

Versuch Nr.US1

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Niklas Düser
niklas.dueser@tu-dortmund.de

Benedikt Sander
benedikt.sander@tu-dortmund.de

Durchführung: 12.05.2021

Abgabe: 19.05.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theoretische Grundlagen	3
1.1	Zielsetzung	3
1.2	Ultraschall	3
1.3	Erzeugung und Messmethoden	4
2	Versuchsaufbau und Durchführung	6
3	Auswertung	7
3.1	Schallgeschwindigkeit	7
3.2	Dämpfung	7
3.3	Augenmodell	9
4	Diskussion	10
5	Anhang	11

1 Theoretische Grundlagen

1.1 Zielsetzung

Das Ziel dieses Versuchs ist die Ausmessung eines Plexiglasquaders und eines Plastikauges mit Hilfe eines Ultraschallechoskop. Dabei soll ein grundlegendes Verständnis vom Umgang mit dem Echoskop vermittelt werden.

1.2 Ultraschall

Der Mensch ist in der Lage Schall im Frequenzintervall von 16 Hz bis 20 kHz zu hören. Für den Menschen nicht hörbar ist dabei unter anderem der Ultraschall. Der Begriff ist für das Intervall von 20 kHz bis 1 GHz definiert.

Darüber liegt der Hyperschall und unter dem hörbaren der Infraschall.

Ultraschall wird genutzt werden um Werkstücke oder menschliche Körper, ohne Schaden zu verursachen, zu untersuchen.

Mathematisch lässt sich Schall durch eine longitudinal Welle ausdrücken:

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

Der Term $Z = c \cdot \rho$ entspricht dabei der akustischen Impedanz, mit ρ als Dichte des Mediums und c der Schallgeschwindigkeit in dem Medium.

Die Schallgeschwindigkeit hängt hierbei, da bei Schall Dichteänderungen auftreten, sehr stark vom Material ab.

In einer Flüssigkeit führt das mit der Kompressibilität κ zu folgender Gleichung:

$$c_{Fl} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}$$

In einem Festkörper verhält sich das Ganze etwas anders. Dort zieht eine longitudinale Auslenkung von Teilchen, auf Grund der Rückstellkräfte, auch eine transversale Auslenkung nach sich.

Die Geschwindigkeit der beiden Ausbreitungsrichtungen variiert dabei.

Für den Festkörper muss dann κ^{-1} durch das Elastizitätsmodul E ersetzt werden.

$$c_{Fe} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Die Intensität der Schallwelle nimmt dabei mit der Zeit durch Absorption ab. Für Ultraschall gilt dies besonders stark für das Medium Luft. Die Intensität lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben:

$$I(x) = I_0 \cdot \exp(-\alpha x)$$

Die Anfangsintensität wird dabei durch den Term I_0 beschrieben und α ist der Absorptionskoeffizient.

Zusätzlich muss noch beachtet werden, dass Wellen die auf eine Grenzfläche zwischen zwei Medien treffen sich in einen transmittierten und einen reflektierten Anteil aufspalten. Die Intensität der reflektierten Welle lässt sich dabei über den Reflexionskoeffizient R beschreiben.

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

Z_1 und Z_2 stehen dabei für die akustischen Impedanzen des ersten und zweiten durchlaufenen Mediums.

Für die Intensität des transmittierten Anteils T gilt damit nun:

$$T = 1 - R$$

1.3 Erzeugung und Messmethoden

Eine Methode um Ultraschall zu erzeugen ist über Anwendung des piezo-elektrischen Effektes.

Bei diesem wird ein piezoelektrischer Kristall, wie Quarz, in ein elektrisches Wechselfeld gebracht. Dieses Feld regt den Kristall dann an zu Schwingen, wodurch er Ultraschallwellen abstrahlt. Durch Treffen der Eigenfrequenzen des Kristalls können hohe Amplituden erzeugt werden.

Zusätzlich kann der Kristall auch, durch Umkehrung des Effektes, als Empfänger genutzt werden.

