

US2

Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Evelyn Romanjuk
evelyn.romanjuk@tu-dortmund.de

Ramona-Gabriela Kallo
ramonagabriela.kallo@tu-dortmund.de

Durchführung: 29.5.18

Abgabe: 5.6.18

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1 Zielsetzung	3
2 Theorie	3
3 Aufbau und Durchführung	4
4 Auswertung	5
4.1 Untersuchung des Acrylblocks mit dem A-Scan	5
4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens	6
4.3 Untersuchung des Acrylblocks mit dem B-Scan	6
4.4 Bestimmung des Herzzeitvolumens(HZV)	8
5 Diskussion	10
Literatur	11

1 Zielsetzung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit unterschiedlichen Scanverfahren mittels Ultraschall. Genauer werden mit dem A- und B-Scan die Bohrungen in einem Acrylblock untersucht und die Scanverfahren miteinander verglichen, sowie ein Herzmodell mithilfe des TM-Scans analysiert.

2 Theorie

In der Physik wird unter Schall eine longitudinale Welle verstanden, die sich durch Druckschwankungen bewegt. Zu unterscheiden ist zwischen Infraschall, dessen Frequenzbereich unter 16 Hz liegt, dem Hörschall im Bereich von etwa 16 Hz und 20 kHz, dem Ultraschall von 20 kHz bis ca. 1 GHz und Hyperschall ab 1 GHz. Die Welle hat die Form

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

wobei $Z = c \cdot \rho$ als akustische Impedanz bezeichnet wird. Die Dichte ρ und die Schallgeschwindigkeit c machen Z zu einer materialspezifischen Größe, wodurch sich auch die Schallwelle in verschiedenen Materialien unterschiedlich verhält. Während sich Schall in Flüssigkeiten oder Gasen immer longitudinal ausbreitet und im Falle eines flüssigen Mediums von der Dichte ρ und der Kompressibilität κ abhängt und die Schallgeschwindigkeit

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

hat, sind in festen Medien wegen Schubspannungen auch transversale Wellen möglich. Hier spielt das Elastizitätsmodul E eine Rolle:

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

Es gilt, dass Schallgeschwindigkeiten in Festkörpern richtungsabhängig und für longitudinale und transversale Welle verschieden sind. Während der Schall durch ein Medium wandert verliert er durch Absorption einen Teil seiner Energie, wodurch die Intensität I_0 sinkt:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{\alpha x} \quad (4)$$

α wird Absorptionskoeffizient der Schallamplitude genannt.

Neben der Absorption sind auch Reflektionen zu beobachten. Diese treten auf, wenn Schallwellen auf die Grenzfläche zweier Medien treffen. Der Reflektionskoeffizient R lässt sich über die akustischen Impedanzen Z der beiden Materialien berechnen:

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (5)$$

Der transmittierte Anteil T ist damit:

$$T = 1 - R. \quad (6)$$

Zur Erzeugung von Ultraschallwellen können beispielsweise piezoelektrische Kristalle verwendet werden. In einem elektrischen Wechselfeld beginnen diese zu schwingen, sofern eine der Achsen parallel zum elektrischen Feld ausgerichtet ist. Wenn Anregungsfrequenz und Eigenfrequenz des Kristalls zusammenpassen, so können mit der Resonanz große Schwingungsamplituden und Schallenergiegedichten erreicht werden. Ebenso ist es möglich den Kristall als Empfänger zu verwenden, der zu schwingen beginnt wenn Schallwellen von außerhalb auf den Kristall treffen.

Mit Ultraschall können Laufzeitmessungen durchgeführt werden, die Aufschluss über das durchstrahlte Objekt geben. Hierbei gibt es zwei Verfahren:

- Bei dem Durchschallungs-Verfahren werden ein Ultraschallsender und ein Empfänger verwendet. Wenn es in dem durchstrahlten Material eine Fehlstelle gibt, so wird die Intensität durch Absorption abgeschwächt, was mit dem Empfänger gemessen werden kann. Allerdings ist es mit diesem Verfahren nicht möglich den Ort der Fehlstelle festzustellen.
- Das Impuls-Echo-Verfahren arbeitet mit nur einem Instrument, das sowohl als Sender, als auch als Empfänger eingesetzt wird. Dieses sendet Ultraschallwellen aus, die an der Fehlstelle reflektiert und wieder von der Sonde aufgenommen werden. Bei diesem Verfahren kann die Lage der Fehlstelle über die Schallgeschwindigkeit c und die Laufzeit t ermittelt werden:

