

US1

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Leander Flottau
leander.flottau@tu-dortmund.de

Jan Gaschina
jan.gaschina@tu-dortmund.de

Durchführung: 20.04.2021

Abgabe: 27.04.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	4
3.1	Versuchsaufbau	4
3.2	Versuchsdurchführung	4
4	Auswertung	5
4.1	Bestimmung der Schallgeschwindigkeit	6
4.2	Bestimmung der Positionen der Fehlstellen	6
4.3	Vermessung eines Augenmodells	8
5	Diskussion	8
6	Literatur	10
7	Anhang	10

1 Zielsetzung

Bei dem im Folgenden protokollierten Versuch wurde mithilfe von Ultraschall die Tiefe mehrerer Fehlstellen eines Probekörpers bestimmt. Anschließend wurde durch das gleiche Verfahren ein Augenmodell vermessen.

2 Theorie

Schallwellen werden anhand ihres Frequenzbereiches kategorisiert. Menschen hören in einem Bereich zwischen 16Hz und 20kHz. Frequenzen oberhalb dieses Grenzwertes bis zu ca. 1GHz werden als Ultraschall bezeichnet, während bei dem Frequenzbereich unterhalb der menschlichen Hörschwelle von Infraschall gesprochen wird. Schallwellen mit einer Frequenz größer als 1GHz nennt man Hyperschall. Schallwellen bewegen sich mithilfe von Druckschwankungen fort, welche sich, in Flüssigkeiten und Gasen, durch eine longitudinale Welle der Form

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

beschreiben lässt. Hierbei ist $Z = c\rho$ die akustische Impedanz des Mediums, in dem sich die Welle fortbewegt. Sie setzt sich aus der Dichte des Materials sowie der Schallgeschwindigkeit im Material zusammen. Letztere ist bei Schallwellen materialabhängig, da diese auf Schwankungen der Materialdichte basieren. Von diesem Unterschied abgesehen verhalten sich Schallwellen im Bezug auf Reflexions- und Brechungsphänomene ähnlich wie elektromagnetische Wellen. In Gasen und Flüssigkeiten hängt die Schallgeschwindigkeit von der Dichte und der Kompressibilität κ ab

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

In Festkörpern bildet Schall zusätzlich zu der longitudinalen eine transversale Welle aus, deren Geschwindigkeit sich von der longitudinalen unterscheidet. Allgemein besitzt die Geschwindigkeit im Festkörper die Form

$$c_F = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3)$$

mit dem Elastizitätsmodul E

Bei dem Übergang einer Schallwelle zwischen zwei Medien unterschiedlicher Impedanz wird ein Teil der Welle reflektiert. Der Reflexionskoeffizient R beschreibt das Verhältnis von einfallender und reflektierter Intensität und lässt sich aus den Impedanzen gemäß

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2}\right)^2 \quad (4)$$

berechnen, woraus sich auch der transmittierte Anteil $T = 1 - R$ berechnen lässt. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass Schallwellen während der Propagation Energie durch Absorption verlieren. Daher nimmt die Schallintensität exponentiell mit der zurückgelegten

Strecke ab

$$I(t) = I_0 e^{-\alpha t} \quad (5)$$

mit einem materialspezifischen Absorptionskoeffizienten α .

Bei der Erzeugung von Ultraschall bedient man sich dem piezoelektrischen Effekt. Wenn ein piezoelektrischer Kristall wie beispielsweise Quarz entlang einer polaren Achse in einem elektrischen Wechselfeld platziert wird, kann er zu Schwingungen angeregt werden, welche zur Emission von Ultraschallwellen führen. Dieser Effekt ist besonders groß, wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Kristalls übereinstimmt. Umgekehrt kann ein solcher Kristall auch als Empfänger verwendet werden, der eingehende Ultraschallwellen registriert, da er von diesen ebenfalls zu Schwingungen angeregt wird.

