

US1

# **Grundlagen der Ultraschalltechnik**

Tahir Kamcili  
tahir.kamcili@udo.edu

Marina Andreß  
marina.andress@udo.edu

Durchführung: 29.06.2021

Abgabe: 06.07.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>3</b>
1.1	Absorbtions und Reflektion . . . . .	3
1.2	Erzeugen von Ultraschall . . . . .	4
<b>2</b>	<b>Durchführung</b>	<b>4</b>
2.1	Acrylblock . . . . .	4
2.2	Auge . . . . .	4
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1	Der Acrylquader . . . . .	5
3.2	Das Augenmodell . . . . .	8
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>8</b>
	<b>Literatur</b>	<b>9</b>

## Zielsetzung

In diesem Versuch soll die Prinzipielle Funktionsweise eines Ultraschallgeräts untersucht und verstanden werden, sowie die Schallgeschwindigkeit in Acryl bestimmt werden.

## 1 Theorie

Im allgemeinen lässt sich die Frequenz mit der sich der Schall ausbreitet in 4 unterscheidliche Kategorien unterteilen. Im Bereich von  $f < 16 \text{ Hz}$  ist die Schallwelle als Infraschall, im Bereich von  $16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$  als hörbarer Schall, im Bereich von  $20 \text{ kHz} < f < 1 \text{ GHz}$  als Ultraschall und alles mit  $f > 1 \text{ GHz}$  als Hyperschall klassifizieren.

Im allgemeinen lassen sich longitudinal ausbreitende Wellen, wie Schallwellen in Luft, beschreiben durch die Form

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

beschreiben, denn diese Wellen sind lediglich Druckschankungen in der Luft. Schallwellen breiten sich in Festkörpern jedoch nicht nur longitudinal, sondern auch transversal. (Es entstehen somit keine Druck unterschiede, sondern Schubspannungen). Dementsprechend ist die Phasengeschwindigkeit druck-, dichte- und somit materialabhängig. Die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten lässt sich beschreiben durch

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

und in Festkörpern durch

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

, wobei  $\kappa$  die Kompressibilität und  $E = \frac{1}{\kappa}$  Elastizitätsmodul beschreibt.

### 1.1 Absorbtions und Reflektion

Schallwellen werden an Grenzflächen zwischen Festkörpern und Gasen oder Festkörpern zum einen Teil reflektiert und transmetiert. Der Reflektionskoeffizient ist im allgemeinen gegeben durch

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

wobei  $Z = \rho \cdot c$  für die akustische Impedanz der beiden Stoffe steht. Damit lässt sich der Transmissionskoeffizient bestimmen zu

$$T = 1 - R. \quad (5)$$

Durch die Ausbreitung der Welle im Medium wird ein Teil dieser absorbiert. Dies kann durch die Intensität

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (6)$$

wobei  $x$  die Strecke der Welle und  $\alpha$  der Absorptionskoeffizienten ist.

## 1.2 Erzeugen von Ultraschall

Ultraschall wird in der Regel mithilfe eines piezoelektrischer Kristalles erzeugt. Dazu wird dieser in ein oszillierendes elektrisches Wechselfeld gebracht, wodurch dieser zur Schwingung angeregt wird. Bei der Anregung mit ungefähr der Eigenfrequenz sind sehr große Amplituden möglich. Es ist zudem möglich den piezoelektrischen Kristall als einen Empfänger zu nutzen.

## 2 Durchführung

Die Messungen werden mit Hilfe eines Ultraschallechoscops, einer Ultraschallsonde und einem Computer durchgeführt. Mithilfe des Computers können die Peaks der Spannung in Abhängigkeit der Zeit aufgezeichnet werden. Das verwendete Verfahren ist das Impuls-Echo-Verfahren.

### 2.1 Acrylblock

Zunächst wird ein Acrylblock mit unterschiedlichen Bohrungen auf unterschiedlichen Höhen untersucht. Dazu wird dieser zunächst mittels einer Schiebelehre ausgemessen, inklusive der Höhe und Dicke der Bohrungen im Block.

