

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Versuch US1

Marcel Kebekus
marcel.kebekus@tu-dortmund.de

Konstantin Mrozik
konstantin.mrozik@tu-dortmund.de

Abgabe: 7. Juli 2020

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
2.1	Erzeugung von Ultraschall	4
2.2	Nutzen von Ultraschall	4
2.2.1	Durchschallungsverfahren	4
2.2.2	Impuls-Echo-Verfahren	5
3	Durchführung	6
3.1	Vorbereitung	6
3.2	Verwendung Impuls-Echo-Verfahren	6
3.3	Verwendung Durchschallungs-Verfahren	6
3.4	Biometrische Untersuchung eines Augenmodells	6
4	Auswertung	7
4.1	Dämpfung	7
4.2	Schallgeschwindigkeitsbestimmung	7
4.3	Biometrische Untersuchung eines Augenmodells	9
5	Diskussion	10
	Literatur	11

1 Ziel

In diesem Versuch sollen die Grundlagen der Ultraschalltechnik mitsamt den wichtigen Begriffen und den physikalischen Eigenschaften kennengelernt werden.

2 Theorie

Der Ultraschallbereich ist der Bereich von Schallwellen mit einer Frequenz von über 20 kHz bis 1 GHz, Schallwellen mit höherer Frequenz werden Hyperschall genannt und der Bereich unterhalb des Ultraschalls (von ca. 16 Hz bis 20 kHz) liegt der Bereich des menschlichen Hörens. Unterhalb des menschlich hörbaren Frequenzbereichs wird alles Infraschall genannt. Schall wird in der Physik als Longitudinalwelle beschrieben (1), dabei verhält sich Schall ähnlich wie andere EM-Wellen und besitzt beispielsweise Reflexions- und Absorptionseigenschaften. Allerdings ist bei Schallwellen die Geschwindigkeit der Welle materialabhängig.

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

Die in dieser Formel auftauchende akustische Impedanz $Z = c \cdot \rho$ hängt vom Material ab, in dem sich die Welle ausbreitet, denn ρ ist dabei als die Dichte des Materials und c als die Schallgeschwindigkeit im Material gegeben. Für Flüssigkeiten ist es nicht sehr kompliziert die Schallgeschwindigkeit zu berechnen, sie ergibt sich als c_{Fl} .

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

Bei einem Festkörper tauchen größere Probleme auf wenn die Schallgeschwindigkeit berechnet werden soll, da durch innere Schubspannungen des Materials neben den Longitudinalwellen auch Transversalwellen auftreten.

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

Da durch das Elastizitätsmodul E eine richtungsabhängige Größe in der Formel auftaucht ist auch die Schallgeschwindigkeit richtungsabhängig und hat somit unterschiedliche Werte für einen transversalen Anteil und einen longitudinalen Anteil. Wie zu Beginn schon angesprochen haben Schallwellen Eigenschaften die oft denen von EM-Wellen ähnlich sind. So werden Schallwellen wenn sie ein Material durchdringen schwächer, dies wird durch das Absorptionsgesetz (2) beschrieben.

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

Mit dem materialabhängigen Absorptionskoeffizienten α und der Eindringtiefe x . Für Luft ist der Absorptionskoeffizient sehr hoch und Schall wird dementsprechend stark absorbiert, daher wird in der Praxis ein Kontaktmittel zwischen der Probe und dem

Messgerät eingesetzt um die Intensität nicht zu stark zu schwächen. Außerdem findet bei Schallwellen an Grenzflächen auch Reflexion statt. Der Reflexionskoeffizient R ergibt sich dabei aus den akustischen Impedanzen Z_1 und Z_2 der Grenzmaterialien.

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

Und der Transmittierte Anteil ist damit offensichtlich $T = 1 - R$.

2.1 Erzeugung von Ultraschall

Um Ultraschall zu erzeugen wird der reziproke piezo elektrische Effekt genutzt. Wenn ein piezoelektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld gebracht wird er zu Schwingungen angeregt, wenn die polare Achse des Kristalls in E-Feld Richtung zeigt. Wenn der Kristall nun schwingt, strahlt er Ultraschallwellen ab, wobei die Amplituden und die Schallenergiedichte maximal werden, wenn die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Kristalls entspricht. Der gleiche Prozess lässt sich in umgekehrter Reihenfolge auch nutzen um Ultraschall zu detektieren. Für den Aufbau werden oft Quarzkristalle aufgrund ihrer zuverlässigen und konstanten physikalischen Eigenschaften genutzt, allerdings haben diese nur einen schwachen piezo-elektrischen Effekt.