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

Für Laufzeitdiagramme können drei verschiedenen Darstellungsarten angewandt werden:

- Beim A-Scan (Amplituden Scan) werden die Echoamplituden gegen die Laufzeit aufgetragen, wodurch sich ein eindimensionales Bild ergibt.
- Beim B-Scan (Brightness Scan) entsteht ein zweidimensionales Bild. Dazu wird die Sonde über das Objekt geführt und aus mehreren eindimensionalen A-Scans wird dann sofort ein B-Bild erstellt. Die Echoamplituden werden hier über Helligkeitsabstufungen sichtbar gemacht.
- Beim TM-Scan (Time-Motion-Scan) können auch Bewegungen dargestellt werden, indem eine Reihe von Bildern durch schnelles Abtasten aufgenommen werden.

3 Aufbau und Durchführung

Zu dem Versuchsaufbau gehören ein Ultraschallechoskop, eine Sonde für das Impuls-Echo-Verfahren mit einer Frequenz von 2 MHz und ein Rechner zur Datenverarbeitung und -darstellung.

Nachdem der zu untersuchende Acrylblock ausgemessen wird, werden die Störstellen in dem Block mit einem A-Scan bestimmt. Hierzu wird die Sonde über die betreffenden Stellen gehalten, wobei Wasser als Koppelmittel verwendet wird. Auf dem Rechner ist während der Untersuchung ein Graph zu sehen, aus dem die Abstände zu den Störstellen abgelesen werden können. Die Untersuchung wird für die gegenüberliegende Seite des Blocks wiederholt. Zudem wird das Auflösungsvermögen analysiert, indem zwei kleine, benachbarte Fehlstellen ausgemessen werden.

Im nächsten Versuchsteil wird die Untersuchung der Bohrungen mit dem B-Scan durchgeführt. Dazu wird das Computerprogramm auf den B-Scan eingestellt und dann gestartet. Daraufhin wird die Sonde gleichmäßig über den Block geführt, woraus das Programm ein Bild aus Helligkeitsabstufungen generiert, aus welchem die Lage der Störstellen abgemessen werden können.

Zuletzt wird ein Herzmodell mit dem TM-Scan untersucht. Hierfür wird ein Doppelgefäß mit einer Membran, die mit einer Pumpe gewölbt werden kann, verwendet. Der obere Teil des Gefäßes wird etwa zu einem Drittel mit Wasser gefüllt und die Sonde so angebracht, dass sie gerade die Oberfläche berührt. Dann kann mit einem A-Scan die Laufzeit des Echos ermittelt werden. Mit dem TM-Scan erfolgt die Bestimmung des Herzvolumens und der Frequenz. Dazu wird mit der Pumpe gleichmäßig die Membran bewegt, wodurch die Wasseroberfläche steigt und sinkt. Dies wird über den Computer im M-Mode aufgenommen und zu einem Bild verarbeitet, aus dem die Frequenz und das Herzvolumen bestimmt werden kann.

4 Auswertung

4.1 Untersuchung des Acrylblocks mit dem A-Scan

Im ersten Versuchsteil soll ein Acrylblock mit dem A-Scan untersucht werden. Die Messung der Probekörper mit einer Schieblehre beträgt die folgenden aufgeführten Werte:

$$\begin{aligned} b &= 4 \text{ cm} \\ l &= 15 \text{ cm} \\ h &= 8 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Dabei sind b die Breite, l die Länge und h die Höhe der Probekörper. Dabei wird die Gleichung 7 angewendet und entsprechend nach t umgestellt:

$$t = \frac{2 \cdot s}{c}. \quad (8)$$

Die Messwerte, die berechneten Laufzeiten und die Dicke der Fehlstellen d befinden sich in der Tabelle 1. Für den A-Scan ist die Abbildung 1 zu sehen.

Die Dicke der Fehlstellen d werden nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$d = h - s_1 - s_2, \quad (9)$$

wobei s_1 die jeweiligen Abstände für den nicht-umgedrehten Acrylblock und s_2 die jeweiligen Abstände für den umgedrehten Acrylblock sind.

Tabelle 1: Messwerte für den A-Scan.

