

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Jannis Speer

jannis.speer@tu-dortmund.de

Kevin Talits

kevin.talits@tu-dortmund.de

Durchführung: 05.06.2018

Abgabe: 12.06.2018

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Theorie	3
2	Durchführung	4
2.1	Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan	4
2.2	Untersuchung des Auflösungsvermögen	5
2.3	Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan	5
2.4	Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan	5
3	Auswertung	5
3.1	Vermessung von Fehlstellen im Acrylblock	5
3.2	Auflösungsvermögen	7
3.3	B-Scan des Acrylblocks	8
3.4	TM-Scan eines Herzmodells	9
4	Diskussion	10
	Literatur	10

1 Theorie

Der Frequenzbereich von ca. 20 kHz bis ca 1 GHz wird Ultraschall genannt. Schall ist eine longitudinale Welle, welche sich aufgrund von Druckschwankungen fortbewegt. Die akustische Impedanz ist $Z = c * \rho$, die durch die Dichte ρ des durchstrahlten Materials und der Schallgeschwindigkeit in diesem Material bestimmt wird. Es treten, ähnlich wie bei elektromagnetischen Wellen, Reflexion, Brechung und ähnliche Effekte auf. Aber die Phasengeschwindigkeit der Schallwelle ist materialabhängig.

In Gasen und Flüssigkeiten breitet sich der Schall immer als Longitudinalwelle aus. Die Schallgeschwindigkeit hängt z.B. bei einer Flüssigkeit von ihrer Kompressibilität κ und ihrer Dichte ρ ab.

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

Bei einem Festkörper ist die Schallausbreitung komplizierter, da infolge Schubspannungen nicht nur Longitudinalwellen sondern auch Transversalwellen möglich sind. Hier ersetzt bei der Berechnung der Schallgeschwindigkeit in einem Festkörper das Elastizitätsmodul E die Kompressibilität κ^{-1} .

$$c_{Fl} = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

In Festkörpern sind Schallwellen Richtungsabhängig.

Bei der Schallausbreitung geht ein Teil der Energie durch Absorption verloren. Die Intensität I_0 nimmt exponentiell nach der Strecke x ab.

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\alpha x} \quad (3)$$

α ist der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude.

Beim Treffen auf eine Grenzfläche wird ein Teil der Schallwelle reflektiert. Der Reflexionskoeffizient R , das Verhältnis von reflektierten zu einfallender Schallintensität, setzt sich dabei aus der akustischen Impedanz der beiden angrenzenden Materialien zusammen.

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

Der Transmittierte Anteil T lässt sich aus $T = 1 - R$ berechnen.

Ultraschall kann auf verschiedene Arten erzeugt werden. Die Anwendung des reziproken piezo-elektrischen Effekts ist eine. Bringt man einen piezoelektrischen Kristall in ein elektrisches Wechselfeld, so kann man diesen zu Schwingungen anregen, wenn eine polare Achse des Kristalls in Richtung des elektrischen Feldes zeigt. Der Piezokristall strahlt beim Schwingen Ultraschallwellen ab. Für Resonanz der Anregerfrequenz und

Eigenfrequenz können große Amplituden erzeugt werden. Der Piezokristall kann auch umgekehrt als Schallempfänger genutzt werden, hierbei treffen die Schallwellen auf den Kristall und regen diesen zu Schwingungen an. Quarze sind dabei die meist benutzten piezoelektrischen Kristalle, da sie gleichbleibende physikalische Eigenschaften haben. Jedoch haben sie einen relativ schwachen piezoelektrischen Effekt.

Durch Laufzeitmessungen erhält man Informationen über durchstrahlte Körper. Es werden die beiden Methoden, das Durchschallungs-Verfahren und das Impuls-Echo-Verfahren verwendet.

Beim Durchschallungs-Verfahren wird mit einem Ultraschallsender ein kurzzeitiger Schallimpuls ausgesendet und am anderen Ende des Probenstücks mit einem Ultraschallempfänger aufgefangen. Befindet sich eine Fehlstelle in der durchstrahlten Probe, so wird eine abgeschwächte Intensität am Ultraschallempfänger gemessen. Eine Aussage darüber, wo sich die Fehlstelle in der Probe befindet, ist nicht möglich.