Es existieren im wesentlichen zwei Verfahren zur Untersuchung von Werkstoffen mittels Ultraschall. Zum einen das Durchschallungsverfahren, bei dem ein Ultraschallimpuls durch die Probe geschickt und am anderen Ende registriert wird. Falls der Impuls eine Fehlstelle passiert hat, lässt sich dies an der Verringerung der Intensität infolge der Reflektion eines Teils der Welle registrieren.

Bei dem Impuls-Echo-Verfahren wird die Ultraschallsonde gleichzeitig als Sender und Empfänger verwendet. Falls es zu einer Reflexion an einer Fehlstelle kommt wird das Echo, also der reflektierte Anteil der Welle, am Empfänger gemessen. Da die Zeit zwischen Aussenden des Impulses und Empfangen des Echos gemessen wird, kann diese Methode im Gegensatz zur Durchschallungs-Methode auch Aufschluss über die Tiefe der Fehlstelle geben. Diese lässt sich aus der Formel

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

berechnen.

3 Durchführung

3.1 Versuchsaufbau

Der Versuch wurde mit der Apparatur aus der Abbildung durchgeführt. Es wurde ein Echoskop mit einer 2MHz Ultraschallsonde für das Impuls-Echo-Verfahren verwendet. Die Datenaufnahme erfolgte auf einem Computer mithilfe des Programmes A-Scan. Die Ausmessung des Probenkörpers erfolgte mithilfe einer Schieblehre. Als Kontaktmittel wurden bidestilliertes Wasser sowie Kontaktgel verwendet.

3.2 Versuchsdurchführung

Zunächst wurden die Gesamtmaße sowie Tiefe und Durchmesser der Fehlstellen (Löcher) des quaderförmigen Probekörpers mit einer Schieblehre bestimmt. Anschließend wurde der Probekörper mit der 2MHz Sonde unter Anwendung des Impuls-Echo-Verfahrens untersucht, wobei die den Fehlstellen zugehörigen Laufzeiten t des Signals, sowie der Spannungswert der entsprechenden Amplitude gemessen wurden. Beide lassen sich einfach mithilfe der Cursor aus dem A-Scan Bild ablesen. Anschließend wurde das Augenmodell,

ebenfalls mit der 2MHz Sonde unter Anwendung des Impuls-Echo-Verfahrens, vermessen, um in diesem die Retina zu lokalisieren.

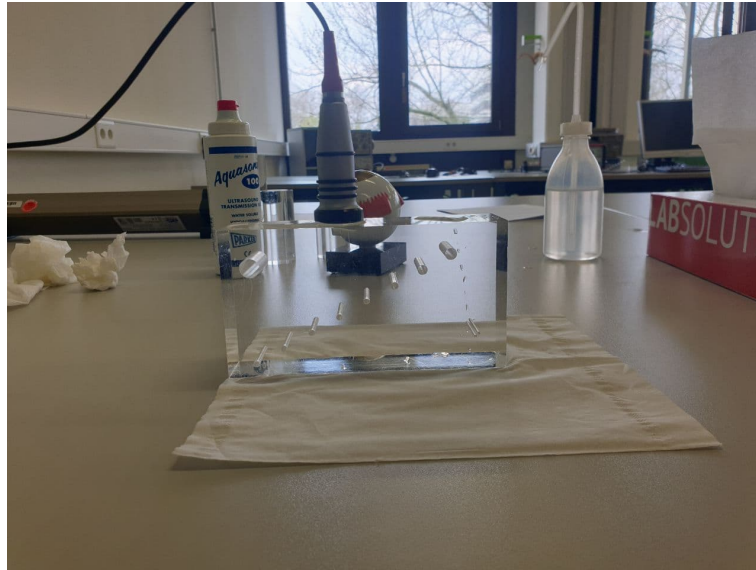


Abbildung 1: Acrylglasblock mit 2-MHz Ultraschall-Sender/Empfänger



Abbildung 2: Gesamter Versuchsaufbau mit Ultraschallerzeuger. Ultraschall-Sender/-Empfänger, Acrylglasblock und Augenmodell

4 Auswertung

In den Unterkapiteln dieses Abschnittes sollen die gemessenen Werte ausgewertet werden.