Lochnummer	$s_1/10^{-3}$ m	$s_2/10^{-3}$ m	$d/10^{-3}$ m
3	62	14,1	3,9
4	54,8	22,6	2,6
5	47,2	31,0	1,8
6	39,7	39,8	0,5
7	31,7	47,8	0,5
8	23,8	55,7	0,5
9	15,7	63,6	0,7
10	7,9	-	-

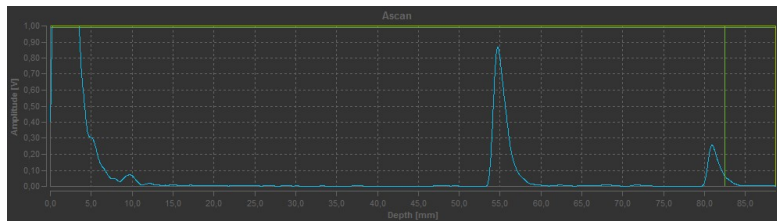


Abbildung 1: Untersuchung des Acrylblocks mit dem A-Scan, das erste Bild.

4.2 Untersuchung des Auflösungsvermögens

In diesem Versuchsteil sollte das Auflösungsvermögen untersucht werden. Dabei wird es mit einer roten Sonde auf einen Acrylblock untersucht, welcher mit zwei benachbarten Fehlstellen zur Verfügung stand.

Die Wellenlänge[3] ist gegeben als:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{c}{T} \quad (10)$$

wobei $f = 2$ MHz beträgt und c die Schallgeschwindigkeit in Acryl ist. Daraus ergibt sich für den Abstand der zwei benachbarten Fehlstellen beziehungsweise die Wellenlänge aus der Gleichung 10:

$$\lambda = 1,365 \text{ mm.}$$

Die Signalaufösung zeigt eine Abhängigkeit von der Frequenz der Ultraschallwelle, d.h. je höher die Frequenz, um so besser die Auflösung, um so geringer aber die Eindringtiefe. Für eine niedrige Frequenz wie bei der roten Sonde mit 2 MHz ergibt sich eine geringe Auflösung aber eine große Eindringtiefe.

4.3 Untersuchung des Acrylblocks mit dem B-Scan

Für den selben Acrylblock mit verschiedenen Bohrungen wird nun mit dem B-Scan Verfahren ein zwei-dimensionales Bild des Blocks erstellt, auf dem die Bohrungen hervorgehoben sind. Dies wurde mit einer roten Sonde, die 2 MHz beträgt, durchgeführt. Dabei

ergaben sich die Abbildungen 2 und 3 für eine nicht-umgedrehte als auch umgedrehte Lage. Als Schallgeschwindigkeit in Acryl wird der Literaturwert[4] verwendet. Für die Lochnummer 1, 2, 10 konnten die Laufzeiten aufgrund der schwachen Darstellung für die beiden Lagen nicht abgelesen werden. Sie konnten nicht gemessen werden, während die anderen nahe Störstellen scharf dargestellt wurden.



Abbildung 2: Abbildung des Acrylblocks im B-Scan mit einer roten Sonde für eine umgedrehte Lage.

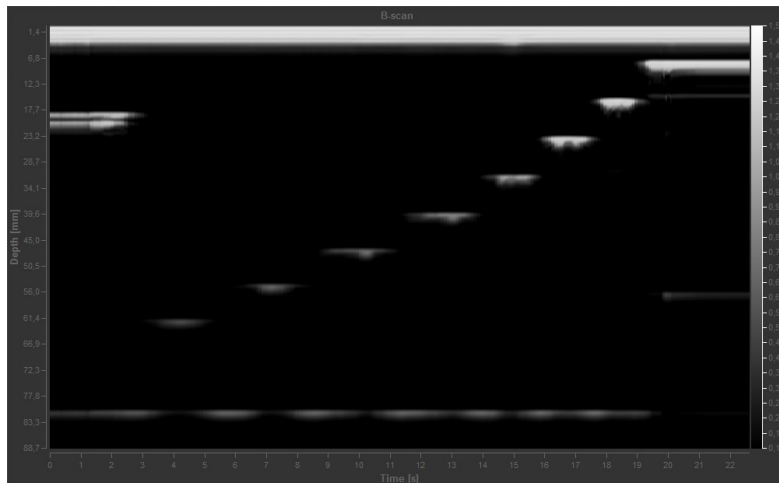


Abbildung 3: Abbildung des Acrylblocks im B-Scan mit einer roten Sonde für eine nicht-umgedrehte Lage.

