



US1

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Pelle Ofenbach
pelle.ofenbach@udo.edu

Robert Appel
robert.appel@udo.edu

Durchführung: 02.05.17

Abgabe: 09.05.17

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel	3
2	Theorie	3
3	Durchführung	3
4	Auswertung	4
4.1	Bestimmung der materialspezifischen Schallgeschwindigkeit	4
4.2	Bestimmung des materialspezifischen Schwächungskoeffizienten	7
4.3	Spektrale Analyse	8
4.4	Biometrische Untersuchung des Augenmodells	9
5	Diskussion	10
5.1	Methoden	10
5.2	Zur Bestimmung der materialspezifischen Schallgeschwindigkeit	10
5.3	Zur Bestimmung des materialspezifischen Schwächungskoeffizienten	10
5.4	Spektrale Analyse	10
5.5	Biometrische Untersuchung des Augenmodells	11
	Literatur	11

1 Ziel

Ziel dieses Versuches ist das Vertrautmachen mit Ultraschallscans und das Bestimmen der Schallgeschwindigkeit in Acryl, sowie das Vermessen einer Augatrappe.

2 Theorie

Ultraschall bezeichnet kurzwelligen Schall von ca. 20 kHz bis etwa 1 GHz, also gerade oberhalb des von Menschen hörbaren Frequenzspektrums. Die Ausbreitung des Ultraschalls ist natürlich durch die Schallgeschwindigkeit des beschallten Mediums bedingt. Zudem nimmt die Intensität I des Schalls natürlich durch eine materialabhängige Dämpfung mit der zurückgelegten Strecke x gemäß des Zusammenhanges

$$I(x) = I_0 \exp -\alpha x \quad (1)$$

ab. Da α in Luft sehr groß ist und die Schallgeschwindigkeit relativ klein, wird ein *Kontaktmittel* verwendet, welches zwischen der Ultraschallsonde und dem zu untersuchenden Material eingesetzt. Die einfachste Anwendung des Ultraschalls ist damit durch das sogenannte *Durchschallungsverfahren* gegeben: Ein Impuls wird auf der einen Seite über eine Sonde in das Material gegeben und auf der anderen Seite durch eine zweite Sonde aufgenommen. Die Zeit t zwischen dem Aussenden und Detektieren des Impulses ist dann durch

$$t = \frac{d}{c} \quad (2)$$

gegeben, wobei c die Schallgeschwindigkeit und d die Materialstärke bezeichnet. Durch eine örtliche Änderung der Intensität des aufgezeichneten Impulses lassen sich auf diese Weise zusätzlich Fehlstellen im Material finden, da auf Grund der Teilreflektion an Grenzflächen an Fehlstellen der Schall stärker gedämpft wird.

Nutzt man die Reflektion des Schalls an Grenzflächen aus, so genügt eine einzige Sonde, welche einen kurzen Schallimpuls sendet und danach den reflektierten Schall wieder detektiert. Dieses Verfahren wird als *Puls-Echo-Verfahren* bezeichnet. Bei diesem Verfahren gilt offensichtlich der Ort-Zeit-Zusammenhang:

$$s = \frac{ct}{2} \quad (3)$$

Da nun alle reflektierten Impulse gemessen werden, lassen sich auf diese Weise auch die Lagen von Fehlstellen im Material feststellen.

In diesem Versuch wird ausschließlich der *A-Scan* verwendet, also die Messung der Impuls-Zeiten und -Amplituden.

3 Durchführung

In diesem Versuch werden zunächst Acrylzyylinder einmal mit dem Durchschallungs- und einmal mit dem Impuls-Echo-Verfahren vermessen. Hierzu werden für x Zylinder