2.2 Nutzen von Ultraschall

Ultraschall wird besonders häufig in der Medizin genutzt und mithilfe des Ultraschalls sollen Informationen über den durchstrahlten Körper erhalten werden. Um einen Körper zu untersuchen wird meist eine von 2 häufig benutzten Methoden genutzt.

2.2.1 Durchschallungsverfahren

Beim Durchschallungsverfahren befindet sich der untersuchte Körper zwischen Sender und Empfänger. Wenn sich nun verschiedene Materialien im Körper befinden werden diese Verschieden gut durchstrahlt und es lässt sich anhand der Intensität feststellen ob sich Fehlstellen im Körper befinden. Mit der Durchschallmethode lässt sich allerdings nicht feststellen wie tief im Körper die Fehlstelle liegt.

Durchschallungs–Verfahren

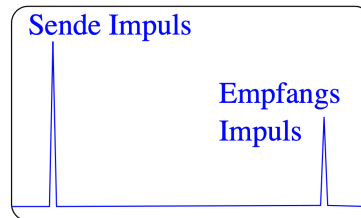
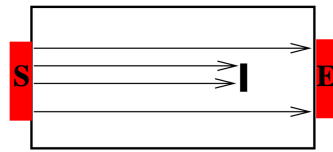


Abbildung 1: Bild Durchschallverfahren

2.2.2 Impuls-Echo-Verfahren

Beim Impuls-Echo-Verfahren befinden sich Sender und Empfänger beide auf der gleichen Seite der Probe und über die Laufzeit lässt sich somit auch die Lage der Fehlstelle bestimmen.

$$s = \frac{1}{2}ct$$

Impuls–Echo–Verfahren

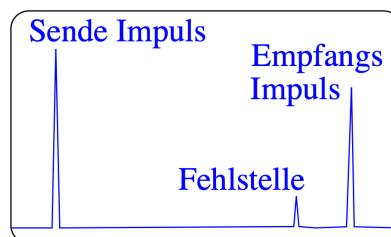
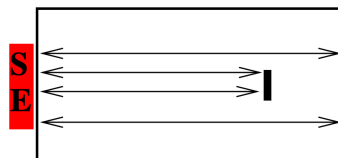


Abbildung 2: Bild Impuls-Echo-verfahren

3 Durchführung

3.1 Vorbereitung

Vermessen werden drei Acrylzyylinder mit verschiedenen Längen. Genutzt wird dabei das Impuls- Echo-Verfahren und das Durchschall-Verfahren.

Zunächst werden die Längen der Zylinder mithilfe der Schieblehre vermessen.

3.2 Verwendung Impuls-Echo-Verfahren

Verwendet wird eine 2Mhz-Sonde die als Sender und Empfänger fungiert. Die Acrylzyylinder werden auf ein Papiertuch gestellt, um Beschädigungen zu vermeiden. Anschließend wird die Sonde mit bidestilliertem Wasser an den Zylinder gekoppelt.

Über die Abschwächung der Intensität des reflektierten Puls, kann auf den Absorptionskoeffizienten bzw. die Dämpfung zurückgeschlossen werden.

Anschließend kann über den A-Scan die Laufzeit des Echos ermittelt werden. Daraus folgert sich die Schallgeschwindigkeit im Acryl. Über eine Ausgleichsgerade kann der systematische Fehler der aufgrund der Anpassungsschicht der Sonde verursacht wird, zurückgeschlossen werden.

3.3 Verwendung Durchschallungs-Verfahren

Die Acrylzyylinder werden nun horizontal in eine schwarze Halterungen gespannt und die 2Mhz-Sonde mit Koppelgel an die Stirnseite gekoppelt.

Über einen A-Scan kann nun die Laufzeit bestimmt werden und daraus die Schallgeschwindigkeit berechnet werden.

3.4 Biometrische Untersuchung eines Augenmodells

Die 2Mhz-Sonde wird mit Koppelgel an die Hornhaut des Augenmodells gekoppelt. Aus dem A-Scan kann nun über das Echo der Grenzflächen von Iris und Retina die Laufzeit und somit die Abmessungen des Auges berechnet werden.