Beim Impuls-Echo-Verfahren wird der Ultraschallsender auch als Empfänger verwendet. Der ausgesendete Ultraschallpuls wird hierbei an einer Grenzfläche reflektiert und nach seiner Rückkehr von der Empfänger aufgenommen. Bei Fehlstellen kann die Höhe des Echos Aufschluß über die Größe der Fehlstelle geben. Bei bekannter Schallgeschwindigkeit kann aus der Laufzeit t die Lage der Fehlstelle über

$$s = \frac{1}{2}ct \quad (5)$$

bestimmt werden. Die Laufzeitdiagramme können in einem A-Scan, B-Scan oder einem TM-Scan dargestellt werden.

Der A-Scan (Amplitude Scan) ist ein eindimensionales Verfahren zum Abtasten von Strukturen, bei dem die Echoamplituden als Funktion der Zeit abgebildet werden. Mit Hilfe des B-Scans (Brightness Scan) kann durch das Bewegen der Sonde ein zweidimensionales Bild aufgezeichnet werden. Dabei werden die Echoamplituden in verschiedenen Helligkeitsstufen dargestellt. Der TM-Scan (Time-Motion Scan) kann die Bewegung eines Objekts aufgenommen werden, indem durch schnelles Abtasten eine zeitliche Bildfolge erstellt wird. [1]

2 Durchführung

2.1 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan

Zunächst werden die Abmessungen des Acrylblocks (siehe Abb. 1) notiert. Eine 2 MHz Sonde wird mit bidestiliertem Wasser an den Block gekoppelt. Mit dem Impuls-Echo-Verfahren wird von beiden Seiten die Schalllaufzeit gemessen, um sowohl die Größe als auch die Lage der Bohrungen zu bestimmen.

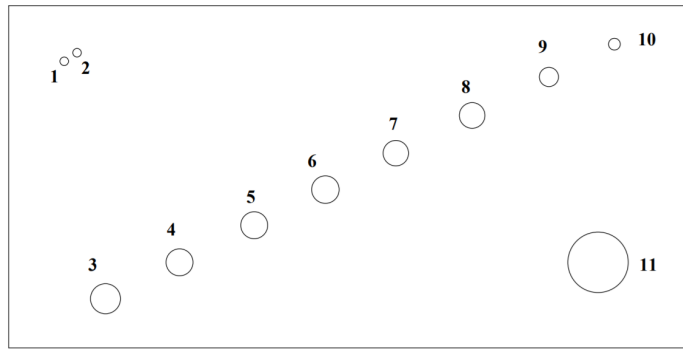


Abbildung 1: Schematische Zeichnung des Acrylblocks. [1]

2.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

Zwei benachbarte und kleine Bohrungen werden mit dem A Scan und einer 1,2 und 4 MHz Sonde untersucht werden. Das Auflösungsvermögen der verschiedenen Sonden soll beurteilt werden.

2.3 Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan

Eine 2 MHz Sonde wird auf der Längsseite auf den Block gekoppelt. Zur Aufnahme eines B Scans wird die Sonde langsam und mit konstanter Geschwindigkeit über den Block geführt. Auf der gegenüberliegenden Seite wird ebenfalls ein B Scan durchgeführt.

2.4 Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan

Das Herzmodell besteht aus einem Doppelgefäß, das zu einem Drittel mit Wasser befüllt ist, und einer beweglichen Membran, die periodisch gewölbt werden kann. Mit Hilfe eines A Scan wird das enddiastolische Volumen (EDV) und das endsystolische Volumen (ESV) bestimmt. Die Herzfrequenz wird mit einem TM Scan gemessen. Aus diesen Größen wird abschließend das Herzvolumen bestimmt.

3 Auswertung

3.1 Vermessung von Fehlstellen im Acrylblock

Der zu vermessende Acrylblock mit 11 Fehlstellen hat eine Höhe von $h_{Block} = 8.03cm$. Dieser wurde mit einer Schieblehre vermessen. Beim A-Scan im Impuls-Echo-Verfahren mit der 2 MHz Sonde sind für die Fehlstellen die Laufzeiten Δt_{oben} und Δt_{unten} , jeweils von der Ober- und Unterseite des Blocks vermessen, in Tabelle 1 aufgetragen.