die Schalllaufzeiten aufgezeichnet. Beim Impuls-Echo-Verfahren werden zusätzlich die Amplituden der Impulse gemessen, um den exponentiellen Abfall dieser nachzuweisen, wobei eine feste Verstärkung des Signales (engl. gain), sowie eine zeitlich variable Verstärkung (engl. time gain control, kurz TGC) zur Verfügung stehen, um die Signale zu verdeutlichen. Da beim Impuls-Echo-Verfahren die Acrylzyylinder senkrecht stehen können, um mehr Messdaten zu erhalten, mehrere Zylinder (mit bidestilliertem Wasser gekoppelt) aufeinander gestellt werden. Alle Zylinder werden mit Hilfe einer Schieblehre vermessen, um aus ihrer Länge und der aufgenommenen Laufzeiten die Schallgeschwindigkeit in Acryl zu berechnen. Nach Bestimmung der Schallgeschwindigkeit werden mit dem Impuls-Echo-Verfahren Grenzflächen untersucht: zwei dünne Acrylscheiben werden übereinander gekoppelt und über einen Vorlaufzylinder beschallt. Der Vorlaufzylinder besteht ebenfalls aus Acryl und sorgt nur dafür, dass die reflektierten Impulse (welche sehr schwach ausfallen) gut erkennbar vom ersten Impuls zu unterscheiden sind. Abschließend verwendet man das Puls-Echo-Verfahren, um eine Augatrappe mit Iris und Linse zu vermessen.

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der materialspezifischen Schallgeschwindigkeit

Zur Bestimmung der materialspezifischen Schallgeschwindigkeit werden die Durchlaufzeiten gegen die durchlaufene Strecke aufgetragen. Für das Impuls-Echo-Verfahren gilt der Zusammenhang

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

für das Durchschallung-Verfahren der Zusammenhang

$$h = ct .$$

Aus den aufgetragenen Werten kann dann für das Impuls-Echo-Verfahren eine Ausgleichsgerade mit der Form

$$t(h) = 2\frac{h}{c} + \Delta t$$

berechnet werden. Für das Durchschallungsverfahren ergibt sich eine Ausgleichsgerade mit der Form

$$t(h) = \frac{h}{c} + \Delta t .$$

Alle Werte sind in den Tabellen 1 dargestellt. Die Ausgleichsgeraden mit Werten sind in den Abbildungen 3 und 4 dargestellt. Der Ausdruck Δt in den Ausgleichsgeraden bezeichnet den systematischen Fehler der aufgrund der Anpassungsschicht der Sonden entsteht. Aus der Ausgleichsrechnung für das Impuls-Echo-Verfahren lässt sich dann entnehmen, dass die materialspezifische Schallgeschwindigkeit

$$c_{IE} = (2720 \pm 10) \text{ m s}^{-1}$$

und der systematische Fehler

$$\Delta t = (3 \pm 2) \cdot 10^{-7} \text{ s}$$

beträgt. Für das Durchschallungs-Verfahren ergeben sich die Werte

$$c_{DS} = (2717 \pm 31) \text{ m s}^{-1}$$

für die Schallgeschwindigkeit und für den systematischen Fehler

$$\Delta t = (1,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-6} \text{ s} .$$

Im Mittel ergibt sich also für die Schallgeschwindigkeit in Acryl

$$\bar{c} = (2718 \pm 16) \text{ m s}^{-1}$$

Abbildung 1: Werte des . . .

(a) . . . Impuls-Echo-Verfahren im Überblick.

h/m	t/s
$1,20 \cdot 10^{-1}$	$8,77 \cdot 10^{-5}$
$1,02 \cdot 10^{-1}$	$7,51 \cdot 10^{-5}$
$8,01 \cdot 10^{-2}$	$5,85 \cdot 10^{-5}$
$4,00 \cdot 10^{-2}$	$2,91 \cdot 10^{-5}$
$3,10 \cdot 10^{-2}$	$2,24 \cdot 10^{-5}$
$1,11 \cdot 10^{-1}$	$8,14 \cdot 10^{-5}$
$7,10 \cdot 10^{-2}$	$5,21 \cdot 10^{-5}$

(b) . . . Durchschallungs-Verfahren im Überblick.

h/m	t/s
$1,20 \cdot 10^{-1}$	$4,52 \cdot 10^{-5}$
$1,02 \cdot 10^{-1}$	$3,90 \cdot 10^{-5}$
$8,01 \cdot 10^{-2}$	$3,08 \cdot 10^{-5}$
$4,00 \cdot 10^{-2}$	$1,63 \cdot 10^{-5}$
$3,10 \cdot 10^{-2}$	$1,23 \cdot 10^{-5}$