Die Abstände der Fehlstellen s werden nach der folgenden Formel berechnet:

$$s = h - c \cdot \frac{t}{2}, \quad (11)$$

wobei h die Höhe, c die Schallgeschwindigkeit in Acryl und t die jeweilige Laufzeit sind. Die Dicke der Fehlstellen d ergibt sich dann, indem die jeweils von oben und unten gemessene Abstände vom Rand zur Bohrung abgezogen werden:

$$d = h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}}. \quad (12)$$

Die Messwerte zu dem B-Scan sowie die daraus berechneten Fehlstellen s und Dicken d befinden sich in der Tabelle 2.

Tabelle 2: Messwerte zur Bestimmung der Lage und Dicke der Fehlstellen für den B-Scan.

Lochnummer	$t_{\text{oben}}/10^{-6} \text{ s}$	$t_{\text{unten}}/10^{-6} \text{ s}$	$s_{\text{oben}}/10^{-3} \text{ m}$	$s_{\text{unten}}/10^{-3} \text{ m}$	$d/10^{-3} \text{ m}$
3	14,2	17	19,38	23,24	3,74
4	22,2	24,7	30,3	33,72	1,6
5	30,6	32,5	41,77	44,36	0,61
6	39,2	40,9	53,51	55,83	2,93
7	47,4	48,2	64,7	65,8	1,42
8	55,2	56,5	75,35	77,12	7,25
9	63,6	64,4	86,81	87,91	9,47
10	15,2	18,8	20,75	25,67	3,36
3	61,8	63,4	84,36	86,54	9,09
4	54,3	56,2	74,12	76,71	7,08
5	46,9	48,1	64,02	65,66	4,97
6	39,2	40,9	53,51	55,83	2,93
7	31,2	32,9	42,59	44,91	0,75
8	23,2	25,2	31,67	34,4	1,39
9	15,2	17,3	20,75	23,61	3,56
10	7,1	9,7	9,67	13,24	5,71

4.4 Bestimmung des Herzzeitvolumens(HZV)

Mit der Sonde soll ein einfaches Herzmodell untersucht und das entsprechende Herzzeitvolumen HZV bestimmt werden. In der Abbildung 4 kann die Kurve zur Bestimmung des Herzvolumens in der TM-Mode angesehen werden. Zum einen ist die Gleichung 13 relevant, weil sie für die Berechnung des Herzzeitvolumens benötigt wird:

$$\text{HZV} = (\text{EDS} - \text{EDV}) \cdot \nu_{\text{Herz}} \quad (13)$$

wobei EDV das enddiastolische Volumen, EDS das endsystolische Volumen und ν_{Herz} die Herzfrequenz sind. Hierbei haben sich 10 Schläge in 24 s Sekunden ergeben, also es gilt:

$$\nu_{\text{herz}} = \frac{n}{T_{\text{ges}}} = 0,41 \text{ Hz}$$

wobei n die Anzahl der Schläge und T die Gesamtanzahl der Sekunden sind. Es wird angenommen, dass das simulierte Herzmodell ein Kegelvolumen[2] besitzt, damit das endsystolische Volumen bestimmt werden kann. Das Volumen eines Kegel ist gegeben wie folgt:

$$V_{\text{Kegel}} = \frac{1}{3} \cdot A \cdot h = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot h \quad (14)$$

und in Gleichung 14 wird für die Fläche A die Formel für eine Kreisfläche eingesetzt und damit ergibt sich:

$$V_{\text{Kegel}} = \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2\right) \cdot h = \frac{1}{12} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h, \quad (15)$$

wobei D der Membrandurchmesser, welcher $D = 0,046 \text{ m}$ beträgt und h die Höhe für welche EDS eingesetzt wird. Für die Berechnung des endsystolischen Volumens werden die Werte aus der Tabelle 3 übernommen und damit ergibt sich $\text{EDS} = 0,085 \text{ m}$. Die Werte für den Membrandurchmesser D und den endsystolischen Volumen EDS werden in die Gleichung 15 eingesetzt und es ergibt sich ein Wert von:

$$V_{\text{Kegel}} = \text{EDV} = 47 \text{ cm}^3.$$

Dann werden die Werte für die Herzfrequenz und für den enddiastolische Volumen in die Gleichung 13 eingesetzt und daraus folgt für das Herzzeitvolumen:

$$\text{HZV} = 19,27 \frac{\text{mL}}{\text{s}} = 1,15 \frac{\text{L}}{\text{min}}.$$

Tabelle 3: Messwerte zur Bestimmung des HZV.