4.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit

Um die Schallgeschwindigkeit im Acrylblock zu bestimmen wurde die Laufzeit des Impulses, im Impuls-Echo- Verfahren, zwischen Oberseite des Acrylblocks und der darunter liegenden Tischplatte bestimmt. Dazu wurde von beiden Seiten gemessen und die Schallgeschwindigkeit nach folgender Vorschrift berechnet:

$$c_{Acryl} = \frac{H}{t_1} + \frac{H}{t_2}$$

Mit H der mittels eines Messschiebers bestimmten Höhe des Acrylblocks und t_1, t_2 den Laufzeiten des Ultraschallimpulses.

$$\begin{aligned} H &= (79.5 \pm 0.1) \text{ mm} \\ t_1 &= (59.2) \text{ s} \\ t_2 &= (59.2) \text{ s} \\ \Rightarrow c_{Acryl} &= (2685.8 \pm 3.4) \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

4.2 Bestimmung der Positionen der Fehlstellen

Über Gleichung 6 können nun sofort die Positionen der Fehlstellen berechnet werden. In der nachstehenden Tabelle Tabelle 1 sind die berechneten Positionen aufgeführt. Im Diagramm Abbildung 3 ist eine schematische Darstellung des Acrylblocks zu sehen, Die X-Achse bildet dabei die untere Kante des Acrylblocks und die Y-Achse die linke Seite. Die Schwarzen Punkte deuten die Mittelpunkte der Fehlstellen an, während die roten Kreuze die bei der Messung von oben und die grünen Kreuze auf die bei der Messung von unten entsandenen Messwerte zeigen.

Tabelle 1: Laufzeiten und errechnete Positionen

Fehlstelle Nr	Position [mm]	Laufzeit t_1 [μs]	Position [mm]	Laufzeit t_2 [μs]
1	18.801±0.024	14.0	60.830±0.080	45.3
2	20.412±0.026	15.2	59.220±0.070	44.1
3	60.700±0.080	45.2	14.369±0.018	10.7
4	53.310±0.070	39.7	22.561±0.028	16.8
5	46.060±0.060	34.3	28.201±0.035	21.0
6	38.540±0.050	28.7	39.080±0.050	29.1
7	30.750±0.040	22.9	47.140±0.060	35.1
8	23.098±0.029	17.2	55.060±0.070	41.0
9	15.041±0.019	11.2	62.710±0.080	46.7
10	7.3860±0.009	5.5	verdeckt	verdeckt
11	54.660±0.070	40.7	16.383±0.021	46.7