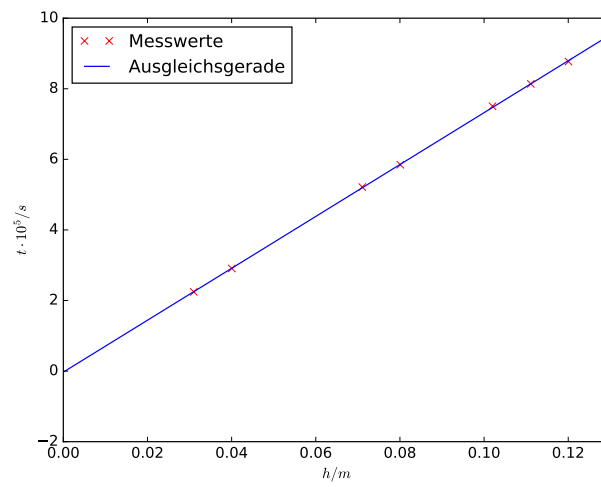


Abbildung 3: Impuls-Echo-Verfahren

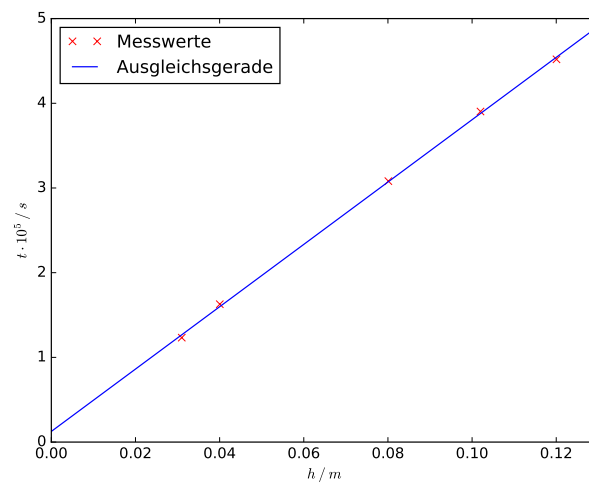


Abbildung 4: Durchschallungs-Verfahren

4.2 Bestimmung des materialspezifischen Schwächungskoeffizienten

Zur Bestimmung des Schwächungskoeffizienten wird erst der Gain g von den Amplituden abgerechnet, da folgender Zusammenhang gilt:

$$g = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{I_v}{I_u} \right).$$

Dabei bezeichnet I_u die unverstärkte und I_v die verstärkte Amplitude. Außerdem ist zu bemerken das nur die Amplitude I_x verstärkt wurde. Nun wird $\ln(I_x/I_0)$ gegen x aufgetragen, dabei ist x die doppelte Höhe der Zylinder. Die Ausgleichgerade kann nun mit

$$\ln \left(\frac{I_x}{I_0} \right) = \alpha x$$

berechnet werden. So ergibt sich für den Schwächungskoeffizient

$$\alpha = -(21\,695 \pm 1524) \text{ m}^{-1}.$$

Alle Daten dazu sind in der Tabelle 1 und der Abbildung 5 dargestellt.

Tabelle 1: Werte zur Bestimmung des Schwächungskoeffizienten im Überblick

x/m	$\ln \frac{I_x}{I_0}$	I_0/V	I_x/V	Ga in/dB
$2,40 \cdot 10^{-4}$	-5,24	1,31	$2,02 \cdot 10^{-1}$	$2,93 \cdot 10^1$
$2,04 \cdot 10^{-4}$	-4,89	1,28	$2,80 \cdot 10^{-1}$	$2,93 \cdot 10^1$
$1,60 \cdot 10^{-4}$	-3,42	1,28	1,22	$2,93 \cdot 10^1$
$8,01 \cdot 10^{-5}$	-1,23	1,28	1,23	$1,03 \cdot 10^1$
$6,20 \cdot 10^{-5}$	$-4,64 \cdot 10^{-1}$	1,28	1,00	1,87

