

US1

GRUNDLAGEN DER ULTRASCHALLTECHNIK

Phuong Quynh Ngo
phuong-quynh.ngo@tu-dortmund.de

Durchführung: 30.06.2020

Abgabe: 05.07.2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Aufbau und Durchführung	5
3.1 Aufbau	5
3.2 Durchführung	5
4 Auswertung	6
4.1 Programm und Geräteeinstellungen	6
4.2 Bestimmung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren	7
4.3 Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren	8
4.4 Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren . .	8
4.5 Spektrale Analyse und Cepstrum	8
5 Diskussion	12
Literatur	13

1 Zielsetzung

In diesem Versuch soll die grundlegenden physikalischen Eigenschaften und Begriffe der Ultraschallechographie kennengelernt und angewendet werden.

2 Theorie

Der Untraschall wird vielfach in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und in der Medizin angewendet.

Schall ist eine aufgrund von Druckschwankung fortbewegende longitudinale Welle

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

(die akustische Impedanz (Schallkennwiderstand) $Z = c \cdot \rho$, ρ = Dichte des durchstrahlten Materials, v = die Schallgeschwindigkeit Impedanz Material).

Schallwellen verhalten sich ähnlich wie elektromagnetische Wellen. Daher ist die Schallgeschwindigkeit aufgrund der Druck- bzw. Dichteänderungen materialabhängig. Der Schall entspricht in Gasen und Flüssigkeiten einer longitudinalen Welle und in Festkörpern aufgrund der Schubspannungen sowohl einer longitudinalen als auch transversalen Welle. Die Schallgeschwindigkeit wird folglich beschrieben mit:

$$c_{\text{Fl}} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}} \quad (2)$$

(κ = Kompressibilität, ρ = Dichte)

$$c_{\text{Fe}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

(E = Elastizitätsmodul).

Schallgeschwindigkeiten in Festkörpern sind richtungsabhängig.

Bei der Schallausbreitung nimmt die Intensität der Schallwellen aufgrund dem durch Absorption verlierenden Energieteil exponentiell nach der Strecke x Absorption ab

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

(α = Absorptionskoeffizient der Schallamplitude).

Bei Luft ist diese Abschwächung sehr stark, weswegen ein Kontaktmittel verwendet wird. Die Eigenschaft der Reflexion von Wellen gilt auch beim Schall (Reflexion auf eine Grenzfläche zwischen 2 Materialien). Der Reflexionskoeffizient R ergibt sich dabei nach

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2. \quad (5)$$

Der transmittierte Anteil T ist dann $T = 1 - R$.

Die Anwendung des reziproken piezo-elektrischen Effektes ist eine mögliche Methode

bei Erzeugung des Untraschalls. Die piezoelektrischen Kristalle können, wenn sie in ein elektrisches Wechselfeld gebracht werden und eine ihrer polaren Achsen in Richtung des elektrischen Feldes zeigt, zu Schwingungen angeregt werden, wobei der Ultraschall entsteht. Wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz übereinstimmt, kommt es zur Resonanz, und es werden sehr große Schwingungsamplituden erreicht. Als Empfänger des Ultraschalls kann ebenfalls wieder ein piezoelektrischer Kristall genutzt werden, der durch Auffangen des Ultraschalls in Schwingung versetzt wird.

In der Ultraschalltechnik werden zwei Verfahren mit Laufzeitmessungs-Prinzip angewendet (das Durchschallungs- und das Impuls-Echo-Verfahren), um mit dem Ultraschall Informationen über ein zu untersuchendes Objekt zu bekommen.

Beim Durchschallungs-Verfahren ist der Ultraschallsender an einem Ende des Probenstücks und der Ultraschallempfänger am anderen Ende. Es wird ein kurzzeitiger Schallimpuls ausgesendet. Am Ultraschallempfänger wird eine aufgrund einer Fehlstelle in der Probe abgeschwächte Intensität gemessen. Eine genaue Ortsbestimmung dieser Fehlstelle ist nicht möglich.