Es wird ein Kontaktmittel zwischen dem Block und der Sonde verwendet, da die Luft ein sehr guter Absorber ist. Der Acrylblock ist in ?? dargestellt.

### 2.2 Auge

Es wird ebenfalls ein Phantomauge mit der Ultraschallsonde untersucht. Ebenfalls wie zuvor wird Kontaktgel verwendet. Das Bild, welches am Computer generiert wird, wird gespeichert und die Peaks in Abschnitt 3 ausgewertet.

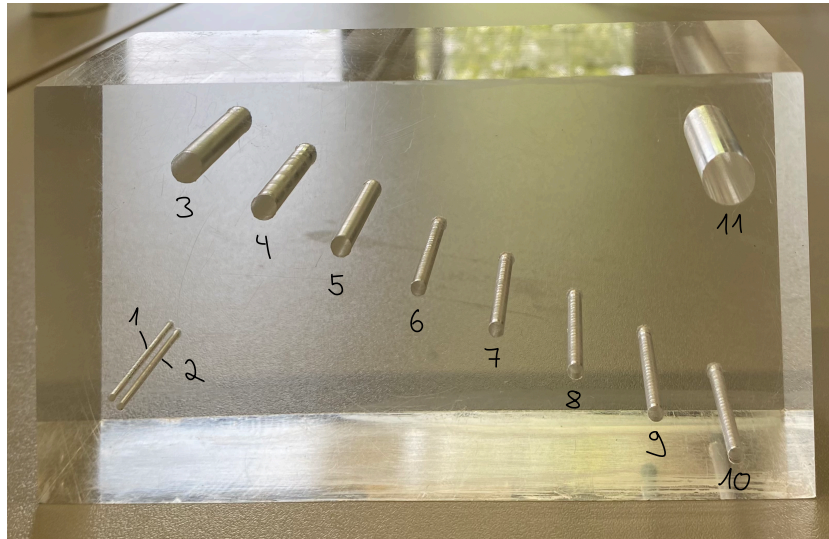


Abbildung 1: Acrylblock.

### 3 Auswertung

#### 3.1 Der Acrylquader

Die aufgenommenen Daten des Acrylquaders befinden sich in Tabelle 1.

Tabelle 1: Messwerte des Acrylquaders.

Nr.	$d / \text{mm}$	$t / \mu\text{s}$	$I / \text{V}$
1	59.60	44.4	0.22
2	61.21	44.7	0.23
3	13.49	10.5	1.27
4	21.60	16.7	1.13
5	30.10	22.7	0.85
6	38.80	29.3	0.54
7	46.80	35.2	0.43
8	54.70	40.8	0.25
9	62.70	46.7	0.24
10	70.90		
11	15.80	12.0	1.23

Dabei ist anzumerken, dass Störung Nr. 10 mit dem Impuls-Echo-Verfahren (IEV) nicht zu erreichen ist, da die Schallwellen bereits an Störung Nr. 11 reflektiert werden.

#### Vermessung mit dem IEV

Die mit der Schiebelehre gemessenen Abstände werden nun mit dem IEV überprüft.

Dabei wird eine Schallgeschwindigkeit in Acryl von  $c_{lit} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  angenommen. Die Abstände werden mit dem Zusammenhang

$$s = \frac{1}{2} \cdot ct \quad (7)$$

bestimmt und sind in Tabelle 2 aufgeführt.

**Tabelle 2:** Gemessene Tiefen der Störungen mit dem IEV.

Nr.	$d_{IEV}/\text{mm}$
1	60.61
2	61.02
3	14.33
4	22.80
5	30.99
6	40.00
7	48.05
8	55.70
9	63.75
10	
11	16.34

### Schallgeschwindigkeit

Die Schallgeschwindigkeit in Acryl kann mit Formel (7) bestimmt werden. Dazu werden die Messwerte aus Tabelle 1 verwendet. Wird der doppelte Abstand  $d$ , die Strecke die der Ultraschall tatsächlich zurücklegt, gegen die Zeit  $t$  geplottet die er dafür benötigt, ist die Steigung der Ausgleichsgeraden die Schallgeschwindigkeit.