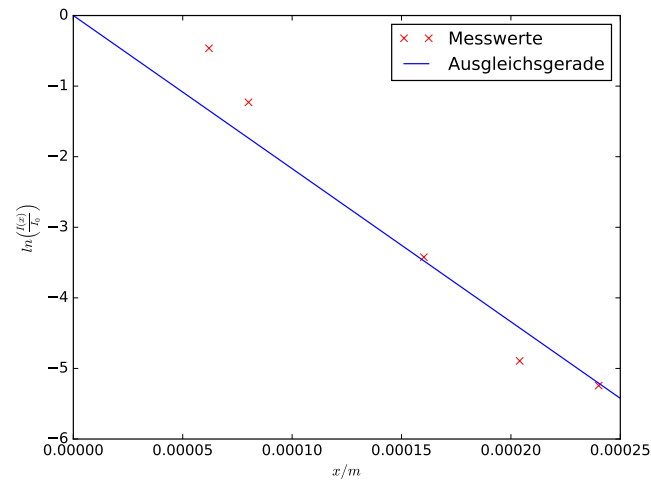


Abbildung 5: Ausgleichsgerade zur Bestimmung des Schwächungskoeffizienten

4.3 Spektrale Analyse

Durch den Zusammenhang

$$h = \frac{c}{2}t$$

können die Dicken der Blatten die mit dem Impuls-Echo-Verfahren durchleuchtet wurden bestimmt werden. Aus der Abbildung 6 werden die Positionen der Echopeaks entnommen (s. Tabelle 2), welche anzeigen wo bzw. wann der Ultraschall eine Grenzfläche passiert. Somit verändert sich der Zusammenhang wie folgt:

$$h = \frac{\bar{c}}{2}\Delta t .$$

Das Δt bezeichnet dabei den Zeitunterschied zwischen den Peaks. Daraus ergibt sich dann, dass die erste Platte ca. $(5,43 \pm 0,03)$ mm und die zweite Platte ca. $(8,16 \pm 0,05)$ mm dick ist.

Tabelle 2: Aus Abbildung 6 entnommene Werte

Peak	Depth / μ s
1	2
2	30
3	34
4	40

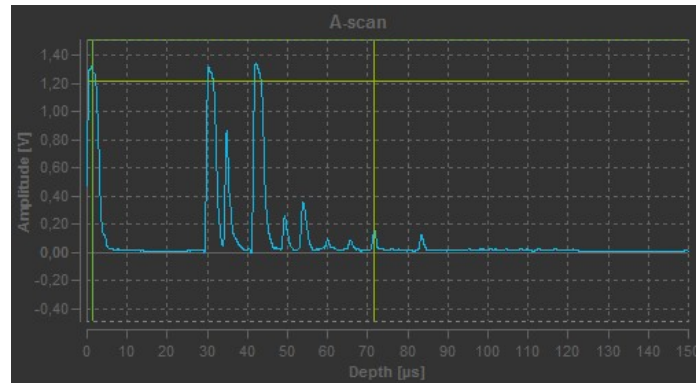


Abbildung 6: Spektrale Analyse

4.4 Biometrische Untersuchung des Augenmodells

Wie im Kapitel zuvor wird aus der Abbildung 7 die Positionen der Peaks bestimmt (s. Tabelle 3) und mit dem selben Zusammenhang wie zuvor die Abstände innerhalb des Auges bestimmt. Hierbei ist doch zubeachten, dass es innerhalb des Auges verschiedene Schallgeschwindigkeiten gibt. So beträgt die Schallgeschwindigkeit in der Linse 2500 m s^{-1} und in der Glaskörperflüssigkeit 1410 m s^{-1} . Daraus ergibt sich dann für den Abstand zwischen Hornhaut und Linse 5,6 mm und für den Durchmesser der Linse 3,7 mm. Der Abstand zwischen Linse und Retina beträgt 3,8 cm.