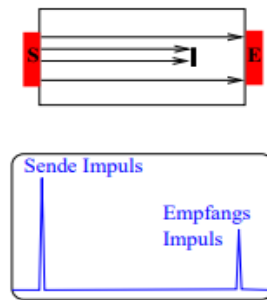


Abbildung 1: Durchschallungs-Verfahren.[2]

Beim Impuls-Echo-Verfahren befindet sich der Ultraschallsender auch als Ultraschallempfänger an einem Ende des Probenstücks. An einer Grenzfläche wird der Schallimpuls reflektiert und dann vom Empfänger aufgenommen. Die Höhe des Echos wird Aufschluß über die Größe der Fehlstelle gegeben. Die Lage der Fehler wird über

$$s = \frac{1}{2}ct \quad (6)$$

bestimmt.

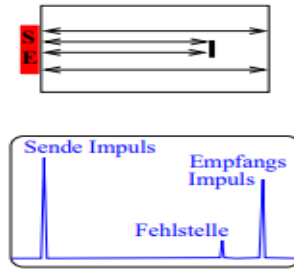


Abbildung 2: Impuls-Echo-Verfahren.[2]

Die Laufzeitdiagramme können in einem A-Scan, B-Scan oder einem TM- Scan dargestellt werden.

3 Aufbau und Durchführung

3.1 Aufbau

Der experimentelle Aufbau besteht aus einem Ultraschallechoskop, Ultraschallsonden verschiedener Frequenzen und einem rechner für Datenaufnahme und Datenanalyse. Bidestiliertes Wasser wird als Kontaktmittel verwendet. Bei diesem Veruch wird die Ultraschallsonden mit 4 MHz (rot) verwendet und es wird mit A-Scan durchgeführt.

3.2 Durchführung

Um die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen werden zwei Zylinder mit unterschiedlichen Größen verwendet. Deren Länge werden mit einer Schieblehre ausgemessen und notiert. Zuerst werden Programm und Geräteeinstellungen durchgeführt, indem ein kleiner Zylinder mit Puls-Echo-Verfahren verwendet wird. An einem der Zylinder wird von oben auf die Stirnseite eine 4 MHz-Sonde mit Koppelgel mit bidestiliertem Wasser gesetzt. Diese wird mit einem Ultraschallechoskop verbunden, welches sich im REFLEC.-Modus befinden muss. Mittels eines A-Scans wird die Laufzeit eines Echos bestimmt. Die Zeitdifferenz vom ersten zum zweiten Impuls wird mit der Cursor-Funktion für "time" gemessen und notiert. Daraus wird die Schallgeschwindigkeit für den Acrylzyylinder bestimmt und in das Meßprogramm eingetragen.

Die Messungen für die Bestimmung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren und Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren werden für die beiden Zylinder wiederholt. Die Längen der beiden Zylinder werden mit der Cursor-Funktion für "depth"(Tiefenmessung) gemessen.

Die Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren wird durch geführt, indem die Acrylzyylinder horizontal in die schwarze Halterungen gelegt und an beiden Stirnseiten eine Sonde mit Koppelgel gekoppelt wird. Das Ultraschallechoskop muss im TRANS-Modus befinden. Die Messungen sind analog beim Impuls-Echo-Verfahren.

Anschließend werden die Spektrale und Cepstrum analysiert. Das Impuls-Echo-Verfahren werden durchgeführt, indem ein Acrylzyylinder auf zwei verschiedene dicke Acrylscheiben gestellt wird. Mit Hilfe der FFT-Funktion werden das Spektrum und das Cepstrum der Sonde genommen.

4 Auswertung

Die Formel für den Mittelwert lautet

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (7)$$

Die Standardabweichung wird mit folgender Formel

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (8)$$

berechnet. Die Formel für den Fehler des Mittelwertes lautet

$$\Delta\bar{x} = s_{\bar{x}} = \frac{s_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (9)$$

Diese werden im Folgenden verwendet.

4.1 Programm und Geräteeinstellungen

Um die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen werden 2 Zylinder mit unterschiedlichen Größe verwendet. Die Länge der Zylinder werden mit der Schieblehre ausgemessen und betragen

für kleiner Zylinder : $l_{\text{klein}} = 39,5 \text{ mm}$

für großer Zylinder : $l_{\text{groß}} = 61,6 \text{ mm}$.

Das Puls-Echo-Verfahren wird mit einem 39,5 mm-Acrylzyylinder durchgeführt. Diese Messwerte und berechneten Werte sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Tabelle 1: Die Mess- und berechneten Daten zur Programm und Geräteeinstellungen.