Mittels Python kann die Ausgleichsgerade mit der aus numpy [6] importierten Funktion polyfit bestimmt werden. Diese ist in Abbildung 2 dargestellt.

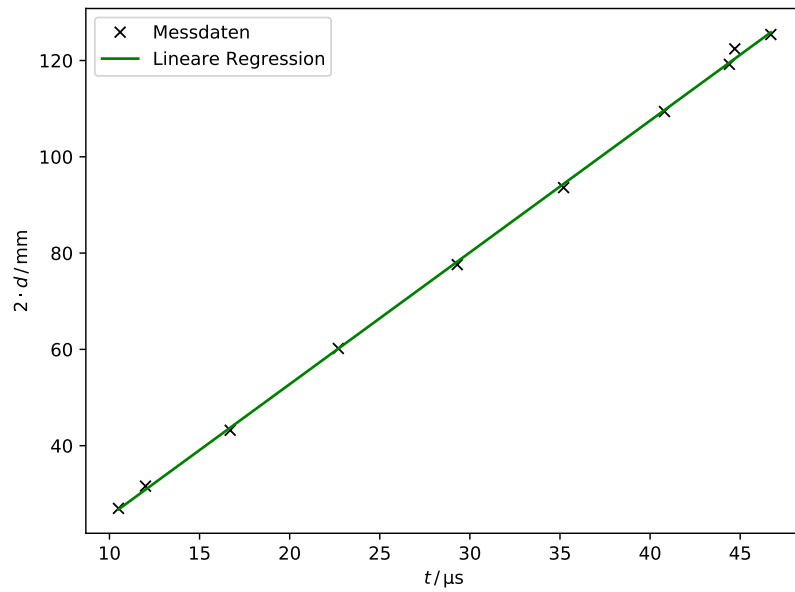
Die Ausgleichsgerade hat dabei die Funktionsvorschrift:

$$2 \cdot d(t) = 2.7372 \frac{\text{mm}}{\mu\text{s}} \cdot t$$

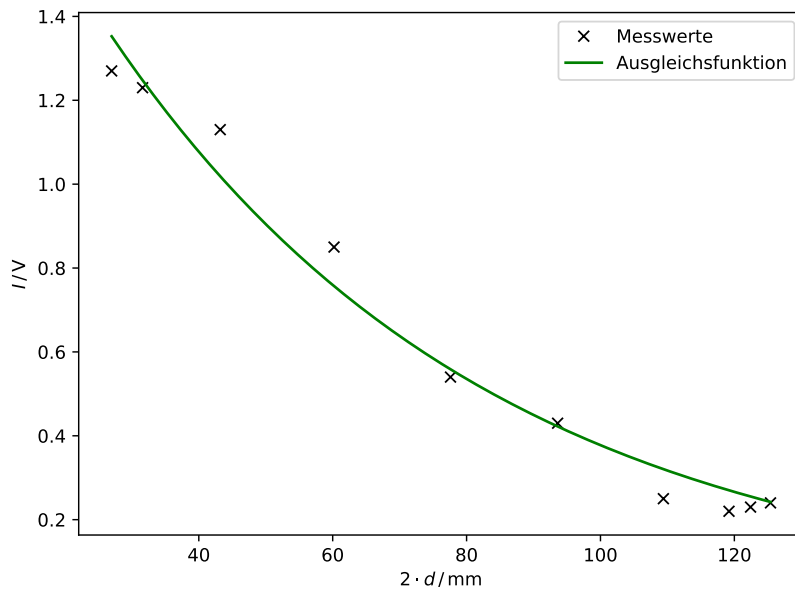
$$\Rightarrow c_{Acryl} = 2732.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### Dämpfungskonstante

Die Dämpfungskonstante  $\alpha$  aus Formel (6) lässt sich bestimmen, indem die Messwerte für  $I$  und  $d$  aus Tabelle 1 an eine Exponentialfunktion gefittet werden. Mit Python kann eine e-Funktion mit passenden Parametern mit der aus scipy [2] importierten Funktion curvefit bestimmt werden.