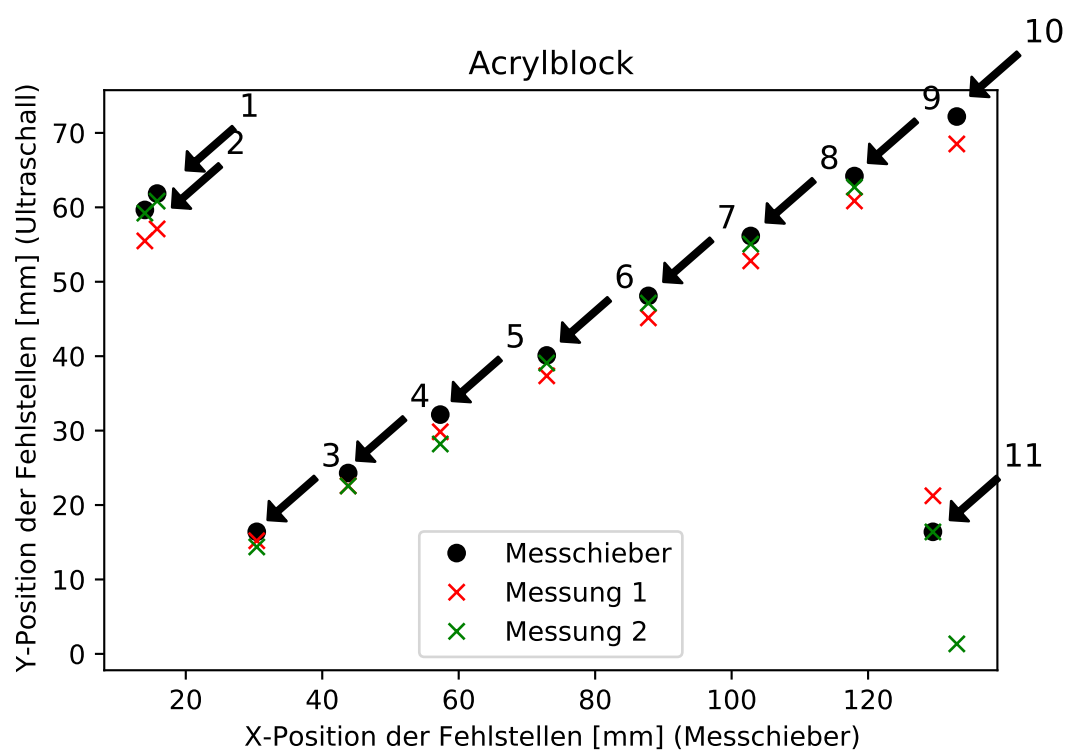


Abbildung 3: Position von Fehlstellen im Acrylblock

4.3 Vermessung eines Augenmodells

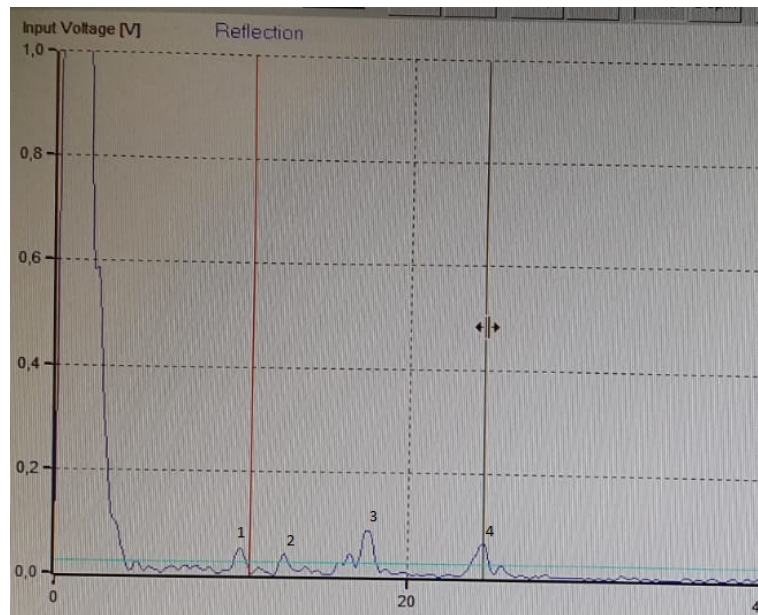


Abbildung 4: U-T-Diagramm eines Augenmodells

In ?? sind vier recht nah beieinander gelegene Peaks zu sehen, dabei handelt es sich sehr wahrscheinlich um:

1. Die Hornhaut
2. Die vordere Augenkammer
3. Die Linse
4. Den Glaskörper

bzw. die jeweilige Grenzfläche zum davor gelegenen Teil. Ein Peak der die Netzhaut repräsentieren würde ist leider nicht zu erkennen oder verschwindet im Untergrund.

