo-Verfahren

$$a_I = (365 \pm 6) \cdot 10^{-6} \frac{\text{s}}{\text{m}} \quad (11)$$

$$b_I = (5 \pm 5) \cdot 10^{-7} \text{s} \quad (12)$$

bestimmt. Hierbei ist wichtig anzumerken, dass der Parameter  $b$  in beiden Fällen einen systematischen Fehler angibt. Dieser kann allerdings hier ignoriert werden, da dieser für die weitere Berechnung nicht relevant ist. Über

$$c = \frac{1}{a} \quad (13)$$

kann dann die Schallgeschwindigkeit bestimmt werden. Für beide Berechnungsmethoden ergeben sich

$$c_D = (2730 \pm 50) \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (14)$$

$$c_I = (2737 \pm 40) \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad (15)$$

Die Berechnung des Absorptionskoeffizienten gelingt über (2). Wird der Zusammenhang umgeformt, ergibt sich

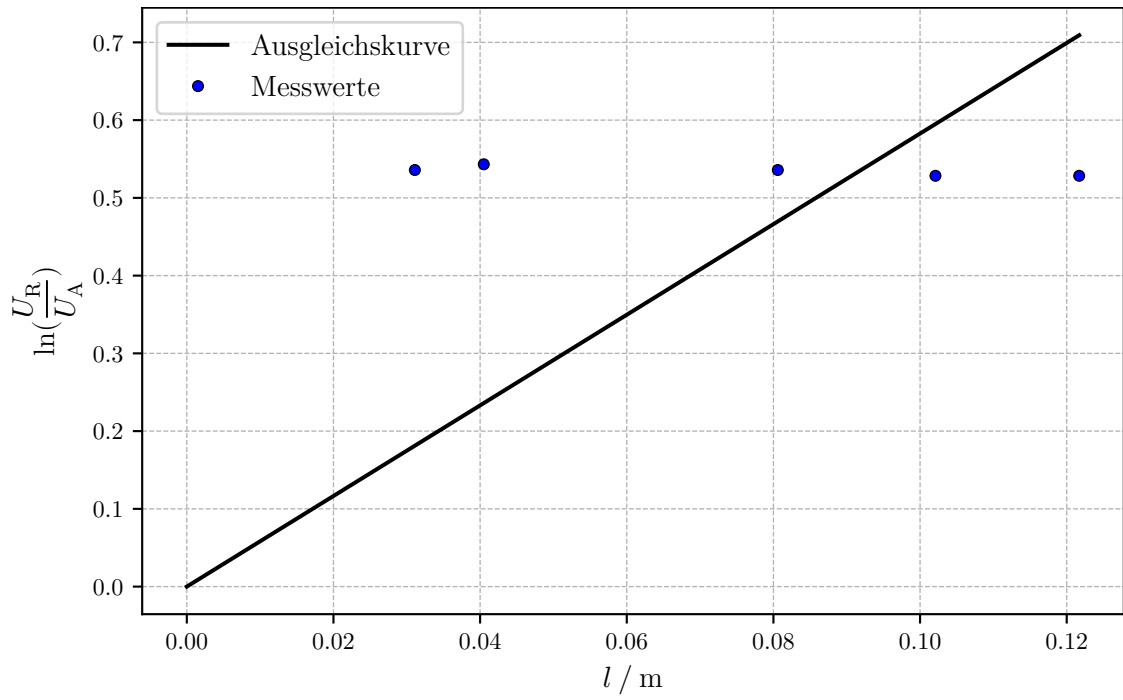
$$\ln \frac{I(l)}{I_0} = -\alpha \cdot l. \quad (16)$$

Dabei ist  $l$  die Länge des Weges durch die Zylinder und  $I_0$  die Startamplitude.

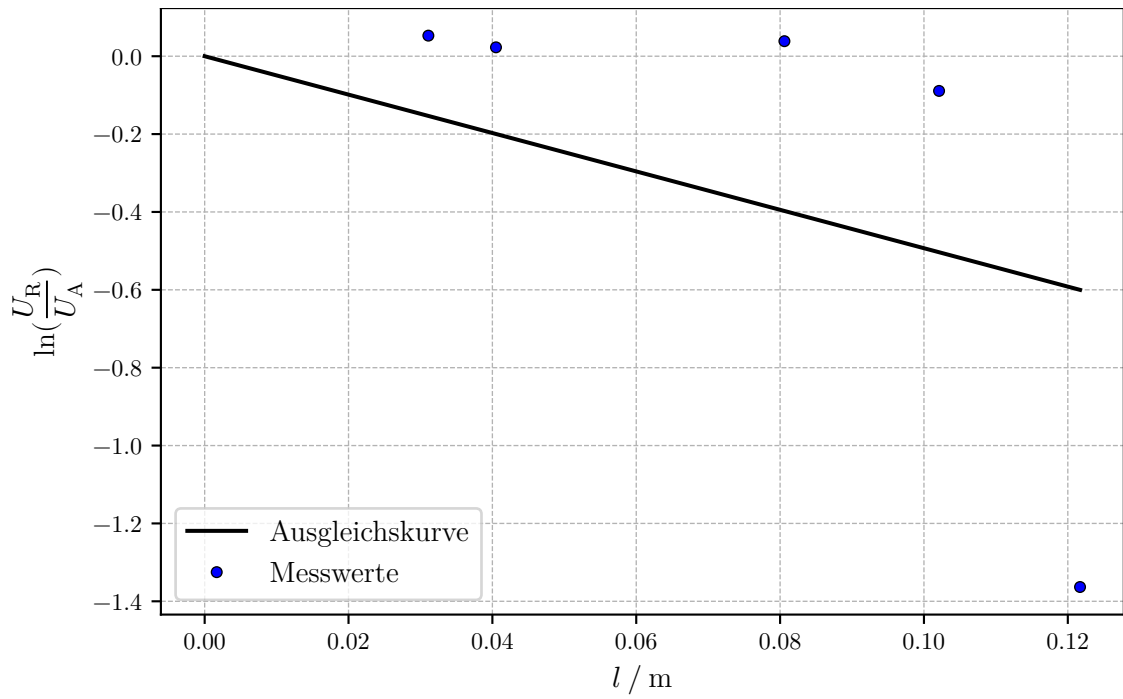
Die Messwerte für  $I(l)$  werden aus Tabelle 1 und Tabelle 2 genommen und geben die Amplitude nach einer durchlaufenen Länge  $l$  an.  $\alpha$  ist der Absorptionskoeffizient und ihn gilt es zu bestimmen. Bereits in (16) ist eine Gerade der Form