**Abbildung 2:** Ausgleichsgerade zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit (Quelle:[7]).



**Abbildung 3:** Ausgleichsfunktion zur Bestimmung der Dämpfungskonstante (Quelle:[7]).

Die in Abbildung 3 dargestellt Ausgleichsfunktion hat die Funktionsvorschrift:

$$I(d) = 2.167 \text{ V} \cdot e^{-0.0175 \frac{1}{\text{mm}} \cdot 2 \cdot d}$$

$$\Rightarrow \alpha = 17.5 \frac{1}{\text{m}}$$

### 3.2 Das Augenmodell

Bei der Untersuchung des Augenmodells wurden 3 Peaks aufgenommen. Der erste und zweite Peak entstehen beim eintreffen und ausfallen der Linse, der dritte durch Reflexion an der Retina. Unter Berücksichtigung der Schallgeschwindigkeit in der Linse ( $c_L = 2500 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) und in der Glaskörperflüssigkeit ( $c_{GK} = 1410 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ ) kann aus der Laufzeit mit (7) die Strecke berechnet werden. In Tabelle 3 befinden sich die Messwerte und die daraus resultierenden Maße des Auges.

**Tabelle 3:** Messwerte und Maße des Augenmodells.

	$t / \mu\text{s}$	Schallgeschwindigkeit	$d / \text{mm}$
Hornhaut-Linsenvorderseite	11.6	$c_{GK}$	8.178
Linsenvorderseite-Rückseite	5.7	$c_L$	7.125
Linsenrückseite-Retina	8.2	$c_{GK}$	5.781

## 4 Diskussion

Zuerst werden die Positionen der Störstellen die mit dem IEV bestimmt wurden (Tabelle 1) mit den mit der Schiebelehre aufgenommenen Messwerten (Tabelle 2) verglichen. In Tabelle 4 befinden sich die relativen Abweichungen der Positionen der einzelnen Störstellen.

Ein Nachteil am IEV ist demnach, dass Störstellen von anderen Störstellen verdeckt werden können und so unbemerkt bleiben. Im Allgemeinen treten jedoch nur kleine Abweichungen auf, die im Rahmen der Messungenauigkeiten liegen. Daher kann die Vermessung der Störstellen durch das IEV als erfolgreich angesehen werden.

Wird die ermittelte Schallgeschwindigkeit  $c_{Acryl} = 2732.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  mit dem Literaturwert  $c_{lit} = 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  verglichen, ergibt sich eine relative Abweichung von  $\Delta_{rel} c_{Acryl} = 0.3\%$ . Somit konnte die Schallgeschwindigkeit in Acryl mit großer Genauigkeit experimentell bestimmt werden. Dabei ist zu erwähnen dass sich die Literaturangaben unterschiedlicher Quellen leicht voneinander unterscheiden.

Zur Dämpfungskonstante  $\alpha$  und zum Augenmodell liegen keine Literatur- oder Referenzwerte vor, weswegen der Teil des Versuchs nicht diskutierbar ist.



**Tabelle 4:** Relative Abweichungen der Störungsvermessung.

Nr.	$\Delta_{rel}d / \%$
1	1.7
2	0.3
3	6.2
4	5.5
5	2.9
6	3.1
7	2.7
8	1.8
9	1.7
10	
11	3.7

## 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 für die Schallgeschwindigkeit in Acrylglas*. 2021. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gauge/appendices-velocities/> (besucht am 06.07.2021).
- [5] *Literaturwert für spezifische Wärmekapazität von Wasser*. 2020. URL: [https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische\\_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html](https://www.chemie.de/lexikon/Spezifische_W%C3%A4rmekapazit%C3%A4t.html) (besucht am 01.11.2020).
- [6] 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/>.
- [7] *Versuchsanleitung zu Versuch US1 Grundlagen der Ultraschalltechnik*. Fakultät Phyik, TU Dortmund. 2021.