5 Diskussion

In diesem Versuch wurde zunächst in Unterabschnitt 4.1 mittels des Impuls-Echo-Verfahrens die Schallgeschwindigkeit in Acrylglas bestimmt, das Ergebnis liegt bei $c_{Acryl} = (2685.8 \pm 3.4) \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und weicht damit vom wahrscheinlichen Theoriewert von $c_{th} = 2760 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ [2] um etwa 2,7% ab. Dieser Theoriewert ist der Wert für das von der Röhm GmbH unter dem Handelsnamen "Plexiglas" vertriebene Acrylglas es ist jedoch möglich das es sich bei dem untersuchten Block um Material eines anderen Herstellers mit eventuell abweichenden Eigenschaften handelt. Allerdings ist eine Abweichung von rund drei Prozent zum Theoriewert auch ein annehmbares Ergebnis. Im nächsten Teil Unterabschnitt 4.2 wurde dann die Position von Fehlstellen im Acrylblock ermittelt. Die Ergebnisse sind zusammen mit den zuvor mit einem Messschieber bestimmten

Theoriewerten und den zugehörigen Abweichungen in den folgenden Tabellen Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt:

Tabelle 2: Errechnete und gemessene Positionen der Fehlstellen

Fehlstelle Nr	Position gem. [mm]	Position US 1 [mm]	Abweichung [%]
1	17.00±0.17	18.801±0.024	10.60±
2	19.20±0.17	20.412±0.026	6.30±
3	60.10±0.17	60.700±0.080	1.00±
4	52.70±0.17	53.310±0.070	1.16±
5	45.40±0.17	46.060±0.060	1.46±
6	37.90±0.17	38.540±0.050	1.70±
7	29.90±0.17	30.750±0.040	2.90±
8	21.85±0.17	23.098±0.029	5.70±
9	13.80±0.17	15.041±0.019	9.00±
10	5.80±0.17	7.3860±0.009	27.00±
11	58.10±0.17	54.660±0.070	5.93±

Tabelle 3: Errechnete und gemessene Positionen der Fehlstellen

Fehlstelle Nr	Position gem. 2 [mm]	Position US 2 [mm]	Abweichung [%]
1	61.20±0.1	60.830±0.080	0.60±0.20
2	59.00±0.1	59.220±0.070	0.38±0.21
3	13.40±0.1	14.369±0.018	7.20±0.80
4	21.80±0.1	22.561±0.028	3.50±0.50
5	30.20±0.1	28.201±0.035	6.62±0.33
6	38.60±0.1	39.080±0.050	1.24±0.29
7	46.60±0.1	47.140±0.060	1.15±0.25
8	54.65±0.1	55.060±0.070	0.75±0.22
9	62.70±0.1	62.710±0.080	0.02±0.20
10	70.70±0.1	verdeckt	verdeckt
11	11.40±0.1	16.383±0.021	43.70±1.30

Bei der zweiten Messung welche von der Unterseite des Blocks stattgefunden hat, konnte die Position der Fehlstelle Nr.10 nicht ermittelt werden da diese von der weit größeren Fehlstelle Nr. 11 verdeckt wurde. Auffällig sind die sehr großen prozentualen Abweichungen bei Messung 1, Fehlstelle Nr. 10 und Messung 2, Fehlstelle Nr. 11, mit 27% und 43,7%, diese könnten durch den großen Durchmesser von Fehlstelle Nr.11 oder durch die Tatsache das die beiden Fehlstellen direkt übereinander liegen entsanden sein.

Als letztes wurde in Unterabschnitt 4.3 versucht ein Augenmodell mit dem Impuls-Echo-Verfahren zu vermessen. Hier war es jedoch kaum möglich zu belastbaren Ergebnissen zu gelangen, da es sich um ein recht altes leicht beschädigtes Modell handelte, dieses wies

bereits Risse in der Hornhaut auf und war zu Dicht, im bezug auf Ultraschallwellen, um ein Messbares Echo des Untergrundes zuzulassen sodass über die Position des Netzhaut Peaks nur gemutmast werden kann. Am Ende kann gesagt werden das zumindest der erste Versuchsteil aufschlussreiche und recht genaue Ergebnisse mit Abweichungen von nur wenigen Prozent gebracht hat.