In der Praxis, in der Medizin zum Beispiel, wird Ultraschall genutzt um Körper zu durchstrahlen.

Dabei wird die Laufzeit eines Schallimpulses gemessen. Aus der gemessenen Intensität und der Laufzeit lassen sich dann Rückschlüsse über den Körper schließen.

Dabei lassen sich zwei Messarten unterscheiden.

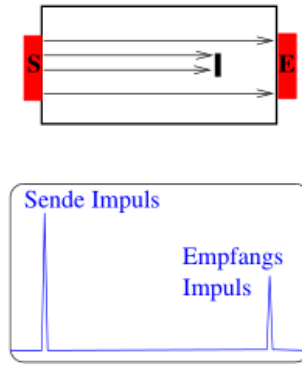


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Durchschallungs-Verfahrens und der Messdaten[6].

Das erste Verfahren wird Durchschallungs-Verfahrens genannt. Bei diesem Verfahren wird auf der einen Seite einer Probe ein Sender und auf der anderen ein Empfänger aufgebracht. Falls sich zwischen den beiden eine Fehlstelle befindet lässt sich eine wesentliche Abnahme in der Intensität messen. Eine Aussage über den genauen Ort lässt sich nicht schließen. Dieser Vorgang inklusive der schematischen Messwerte sind in Abbildung 2 dargestellt.

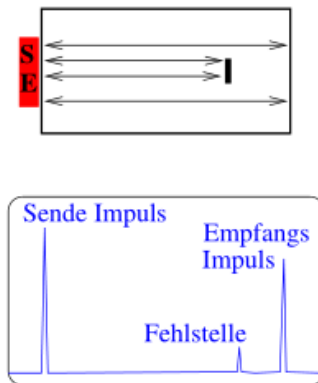


Abbildung 2: Schematische Darstellung des Impuls-Echo-Verfahrens und der Messdaten[6].

Das zweite Verfahren ist das Impuls-Echo-Verfahren. Im Gegensatz zum Durchschallungs-Verfahren wird hier nur ein Sender aufgebracht, welcher auch als Empfänger dient. Der ausgesendete Schallimpuls wird dabei teilweise von der Fehlstelle und vom Ende der Probe reflektiert. Über die Laufzeiten und Intensitäten lassen sich dann Rückschlüsse über den Ort und die Größe der Fehlstelle schließen. Die Bestimmung des Ortes bei bekannter Schallgeschwindigkeit c geht dabei über folgende Formel:

$$s = \frac{1}{2}c \cdot t$$

2 Versuchsaufbau und Durchführung

Für diesen Versuch wird ein Ultraschallechoskop mit angeschlossener Ultraschallsonde, für das Echo-Impuls-Verfahren, genutzt.

Das Gerät ist dabei an einen Computer angeschlossen mit dem sich die Messwerte auswerten lassen können. Dabei lassen sich die Sende, sowie die Empfangsleistung und die jeweiligen Laufzeiten im Impuls-Betrieb, vom Programm EchoView auslesen.

Zuerst soll ein Plexiglasblock mit Lufteinschlüssen unterschiedlicher Größe bei unterschiedlichen Tiefen untersucht werden.

Der Block und dabei auch der Ort der Einschlüsse wird zuerst mit einem Messschieber vermessen um Referenzwerte zu erhalten.

Nun wird als Kontaktmittel bidestilliertes auf den Block aufgetragen. Anschließend wird dann die Ultraschallsonde über den Block gefahren und für jeden Lufteinschluss vom Computer die Laufzeit des Impulses und die gemessene reflektierte Intensität gemessen. Dieselbe Messung wird dann für die andere Seite des Blocks wiederholt.