Länge/ mm (Schieblehre)	Puls 1		Puls 2		$\Delta t/\mu\text{s}$	$c/(\text{m/s})$
	U/V	$t/\mu\text{s}$	U/V	$t/\mu\text{s}$		
39,5	1,585	0,6	0,09	29,6	29,0	2724,138

Die Länge des verwendeten Acrylzyylinder ist durch Tiefenmessung bestimmt und beträgt 39,5 mm. Diese stimmt genau mit den mit der Schieblehre gemessenen Länge des Zylinders überein. Die berechnete Geschwindigkeit $c = 2724,138 \text{ m/s}$ in Acryl wird in das Messprogramm eingetragen und die Messungen werden damit weiter durchgeführt.

4.2 Bestimmung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren

In diesem Versuchteil wird die Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren untersucht. Die Gleichung (4) beschreibt der Zusammenhang zwischen der Schallintensität I und der durchlaufenen Wegstrecke x . Mit $I \propto U^2$ gilt

$$U = U_0 e^{\frac{-1}{2}\alpha x}. \quad (10)$$

Die Amplituden des ausgesendeten und des reflektierten Pulses (Spannungsimpuls) werden gemessen und in Tabelle 2 aufgelistet.

Tabelle 2: Die Messdaten zur Bestimmung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren.

Länge/ mm (Schieblehre)	Puls 1 U/V	Puls 2 U/V
39,5	1,585	0,09
61,6	1,602	0,045

In Abbildung 3 werden die Messdaten und Exponential-Regressionen grafisch dargestellt.

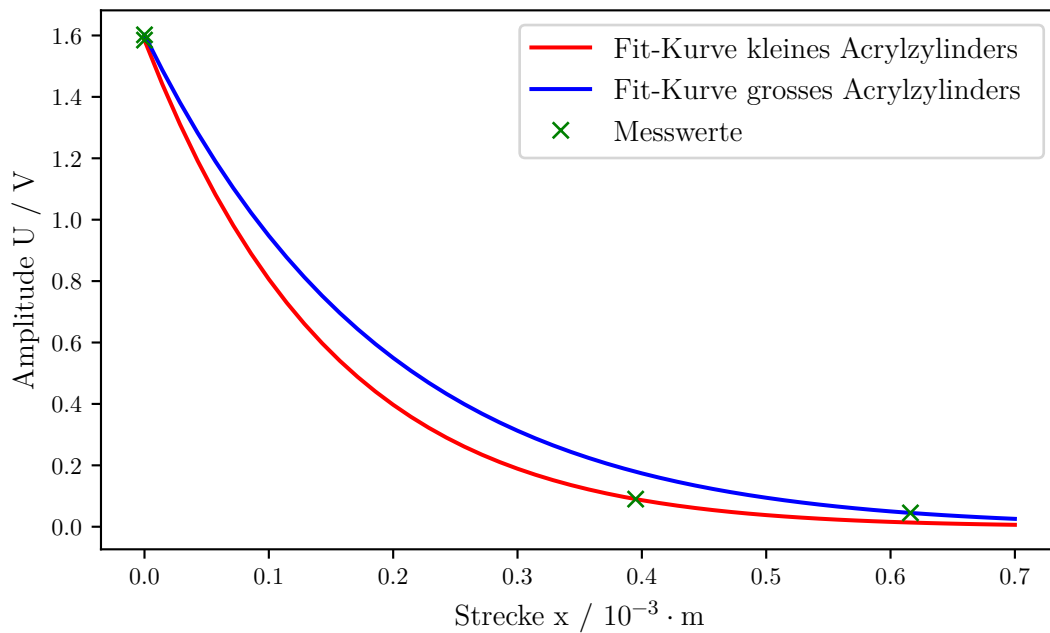


Abbildung 3: Die Regressionen zur Bestimmung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren.

Die aus der Regression bestimmten Werte für die Absorptionskoeffizienten der Schallam-

plitude bei 4MHz-Ultraschall lauten

$$\text{für kleiner Zylinder : } \alpha_{\text{klein}} = 14,524 \text{ m}^{-1}$$

$$\text{für großer Zylinder : } \alpha_{\text{groß}} = 11,599 \text{ m}^{-1}$$

$$\alpha = (13,062 \pm 2,068) \text{ m}^{-1}.$$

4.3 Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren

Die Messdaten zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren werden in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 3: Die Mess und berechnete-Daten zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren.