4 Auswertung

4.1 Dämpfung

Nach Gl. 2 beschreibt α den Absorptionskoeffizienten, und somit die Dämpfung der Intensität. Für das Impuls-Echo-Verfahren ergibt sich für eine Länge L eines Zylinders

$$I(2L) = I_0 e^{-\alpha 2L}, \quad (3)$$

mit

$$\alpha = -\frac{1}{2L} \ln \left(\frac{I(2L)}{I_0} \right). \quad (4)$$

	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
Länge L [cm]	30	40.04	120.04
$I(2L)$ [V]	1.33	0.7	0.11
I_0 [V]	1.33	1.35	1.34
t [μs]	30	59.8	88.9
α [cm^{-1}]	0	0.004	0.01

Tabelle 1

4.2 Schallgeschwindigkeitsbestimmung

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit der Anpassungsschicht der Sonde kann mithilfe der Laufzeit t (siehe Tab. 1) erzielt werden.

	Echo-Verfahren		Duchsall-Verfahren
	$t / \mu s$	$\frac{t}{2} / \mu s$	$t / \mu s$
kleiner Zylinder	30	15	16.4
mittlere Zylinder	59.8	29.9	31.3
großer Zylinder	88.9	44.45	45.1

Tabelle 2: Darstellung der Laufzeiten t mit den 2. verschiedenen Verfahren.

Dafür wird die Laufzeit (hier nun $\frac{t}{2}$) gegen die Länge L der Zylinder aufgetragen.

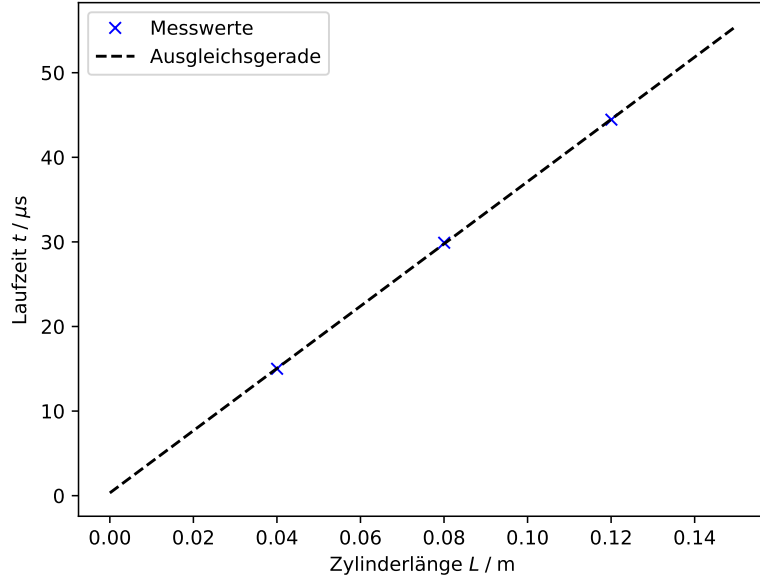


Abbildung 3: Aufgetragen sind die Messwerte des Echo-Verfahren und eine lineare Ausgleichsgerade.

Über die Ausgleichsgerade, nach

$$t = m \cdot L + n, \quad (5)$$

lässt sich nun der y-Achsenabschnitt n bestimmen. Er spiegelt einen systematischen Fehler wieder, der aus der Dicke der Anpassungsschicht resultiert.

Für die Parameter ergibt sich

$$m = (367.99 \pm 2.6) \frac{\mu s}{cm},$$

$$n = (0.32 \pm 0.23) \mu s.$$

Über die Laufzeitgeschwindigkeit n und die Schallgeschwindigkeit von Wasser $c_{\text{Wasser}} = 343 m/s$ der Anpassungsschicht kann nun mit

$$d = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{wasser}} \cdot n, \quad (6)$$

die Dicke d der Anpassungsschicht mit

$$d = 55.9 \mu m \quad (7)$$

angegeben werden. Für die angepasste Schallgeschwindigkeit in Acryl ergibt über den Kehrwert des Steigungsparameter m die Acrylschallgeschwindigkeit $c_{\text{echo,acryl}}$ mit,

$$c_{\text{echo,acryl}} = (2717 \pm 19) \frac{m}{s} \quad (8)$$

Analoges Vorgehen folgt für die Durchschallungs-Methode.