$$f(x) = a \cdot x. \quad (17)$$





**Abbildung 5:** Plot der Abhängigkeit von Amplitude und Weglänge zum Durchschallungsverfahren



**Abbildung 6:** Plot der Abhängigkeit von Amplitude und Weglänge zum Impuls-Echo-Verfahren

zu erkennen. Die Messwerte werden also für beide Messverfahren geplottet und dazu wird eine Ausgleichsgerade durch die Messwerte gelegt.

Die Parameter  $a$  von Abbildung 5 und Abbildung 6 sind dann

$$a_D = (5,8 \pm 1,4) \frac{1}{\text{m}} \quad (18)$$

$$a_I = (-4,9 \pm 2,7) \frac{1}{\text{m}}. \quad (19)$$

Wird (16) mit (17) verglichen ergibt sich der triviale Zusammenhang

$$\alpha = -a. \quad (20)$$

Darüber werden die Absorptionskoeffiziente der beiden Verfahren zu

$$\alpha_D = (-5,8 \pm 1,4) \frac{1}{\text{m}} \quad (21)$$

$$\alpha_I = (4,9 \pm 2,7) \frac{1}{\text{m}} \quad (22)$$

bestimmt.

## 5 Diskussion

Als erstes wurde die Schallgeschwindigkeit in Acrylglas bestimmt. In diesem Experiment wurde sie auf zwei verschiedene Arten bestimmt. In Tabelle 3 werden beide Werte jeweils mit ihren Theoriewerten verglichen und ihre Abweichung bestimmt.

**Tabelle 3:** Vergleich der experimentell berechneten und den theoretischen Schallgeschwindigkeiten.[3]

Verfahren	$c_{\text{gem}} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	$c_{\text{lit}} / \frac{\text{m}}{\text{s}}$	Abweichungen
Durchschallung	$2730 \pm 50$	2760	1,09%
Impuls-Echo	$2737 \pm 40$	2760	0,83%

Wird die Unsicherheit der Werte mitbetrachtet, liegen die Theoriewerte sogar innerhalb des Intervalls. Das Messergebnis kann also als sehr genau beschrieben werden.

Zuletzt wurde der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  bestimmt, auch hier über beide Messmethoden

$$\alpha_D = (-5,8 \pm 1,4) \frac{1}{\text{m}} \quad (23)$$

$$\alpha_I = (4,9 \pm 2,7) \frac{1}{\text{m}}. \quad (24)$$

Hier muss gesagt werden, dass die Werte sehr ungenau, bis physikalisch unmöglich sind. Die Impulsamplitude beim Durchschallungsverfahren ist nach dem Durchlaufen des Zylinders größer geworden. Dieses Ergebnis ist nicht erklärbar und es konnte keine Lösung gefunden werden. Sämtliche Amplituden eignen sich also nicht im geringsten für die Messung.  $\alpha_D$  besitzt daher das falsche Vorzeichen. Das gleiche Problem haben die Messwerte des Impuls-Echo Verfahrens. Nur hier ist es nicht mal konsistent. Hier werden manche Amplituden verstärkt und andere abgeschwächt. Es erscheint daher nicht wirklich sinnvoll überhaupt einen Vergleich mit der Theorie vorzunehmen, da die berechneten Werte absolut keine Aussage treffen können. Aufgrund der sehr genauen Werte für  $c$  wird der Fehler bei der Amplitudenmessung liegen. Allerdings kann nachträglich nicht gesagt werden, welche Einstellung nicht korrekt war.

## Literatur

- [1] TU Dortmund. *Versuchsanleitung zu Versuch Nr. US1 Grundlagen der Ultraschalltechnik*. 2020.
- [2] Deutsches Ultraschallmuseum in Remscheid. *Poster über die Entwicklung der Ultraschallgeschichte (Geschichte II)*. URL: <https://www.ultraschallmuseum.de/index.php?link=7> (besucht am 14.06.2020).
- [3] Elcometer Instruments GmbH. *Allgemeine Information zur Schallgeschwindigkeit*. URL: <https://www.xn--ultraschallprfung-f3b.com/schallgeschwindigkeiten/> (besucht am 26.06.2020).