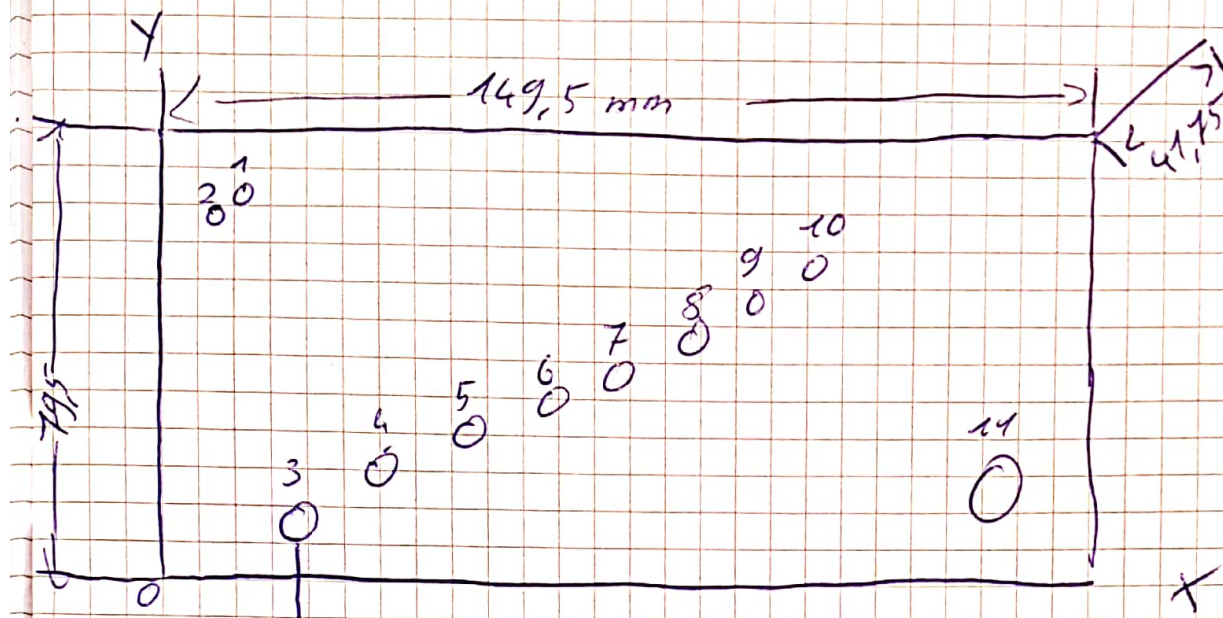
6 Literatur

1. TU Dortmund, Versuch US1 Grundlagen der Ultraschalltechnik
2. Elcometer Instruments GmbH, Geschwindigkeitstabelle für vordefinierte Materialien Abgerufen 25.04.2021 von <https://www.xn-ultraschallprfung-f3b.com/schallgeschwindigkeiten/>

7 Anhang

Auf der nächsten Seite finden sich die Originalmesswerte.

Grundlagen Ultraschall UST 20.09.21



				Bodent	
X	Y	Ø	$t_1 [\mu s]$	U [V]	$t_2 [\mu s]$ U [V]
1 15,8	67,2	1,3	14	0,115	45,3 0,028
2 19,0	59	1,3	15,2	0,129	44,1 0,02
3 30,4	13,4	6	45,2	0,036	10,7 0,317
4 43,8	27,8	4/5	39,7	0,017	16,8 0,202
5 57,3	30,2	7,9	34,3	0,073	21,0 0,092
6 72,9	38,6	3	28,7	0,036	29,1 0,039
7 87,8	46,6	3	22,9	0,056	35,1 0,059
8 102,8	54,65	3	17,2	0,129	41,0 0,045
9 118,0	62,7	3	11,2	0,185	46,7 0,025
10 133,0	70,7	3	5,5	0,314	Wird verdeckt durch 4-7
11 129,5	11,4	10	40,7	0,031	12,2 0,378
		(Boden)	59,2	0,031	59,2 0,025

P.h.