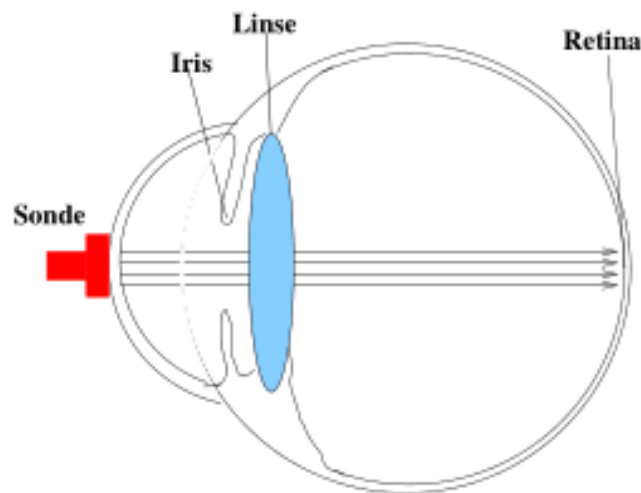


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Augenmodells, welche zu untersuchen istS[6].

Als nächste Messreihe soll ein Modell eines Auges untersucht werden. Dieses ist in Abbildung 3 dargestellt.

Auf das Linse des Modells wird wieder das Kontaktmittel aufgetragen. Mit der Sonde kann dann das Innere des Auges untersucht werden.

Dies geschieht über die Interpretation der unterschiedlichen reflektierten Impulse, die im Messprogramm abgebildet werden.

3 Auswertung

3.1 Schallgeschwindigkeit

Im ersten Versuchsteil wird die Schallgeschwindigkeit in Acryl berechnet. Dazu wurden mit dem Impuls-Echo-Verfahren unterschiedliche Störstellen in einem Acrylblock vermessen. Die Daten dieser Messungen sind in Tabelle(1) zu finden.

Werden diese geplottet und durch eine Ausgleichsgerade der Form $y = m \cdot x + b$ gefittet, ergibt sich Plot(4).

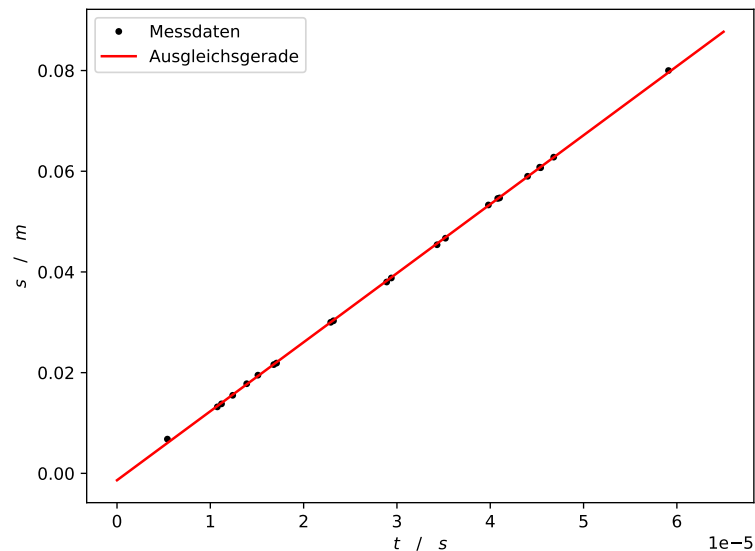


Abbildung 4: Die Messwerte geplottet und durch eine Ausgleichsgerade angenähert.

Die in diesem Plot dargestellte Ausgleichsgerade wird durch die Parameter:

$$m = (1370,3 \pm 0,3) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$
$$b = (-13,6 \pm 0,1) \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

dargestellt.

Die Steigung m beschreibt hier bereits eine Geschwindigkeit, diese muss jedoch noch einmal verdoppelt werden, da bei dem Impuls-Echo Verfahren die Strecke doppelt zurück gelegt wird. Somit berechnet sich die Schallgeschwindigkeit in Acryl zu :

$$c_{\text{Schall}} = 2 \cdot m = (2741 \pm 7) \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

3.2 Dämpfung

Um den Absorptionskoeffizient α der Schallamplitude aus der Formel:

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

zu bestimmen werden die Schallamplituden gegen die Strecke geplottet.