Länge/ mm (Schieblehre)	$\Delta t / \mu\text{s}$	$\frac{\Delta t}{2} / \mu\text{s}$	$c / (\text{m/s})$
39,5	29	14,5	2724,138
61,6	59	29,5	2088,136

Die Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Impuls-Echo-Verfahren beträgt dann $c = (2406,137 \pm 449,721) \text{ m/s}$.

4.4 Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren

Die Messdaten [1] und berechneten Daten zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren werden in Tabelle 4 aufgelistet.

Tabelle 4: Die Mess- und berechneten Daten zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren.

Länge/ mm (Schieblehre)	$\Delta t / \mu\text{s}$	$c / (\text{m/s})$
39	22,5	1733,333
60	69,6	1515,152

Die Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschallungs-Verfahren beträgt dann $c = (1624,243 \pm 154,277) \text{ m/s}$.

4.5 Spektrale Analyse und Cepstrum

Die Dicke der Polyacrylplatten werden mit der Schieblehre ausgemessen und betragen

$$\text{für dicke Platte : } d_{\text{dick}} = 12,8 \text{ mm}$$

$$\text{für dünne Platte : } d_{\text{dünn}} = 9,9 \text{ mm}.$$

Die dünnere Platte wird auf die dickere Platte gestellt. Der 39,5 mm lange Acrylzyylinder wird dann auf die beiden Platten gestellt. Das System wird mit dem Impuls-Echo-Verfahren so untersucht, dass drei Mehrfachreflexionen zu sehen sind. Mit Hilfe der FFT- Funktion werden das Spektrum und Ceptrum der Sonde für die ersten drei Peaks erstellt. (siehe Abbildung 5) Daraus ist es ersichtlich, dass sich dem Signal der Sonde nun die Mehrfachreflexe überlagern. Die Peaks liegen ungerfähr bei den Stellen, an deren Länge/Dicke vom Zylinder bzw. zwei Platten entsprechen. Aus der Abbildung und mit Hilfe der Tiefenmessung werden die Dicken durch Gleichung (6) der Platten bestimmt. (Hier wird die Schallgeschwindigkeit $c = 2724,138$ m/s aus 4.1 verwendet.) Die Messdaten [1] und berechnete Daten werden in Tabelle 5 aufgelistet.

Tabelle 5: Die Mess- und berechneten Daten zur Bestimmung der Dicken der Polyacrylplatten .