Tabelle 3: Aus Abbildung 7 entnommene Daten

Peak	Depth /μs
1	2
2	10
3	13
4	67

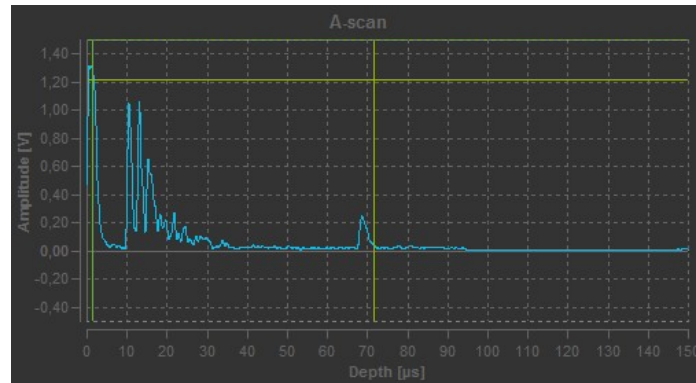


Abbildung 7: Spektrale Analyse

5 Diskussion

5.1 Methoden

Alle relativen Fehler wurden nach der Formel

$$\tilde{x} = \frac{|x_{lit} - x_{mess}|}{|x_{lit}|} \cdot 100\%$$

berechnet, dabei bezeichnet x_{lit} den Literaturwert der Messgröße x_{mess} .

5.2 Zur Bestimmung der materialspezifischen Schallgeschwindigkeit

Der Literaturwert der Schallgeschwindigkeit in Acryl [1] liegt bei 2730 m s^{-1} . Der relative Fehler liegt bei der Messung mit dem Impuls-Echo-Verfahren bei 0,4 % und bei dem Durchschallungs-Verfahren bei 0,5 %. Der relative Fehler von der gemittelten Schallgeschwindigkeit liegt bei 0,4 %. Die Abweichungen entstehen durch Materialunreinheiten sowie allgemeine Messungenauigkeiten.

5.3 Zur Bestimmung des materialspezifischen Schwächungskoeffizienten

Zum Schwächungskoeffizienten wurde kein Literaturwert gefunden. Aber allein die Größenordnung lässt ihn sehr unrealistisch wirken.

5.4 Spektrale Analyse

Da die Platten die bei diesem Versuchsteil noch einmal mit einer Schieblehre vermessen wurden können nun die Werte verglichen werden. Die erste Platte hatte mit der Schieblehre gemessen, eine Dicke von 6 mm die zweite eine Dicke von 1 cm. Daraus ergibt sich der relative Fehler für die erste Platte mit 10,4 % und für die zweite Platte mit 22,5 %. Die Abweichungen können durch Ablesefehler und allgemeine Messungenauigkeiten erklärt werden. Zudem ist zu erwähnen, dass zur Datengewinnung auch das Cestrum hinzugenommen werden sollte, da es die Distanz der Echos zu einander zeigt, aber das bei

dem Versuch aufgenommene zeigt nicht genügend Peaks und lieferte schon im Überschlagnag zu ungenaue Daten.

5.5 Biometrische Untersuchung des Augenmodells

In der Literatur [2] ist zu finden, dass die Linsendicke bei einem Erwachsenen zwischen 4,0 und 4,7 mm liegt, was auch ungefähr den berechneten Werten des Augenmodells entspricht. Der Durchmesser des Augapfel ist bei einem Erwachsenen um die 2,4 cm groß, dies müsste ungefähr dem Linsen Retina Abstand entsprechen. Vergleicht man aber die Werte so ist eine starke Abweichung zu erkennen. Abweichungen können hier durch Ablesefehler aber auch durch die Tatsache, dass biometrische Daten nicht absolut und exakt sind erklärt werden.

Literatur

- [1] Olympus. *Tutorial für Dickenmessung-Schallgeschwindigkeiten im Material*. [Online; Stand 7. Mai 2017]. URL: <http://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>.
- [2] Wikipedia. *Wirbeltierauge* — *Wikipedia, Die freie Enzyklopädie*. [Online; Stand 7. Mai 2017]. 2017. URL: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Wirbeltierauge&oldid=164864576>.