Die Amplituden sind auch in der Tabelle(1) zu finden.

Um systematische Fehler zu verhindern wurden für die Strecke nicht die per Schieblehre vermessenen Werte benutzt sondern erneut aus $s = c_{\text{Scall}} \cdot t$ berechnet. Diese Messwerte wurden nun per `scipy.curvefit` [2] an eine Funktion der Form

$$I(x) = A \cdot e^{Bx}$$

gefittet. Dies ergibt dann insgesamt die Abbildung(5).

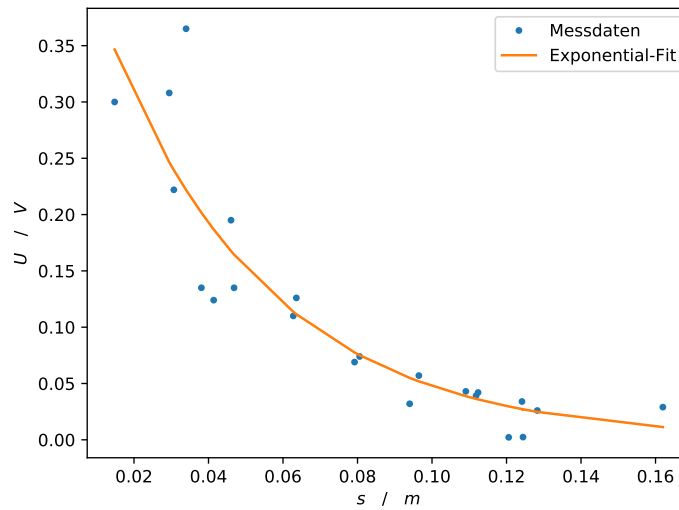


Abbildung 5: Die Messwerte geplottet und durch eine Exponentialfunktion gefittet.

Hier berechnen sich die Parameter aus Gleichung(3.2) zu:

$$A = (488 \pm 65) \cdot 10^{-3} \text{ V}$$

$$B = (-23 \pm 3) \frac{1}{\text{m}}$$

Somit wurde der Absorptionskoeffizient α zu:

$$\alpha = -B = (23 \pm 3) \frac{1}{\text{m}}$$

berechnet.

Messnummer	s / mm	t / μs	U / V
1	13,2	10,75	0,308
2	60,8	45,3	0,034
3	21,6	16,8	0,195
4	53,3	39,8	0,043
5	30,3	23,2	0,126
6	45,4	34,3	0,032
7	38,8	29,4	0,074
8	38,0	28,9	0,069
9	46,7	35,2	0,057
10	30,0	22,9	0,110
11	54,7	41,0	0,042
12	21,9	17,1	0,135
13	62,8	46,8	0,026
14	13,8	11,2	0,222
16	6,8	5,4	0,300
17	15,5	12,4	0,365
18	54,6	40,8	0,039
19	59,0	44,0	0,0022
20	19,5	15,1	0,124
21	60,7	45,4	0,0024
22	17,8	13,9	0,135
23	80,0	59,1	0,029

Tabelle 1: Messdaten der Ultraschalluntersuchung eines Acrylblocks mit Störstellen. Die einzelnen Störstellen wurden von oben und von unten vermessen. Hier beschreibt somit immer eine aufeinander folgende ungerade und dann gerade Messnummer eine Störstelle, jediglich Messnummer 15 konnte nicht aufgenommen werden da die Störstelle von einer größeren Störstelle verdeckt wurde. Messnummer 23 ist der am Tisch reflektierter Impuls.