$\Delta t/\mu s$	Dicke/ mm
7,3	9,943
8,7	11,850

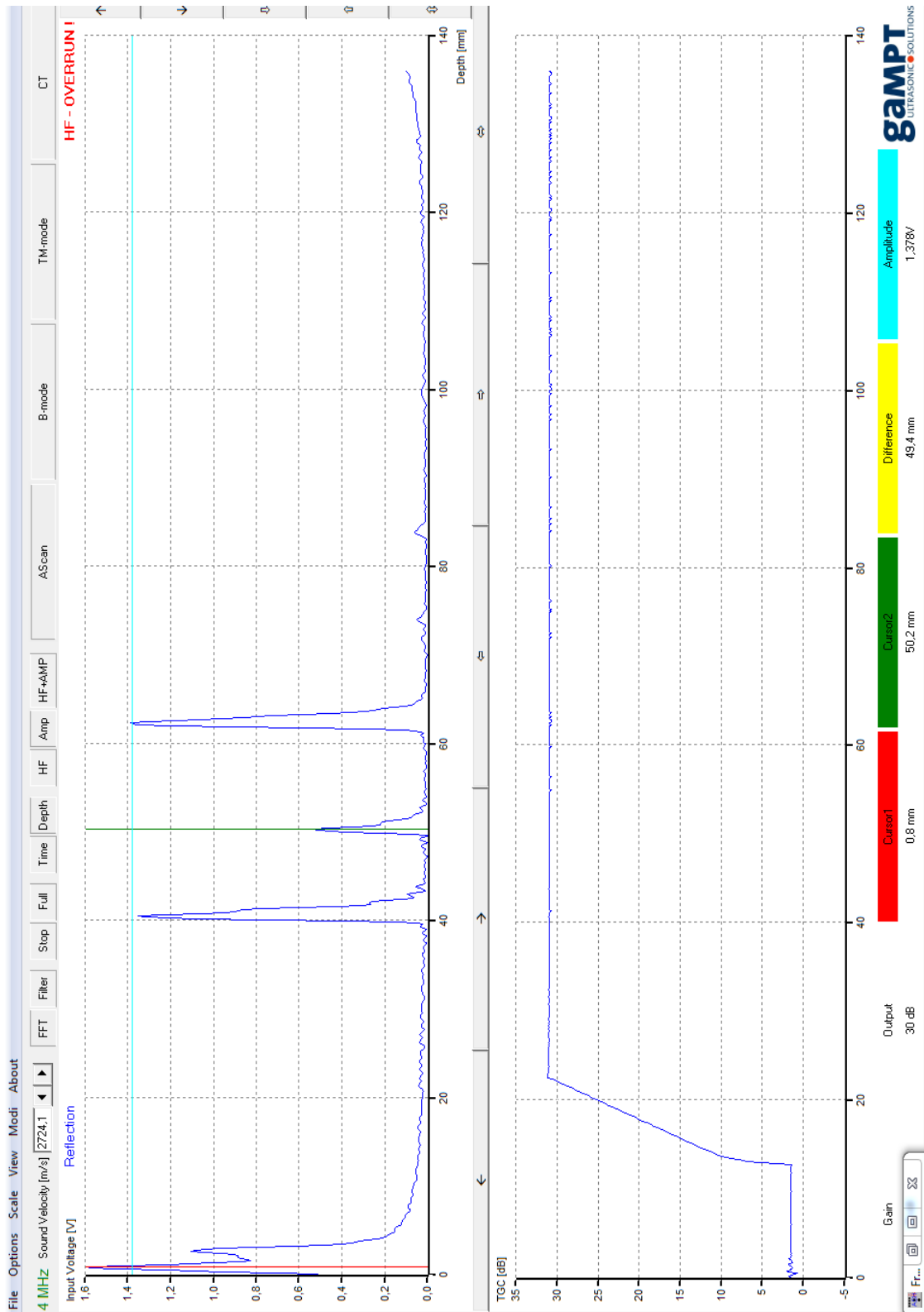


Abbildung 4: Stapel.