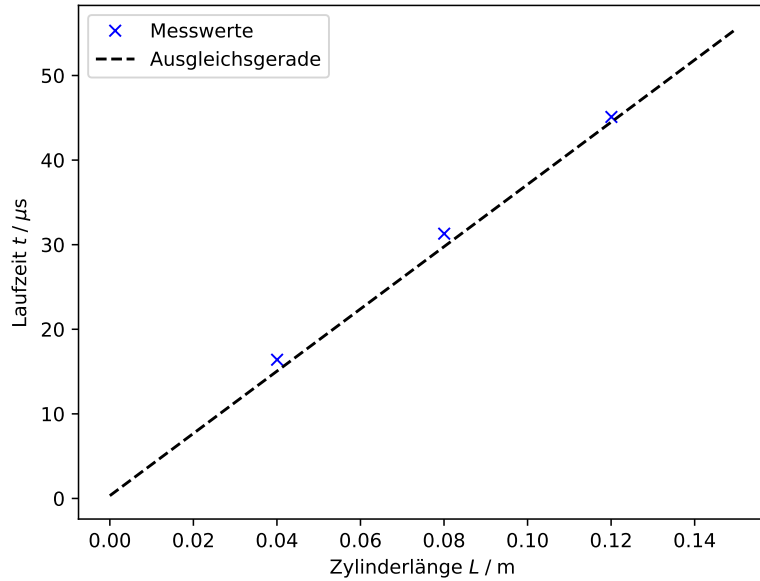


Abbildung 4: Aufgetragen sind die Messwerte des Durchschallungs-Verfahren und eine lineare Ausgleichsgerade.

Für die Regressionsparameter folgt,

$$m = (359 \pm 8) \frac{\mu s}{m},$$

$$n = (2.2 \pm 0.7) \mu s,$$

und somit,

$$c_{\text{durch,acryl}} = (2790 \pm 6) \frac{m}{s}. \quad (9)$$

4.3 Biometrische Untersuchung eines Augenmodells

Aus den vier gemessenen Peaks, kann auf Abmessung des Augenmodells zurückgeschlossen werden. Dabei führt man den ersten Peak auf die Hornhaut, den zweiten Peak auf den Anfang der Linse, den dritten Peak auf das Ende der Linse und den letzten Peak auf die Netzhaut zurück.

Zu beachten sind nun die verschiedenen Schallgeschwindigkeiten.

Für die Abstände ergeben sich folgende Formeln,

$$\begin{aligned}
\text{Hornhaut - Anfang Linse :} & \quad s_1 = \frac{1}{2}c_1t_1, \\
\text{Hornhaut - Ende Linse :} & \quad s_2 = \frac{1}{2}c_2(t_2 - t_1) + s_1, \\
\text{Hornhaut-Netzhaut :} & \quad s_3 = \frac{1}{2}c_2(t_3 - t_2) + s_2,
\end{aligned}$$

mit den jeweiligen Geschwindigkeiten,

$$\begin{aligned}
\text{Kammerflüssigkeit :} & \quad c_1 = 1532m/s, \\
\text{Linsenmaterial :} & \quad c_2 = 2500m/s, \\
\text{Glaskörperflüssigkeit :} & \quad c_3 = 1410m/s
\end{aligned}$$

	Zeit $t / \mu s$	Abstand $s / 10^{-3}m$
Anfang Linse (Iris)	11.5	4.4
Ende Linse	17	7.8
Netzhaut	70.6	26.7

Tabelle 3: Darstellung der Messzeit t mit dem Impuls-Echoverfahren und die daraus resultierenden Abmessungen.

5 Diskussion

Der ermittelte Dämpfungskoeffizient des ersten Zylinders (vgl. Tab. 1) hat keine Aussagekraft. Dem zugrunde liegt bereits eine fehlerhafte Messung. Dies wird dardurch deutlich, dass scheinbar die Signalintensität nicht abnimmt.

Vergleicht man die berechneten Schallgeschwindigkeiten mit der Litaeratur Schallgeschwindigkeit für Acryl [4] von $2730 \frac{m}{s}$ so fällt auf, dass die ermittelte Schallgeschwindigkeit des Echo-Impuls-Verfahrens mit der Toleranz von $\pm 19 \frac{m}{s}$ in dieser Größenordnung liegt. Auch das Durchschallungs-Verfahren weicht lediglich um 2.2% davon ab.

Literatur

- [1] Tu Dortmund. „Versuch US1: Grundlagen der Ultraschalltechnik“. In: ().
- [2] 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/>.
- [3] 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/>.
- [4] *Schallgeschwindigkeiten im Material*. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [5] *Schallgeschwindigkeiten im Material*. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.