3.3 Augenmodell

Aus dem Bild(6) lassen sich 3 Peaks ablesen, diese sind bei $t_1 = 17,4 \mu\text{s}$, $t_2 = 18,2 \mu\text{s}$ und bei $t_3 = 23,1 \mu\text{s}$. Der erste Peak entsteht hier durch die Reflektion an der Iris, der zweite an der Linse und der dritte hinten an der Retina. Über diese Zeiten lassen sich nun mittels der spezifischen Schallgeschwindigkeiten in der Linse $c_L = 2500 \text{ m/s}$ und in der Glaskörperflüssigkeit $c_{\text{GK}} = 1410 \text{ m/s}$, die Abmaße des Augenmodells bestimmen [6].

$$\begin{aligned}
s_{\text{I}} &= \frac{1}{2}t_1 c_{\text{GK}} &= 12,267 \text{ mm} \\
s_{\text{L}} &= s_{\text{I}} + \frac{1}{2}(t_2 - t_1)c_{\text{L}} &= 13,267 \text{ mm} \\
s_{\text{R}} &= s_{\text{L}} + \frac{1}{2}(t_3 - t_2)c_{\text{GK}} &= 22,362 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Hier ist s_{I} der Abstand bis zur Iris, s_{L} der Abstand bis zur Linse und s_{R} der Abstand bis

zur Retina.

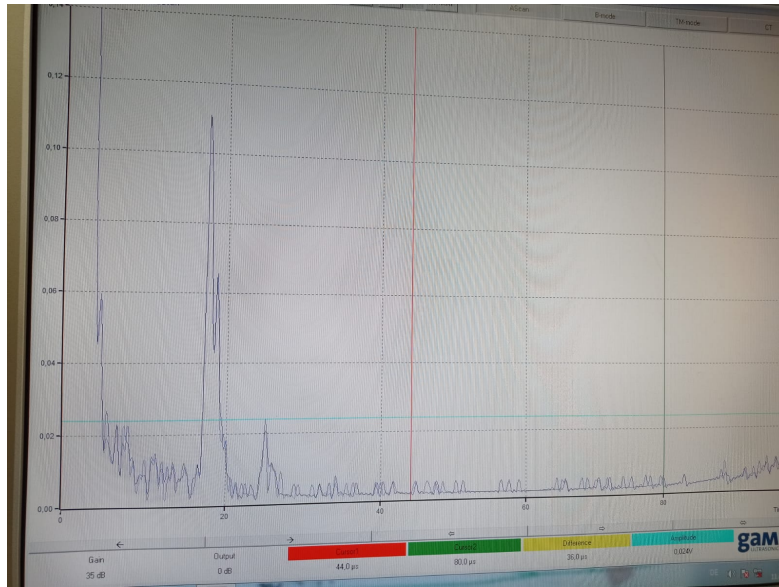


Abbildung 6: Aufnahme vom Echoskop beim vermessen des Augenmodells.

4 Diskussion

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit $c_{\text{Schall}} = (2741 \pm 7) \text{ m/s}$ hat sehr gut funktioniert. Die Abweichung zum Theoriewert von $c_{\text{Theo}} = 2730 \text{ m/s}$ [4] berechnet sich zu lediglich 0,4%, jedoch ist davon auszugehen, dass sich ein paar systematische Fehler durch ungenaues Ablesen eingeschlichen haben.

Zu dem Absorptionskoeffizient wurden keine Theoriewerte gefunden. Es lässt sich jedoch sagen, dass auch trotz einer relativ großen Streuung der Messwerte ein sinnvoller exponentieller Fit berechnet werden konnte.

Das Abmessen des Augenmodells war eher schwierig, da bereits sehr kleine Änderungen der Sonde zu großen Änderungen der Ergebnisse geführt hatten. Es ist also nicht möglich zu sagen ob die richtigen Messdaten getroffen wurden. Außerdem wurden die genauen Werte nicht mit dem Cursor-Tool abgelesen, sondern mussten jetzt von dem Foto geschätzt werden. Dies führt zu relativ großen Ungenauigkeiten. Des weiteren ist es relativ wahrscheinlich, dass sich aufgrund der runden Form des Modells eine Luftschicht zwischen Sonde und Modell gebildet hat. Dies würde alle Impulszeiten additiv verlängern und erklären weshalb die Iris und Linse schinbar in der Mitte des Modells sind.