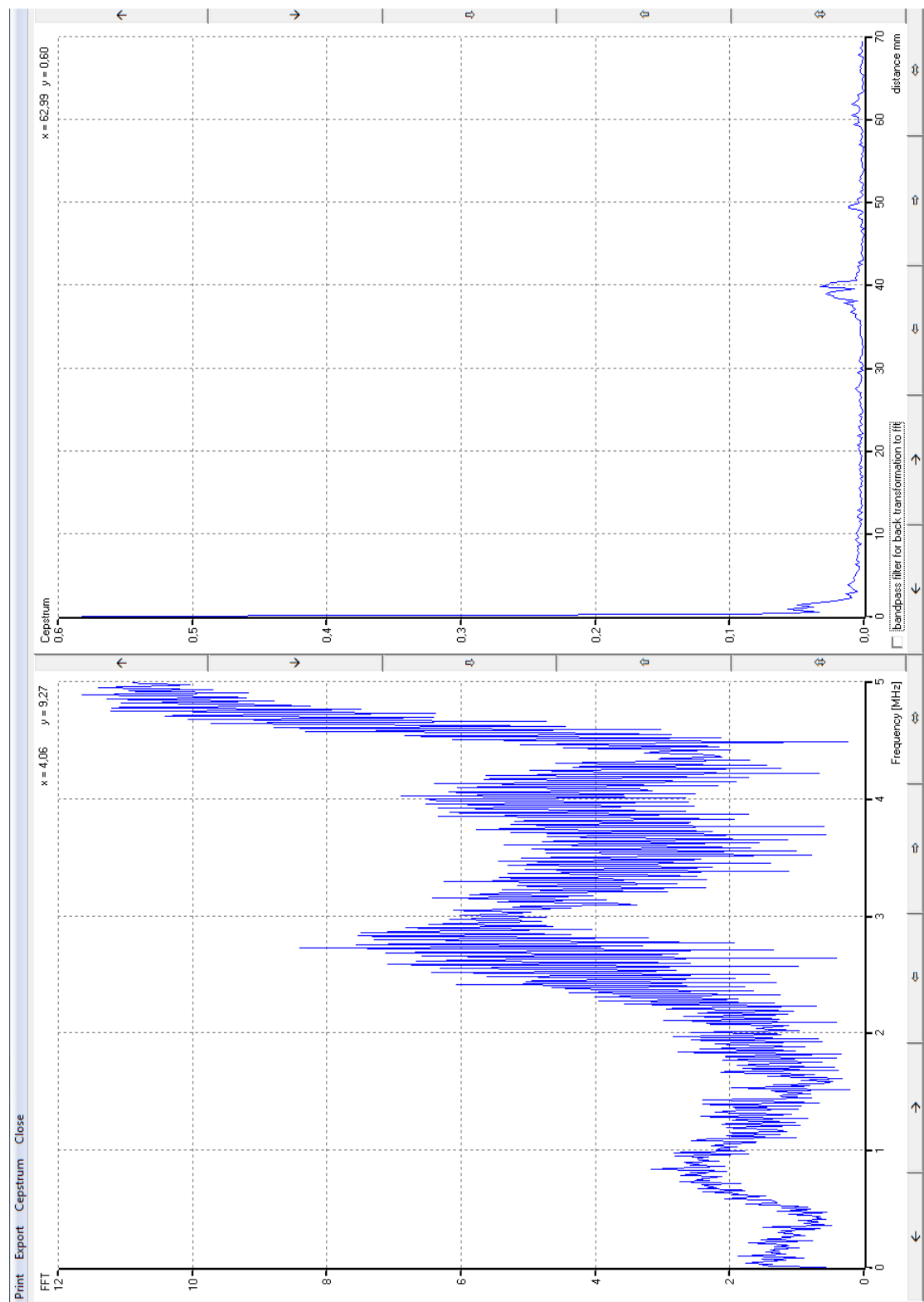


Abbildung 5: Cepstrum.

5 Diskussion

Bie diesem Versuch wird zuerst die Schallgeschwindigkeit in Acryl mittels des Impuls-Echo-Verfahrens und Durchschallungs-Verfahren bestimmt. Daraus wird keine Aussage über die Richtigkeit der Schallgeschwindigkeit beim Vergleich von zwei Verfahren getroffen. Der Grund ist beim Durchschallungs-Verfahren werden die Messdaten aus der anderen Quelle [1] genommen (Wegen des Defektes einer Sonde).

$$\begin{aligned}\text{Impuls-Echo-Verfahren} : c &= (2406,137 \pm 449,721)\text{m/s} \\ \text{Durchschallungs-Verfahren} : c &= (1624,243 \pm 154,277)\text{m/s} \\ \text{Literatur} : c &= 2730 \text{ m/s.}[3]\end{aligned}$$

Somit ergeben sich nach

$$\text{Abweichung} = \left| \frac{\text{Berechnete Werte} - \text{Literaturwerte}}{\text{Literaturwerte}} \right| \cdot 100\% \quad (11)$$

die Abweichungen von jeweils

$$\begin{aligned}\text{Impuls-Echo-Verfahren} : & 11,863 \% \\ \text{Durchschallungs-Verfahren} : & 40,504 \%. \end{aligned}$$

Der materialspezifische Koeffizient von Acryl wird durch die Untersuchung der Dämpfung mit dem Impuls-Echo-Verfahren bestimmt.

$$\alpha = (13,062 \pm 2,068) \text{ m}^{-1}.$$

Die Dicken zweier Polyacrylplatten werden mit dem Impuls-Echo-Verfahren, aus der FFT-Funktion und aus dem Cepstrum bestimmt und mit den Werten, die mit der Schieblehre ausgemessen werden, verglichen. Das Cepstrum-Verfahren wird daher auch zur Bestimmung von Längen verwendet.

$$\begin{aligned}d_{\text{dünn}} &= 9,943 \text{ mm} & d_{\text{dünn, theorie}} &= 9,9 \text{ mm} \\ d_{\text{dick}} &= 11,850 \text{ mm} & d_{\text{dick, theorie}} &= 12,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Es ergeben sich die Abweichungen

$$\begin{aligned}\text{für dicke Platte} : & 0,43 \% \\ \text{für dünne Platte} : & 7,42 \%. \end{aligned}$$

Literatur

- [1] Assistentin Nicole Schulte. „Die Messdaten zur Schallgeschwindigkeitsbestimmung mit dem Durchschaltungs-Verfahren“. In: (). Eingesehen am 30.06.2020.
- [2] *Grundlagen der Ultraschalltechnik*. Eingesehen am 28.06.2020. URL: https://moodle.tu-dortmund.de/pluginfile.php/1138348/mod_resource/content/2/V901.pdf.
- [3] *Schallgeschwindigkeiten im Material*. Eingesehen am 05.07.2020. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.