Tabelle 1: Messwerte Fehlstellen.

Fehlstelle	Δt_{oben} in μs	Δt_{unten} in μs	s_{oben} in mm	s_{unten} in mm
1	44.6	9.6	61.0	13.0
2	39.1	15.8	54.0	22.0
3	33.8	21.9	47.0	30.0
4	28.2	28.1	39.0	39.0
5	22.4	34.1	31.0	47.0
6	16.7	39.9	23.0	55.0
7	10.8	45.7	15.0	63.0
8	4.9	51.5	7.0	71.0
9	40.4	11.0	55.0	15.0
10	12.8	44.8	18.0	61.0
11	14.1	43.6	19.5	59.0

Die Strecken s_{oben} und s_{unten} sind der Abstand der Fehlstellen zum oberen und unteren Rand des Acrylblocks, mit einer Schieblehre vermessen. Aus der Laufzeit, der Schallgeschwindigkeit in Acryl mit $c_{Ac} = 2730 \frac{m}{s}$ [2] und der Formel

$$d_{oben} = c_{Ac} \cdot \frac{\Delta t_{oben}}{2} \quad (6)$$

werden die Abstände nach oben und (analog zur Gleichung 6) unten zum Acrylblock errechnet. Aus diesen Werten kann dann durch die Gleichung 7

$$d = h_{Block} - d_{oben} - d_{unten} \quad (7)$$

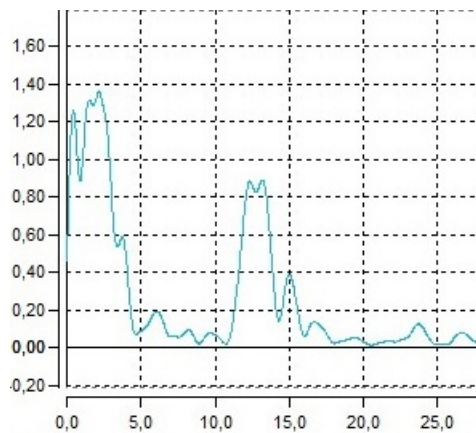
der Durchmesser der Fehlstellen bestimmt werden. Die Abstände und daraus resultierenden Durchmesser sind in Tabelle 2 eingetragen. Die Größe $d_{Messung}$ ist der Messwert des Durchmessers. Er wurde mit $d_{Messung} = h - s_{oben} - s_{unten}$ berechnet.

Tabelle 2: Durchmesser der Fehlstellen.

Fehlstelle	d_{oben} in mm	d_{unten} in mm	d in mm	$d_{Messung}$ in mm	Abweichung in %
1	60.879	13.104	6.317	6.3	0.27
2	53.3715	21.567	5.3615	4.3	24.69
3	46.137	29.8935	4.2695	3.3	29.38
4	38.493	38.3565	3.4505	2.3	50.02
5	30.576	46.5465	3.1775	2.3	38.15
6	22.7955	54.4635	3.041	2.3	32.22
7	14.742	62.3805	3.1775	2.3	38.15
8	6.6885	70.2975	3.314	2.3	44.09
9	55.146	15.015	10.139	10.3	1.56
10	17.472	61.152	1.676	1.3	28.92
11	19.2465	59.514	1.5395	1.8	14.47

3.2 Auflösungsvermögen

Bei den zwei sehr nah beieinander liegenden Fehlstellen 10 und 11 wird das Auflösungsvermögen verschiedener Sonden untersucht. Es wurde ein A-Scan mit einer 1 MHz und einer mit einer 4 MHz Sonde durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 2 und 3 zu sehen.

**Abbildung 2:** Auflösungsvermögen der 1 MHz Sonde.

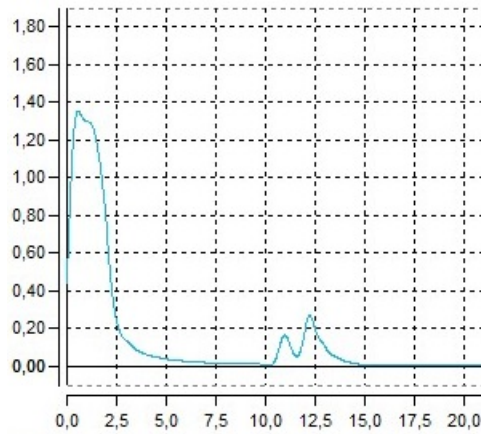


Abbildung 3: Auflösungsvermögen der 4 MHz Sonde.