5 Anhang

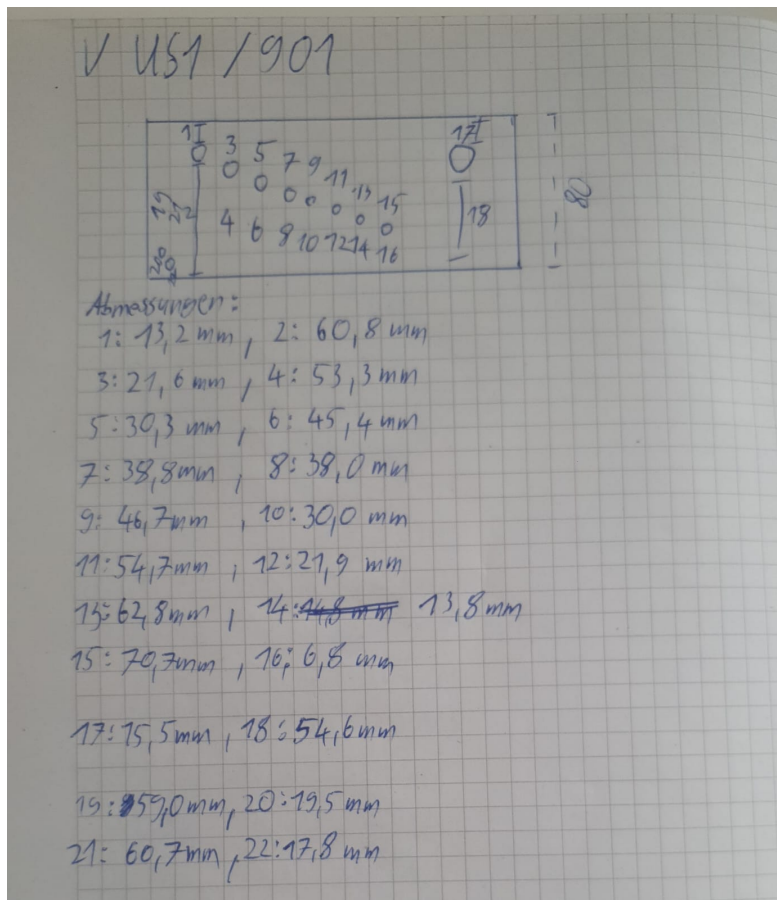


Abbildung 7: Original Daten der Störstellen Vermessung (1/2).

Impulszeiten:		Tisch: 59,1 \rightarrow 0,029V
1: 10,75 $\cdot 10^6$	\rightarrow 0,308V	2: 45,3 \rightarrow 0,034V
3: 16,8	\rightarrow 0,135V	4: 39,8 \rightarrow 0,043V
5: 23,2	\rightarrow 0,126V	6: 34,3 \rightarrow 0,032V
7: 29,4	\rightarrow 0,074V	8: 28,9 \rightarrow 0,069V
9: 35,2	\rightarrow 0,057V	10: 22,9 \rightarrow 0,11V
11: 41	\rightarrow 0,042V	12: 17,1 \rightarrow 0,135V
13: 46,8	\rightarrow 0,026V	14: 11,2 \rightarrow 0,222V
15:		16: 5,4 \rightarrow 0,3V
17: 12,4	\rightarrow 0,365V	18: 40,8 \rightarrow 0,32V 0,033V
19: 44	\rightarrow 0,0022V	20: 15,1 \rightarrow 0,124V
21: 45,4	\rightarrow 0,0024V	22: 17,9 \rightarrow 0,135V

Abbildung 8: Original Daten der Störstellen Vermessung (2/2).

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] *Literaturwert der Schallgeschwindigkeit in Acryl*. 2020. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/>.
- [5] 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/>.
- [6] *Versuchsanleitung zu Versuch US1: „Grundlagen der Ultraschalltechnik“*. Fakultät Physik, TU Dortmund. 2021.