D/cm	h_1/mm	h_2/mm
4,6	19,1	27,6

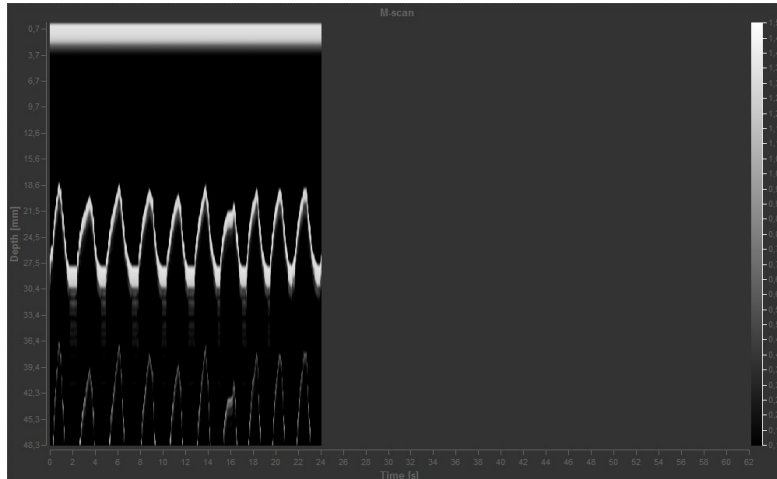


Abbildung 4: TM-Mode zur Bestimmung des Herzzeitvolumens.

5 Diskussion

Zu dem Versuchsteil zur Bestimmung der Lage und Lochbreite für den B-Scan ist zu erkennen, dass die Reichweite der Ultraschallwelle mit zunehmender Frequenz abnimmt. Jedoch nimmt auch die Schärfe der dargestellten Störstellen zu. Es kann gesagt werden, dass hohe Frequenzen zwar wenig tief eindringen, doch im nahen Bereich sehr gute Auflösung erreichen, während mit weniger hohen Frequenz mehr ein Gesamtüberblick erreicht wird, doch keine genauen Aussagen getroffen werden können.

Beim B-Scan gibt es wenige bis keine weißen/scharfen Stellen. Es liegen keine tatsächlichen Werte der Durchmesser der Löcher vor, weshalb die ermittelten Ergebnisse schlecht bewertet werden können wie bei dem A-Scan Verfahren. Es fällt auf dass die Werte bei den Bohrungen 6 bis 10 ungenau sein könnten, da sie nicht in die Reihe der anderen Messwerte passen, die mit steigender Lochnummer im Durchmesser sinken. Vermutlich wurde hier ungenau gemessen, wodurch die geringen Unterschiede beim Lochdurchmesser nicht erkennbar sind.

Zur besseren Unterscheidbarkeit einzelner Bohrungen in den Bildern hätte jeweils eine Farbeinteilung eingefügt werden müssen, um die zu untersuchende Löcher besser unterscheiden zu können.

Die Vermessung des Herzzeitvolumens ergab einen Wert von $HZV = 1,15 \frac{L}{min}$. Dieser lässt sich mit einem Literaturwert[1] für das Herzzeitvolumen vergleichen, welcher sich zwischen dem Bereich von $4,5 \frac{L}{min}$ und $5 \frac{L}{min}$ befindet. Dies ist leider nicht sinnvoll, da es sich eine relative Abweichung von 74,4% ergibt. Dies ist eine relativ große Abweichung zum Literaturwert.

Bei der Untersuchung des Auflösungsvermögens kann das gleiche wie bei der B-Scan gesagt werden, dass hochfrequente Sonden für den Nahbereich benutzt werden sollten, weil sie sich gut auflösen können, während niederfrequente Sonden für den Tiefscan geeignet sind, wobei sie dann auch keine hohe Auflösung besitzen.

Für jedes Problem kann nicht dieselbe Sonde nützlich sein, sondern es sollten möglichst verschiedene Sonden genutzt werden um ein gutes Ergebnis zu erhalten.

Literatur

- [1] Dr. med. Joanna Krist. *Herzminutenvolumen*. 2018. URL: <http://flexikon.doccheck.com/de/Herzminutenvolumen> (besucht am 02.06.2018).
- [2] Jürgen Köller. *Volumen Kegel*. 2018. URL: <http://www.mathematische-basteleien.de/kegel.html> (besucht am 02.06.2018).
- [3] Martin Mißfeldt. *Wellenlänge*. 2018. URL: <https://www.lichtmikroskop.net/optik/wellenlaenge.php> (besucht am 02.06.2018).
- [4] Olympus. *Appendices Velocities*. 2018. URL: <https://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/> (besucht am 02.06.2018).