Es ist klar erkennbar, dass die 4 MHz Sonde ein wesentliches besseres Auflösungsvermögen besitzt, aber dafür schneller an seiner Amplitudenstärke verliert. Hingegen besitzt die 1 MHz Sonde einen höheren Ausschlag, aber bei schlechterem Auflösungsvermögen.

3.3 B-Scan des Acrylblocks

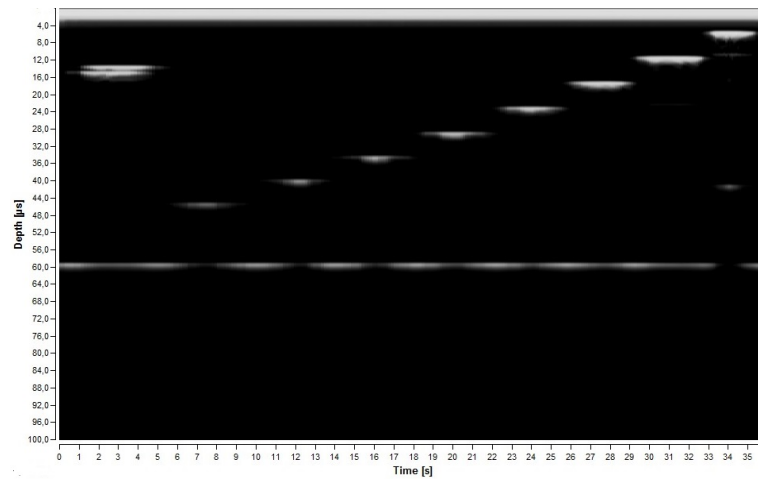


Abbildung 4: B-Scan von oben.

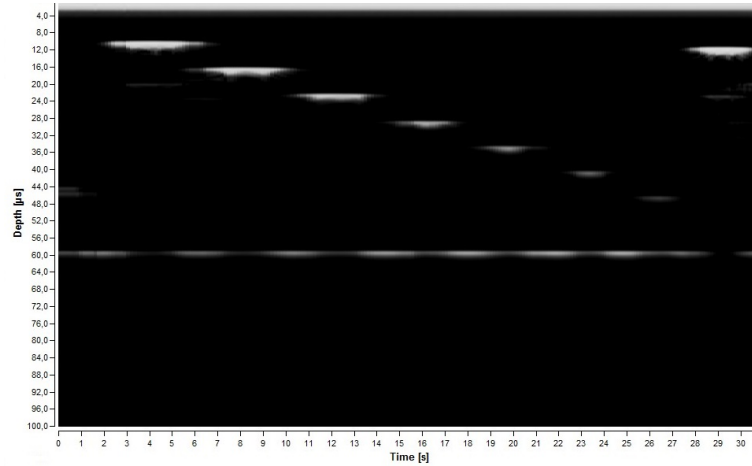


Abbildung 5: B-Scan von unten.

Die beiden B-Scans in Abbildung 4 und 5 wurden mit der 2 MHz Sonde durchgeführt und zeigen ein gutes Bild des Acrylblocks mit seinen Fehlstellen. Aber die tiefer im Block liegenden Stellen werden schlecht bis garnicht dargestellt. Somit ist es ein nur unvollständiges Bild des Acrylblocks. Auch die zwei kleinen und sehr nah beieinander liegenden Fehlstellen 10 und 11 sind in Abbildung 4 zu erkennen, obwohl sie sich doch überschneiden. Der unterste fast durchgezogene weiße Strich ist jeweils der Boden des Acrylblocks.

3.4 TM-Scan eines Herzmodels

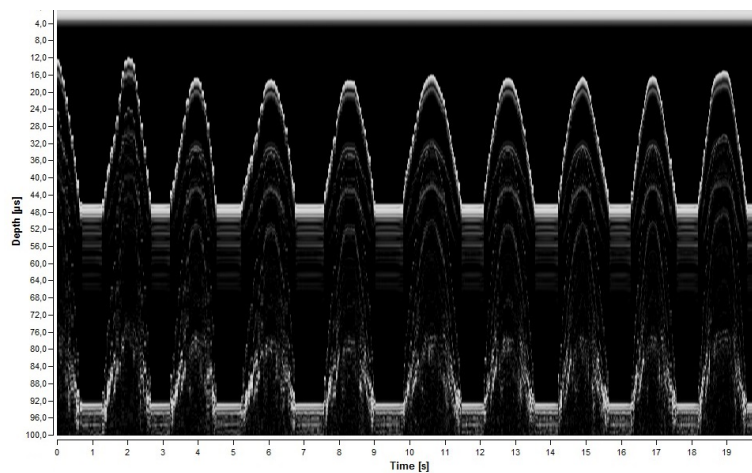


Abbildung 6: TM-Scan des Herzmodels.

Aus der Abbildung 6 ist die Herzfrequenz abzulesen. Es werden $P = 10$ Peaks auf $t_P = 19s$

gezählt, womit sich die Frequenz zu

$$\nu = \frac{P-1}{t_P} = \frac{9}{19} = 0.474\text{Hz}$$

berechnen lässt. Mit dem gemessenen Radius $r = 22.7$ mm des Herzens und der Vermessung mit A-Scan im Ruhe Zustand und im aufgepumpten Zustand wird das enddiastolische (EDV) und das endsystolische Volumen (ESV) mit

$$V = c_{Wasser} \frac{\Delta t}{2} \cdot \pi r^2 \quad (8)$$

berechnet. Für die Schallgeschwindigkeit in Wasser wurde der Literaturwert von $c_{Wasser} = 1480 \frac{m}{s}$ [2] gewählt. Aus dem A-Scan für beide Volumen wurden $\Delta t_{EDV} = 45.8 \mu s$ und $\Delta t_{ESV} = 23.9 \mu s$ abgelesen. Für das EDV ergibt sich mit Gleichung 8 $EDV = 5.47 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$ und für das ESV ergibt sich $ESV = 28.6 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$. Aus diesen beiden Werten und der Frequenz wird das Herzvolumen wie folgt berechnet:

$$HZV = (EDV - ESV) \cdot \nu \quad (9)$$

Mit Gleichung 9 und den vorangegangenen Werten wird $HZV = 1.24 \cdot 10^{-5} \text{ mm}^3$ berechnet. Dies ist das Schlagvolumen des Herzens.

4 Diskussion

Im Auswertungsteil 3.1 ist gut zu erkennen, dass der Fehler beim Durchmesser der Fehlstellen bei größeren deutlich kleiner ist. Wobei es bei kleinen Fehlstellen einen größeren Fehler gibt. Dies ist mit den Ergebnissen aus dem Auswertungsteil 3.2 zu erklären. Die Messungen mit den beiden Sonden zeigt eine Frequenzabhängigkeit für das Auflösungsvermögen. Je höher die Frequenz der Sonde gewählt wird, desto besser löst sie auf. Denn bei höherer Frequenz wird die Wellenlänge kleiner und kann besser an kleinen Stellen verwendet werden. Jedoch nimmt auch die Amplitude des Signals mit steigender Frequenz ab und deswegen muss eine mittlere Frequenz gewählt werden, bei der die Ausschläge noch groß genug sind, aber das Auflösungsvermögen maximal ist. Deswegen wurden mit der 2 MHz Sonde im Auswertungsteil 3.1 die kleineren Stellen ungenauer bestimmt, aber es konnte auch nach einem langem Weg im Acryl eine gute Amplitude zum Auswerten vermerkt werden. Mit der gleichen Erklärung kann in den Abbildungen im Auswertungsteil 3.3 auch das "Verschmieren" der kleineren Fehlstellen erklärt werden.

Literatur

- [1] TU Dortmund. *US2, Scanverfahren in der Ultraschalltechnik*. URL: <http://129.217.224.2/HOME/PAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf> (besucht am 11.06.2018).
- [2] *Schallgeschwindigkeiten*. <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>, Juni 2018.