

# ANFÄNGERPRAKTIKUM 2015/2016

## Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Durchführung: 07.06.16

1. Abgabe

Clara RITTMANN<sup>1</sup>  
Anja BECK<sup>2</sup>

*Betreuer:*  
Jessica GARCZARCZYK

---

<sup>1</sup>clara.rittmann@tu-dortmund.de

<sup>2</sup>anja.beck@tu-dortmund.de

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Theorie</b>	<b>2</b>
1.1	Schallwellen . . . . .	2
1.2	Verfahren der Ultraschallechographie . . . . .	2
1.3	Darstellung der Signale . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Aufbau und Ablauf des Experiments</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Auswertung</b>	<b>5</b>
3.1	A-Scan . . . . .	5
3.2	B-Scan . . . . .	6
3.3	TM-Scan . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>10</b>

*Hinweis:* Der Versuch wurde in Anlehnung an die Versuchsanleitung “Scanverfahren in der Ultraschalltechnik“<sup>1</sup> durchgeführt und protokolliert.

---

<sup>1</sup>US2: Scanverfahren in der Ultraschalltechnik, Anfängerpraktikum für Physiker, TU Dortmund, <http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallScan.pdf> aufgerufen am 13.06.16, um 21:34 Uhr

# 1 Theorie

## 1.1 Schallwellen

Schallwellen sind Druckwellen und können sich daher nur in Medien ausbreiten. Sie sind longitudinale Wellen, die durch

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

beschrieben werden. Der Druck  $p$  schwankt demnach mit einer Amplitude von  $v_0 Z$  um den "Grunddruck"  $p_0$ . Die akustische Impedanz  $Z$  ist dabei eine wichtige Materialeigenschaft, die das Produkt der Dichte des Mediums  $\rho$  und der Schallgeschwindigkeit im Medium

$$c = \sqrt{\frac{A}{\rho}} \quad (2)$$

ist. Bei Flüssigkeiten ist die Konstante  $A$  das Inverse Kompressibilität  $\kappa$ , bei Festkörpern ist  $A$  das Elastizitätsmodul  $E$ .

Wird die Ausbreitung im Festkörper genauer betrachtet, kann festgestellt werden, dass die hier auch ein transversaler Anteil vorhanden ist. Das bedeutet, dass die Ausbreitung Richtungsabhängig ist. Da es sich bei Druckänderungen um Teilchenbewegungen handelt, kommt es zu Energieverlusten (durch Umwandlung in Wärme). Das bedeutet, dass die Intensität bei Ausbreitung in  $x$ -Richtung exponentiell abfällt

$$I(x) = I_0 e^{-\alpha x}, \quad \alpha > 0. \quad (3)$$

Da der Absorptionskoeffizient  $\alpha$  von Luft beispielsweise sehr groß ist, wird üblicherweise ein Kontaktmittel zwischen Schallgeber und Material verwendet. So kann der Energieverlust verringert werden. Nicht zu verhindern ist die Reflexion an einer Grenzfläche zwischen einem Medium mit akustischer Impedanz  $Z_1$  und einem zweiten Medium mit  $Z_2$ . Das Verhältnis von einfallender und reflektierter Welle wird durch den Reflexionskoeffizienten

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

beschrieben. Der transmittierte Anteil ist dann  $T = 1 - R$ .

## 1.2 Verfahren der Ultraschallechographie

Um Medien mit Hilfe von Ultraschall zu untersuchen wird meistens eine der folgenden Methoden verwendet.

### Durchschallungsverfahren (Abbildung 1a)

Ein Ultraschallsender sendet einen Impuls aus. Die Welle breitet sich durch das Medium aus und wird danach von einem Empfänger detektiert. Befindet sich beispielsweise ein Fremdkörper im Material wird das vom Empfänger in Form einer abgeschwächten Intensität registriert.

### Impuls-Echo-Verfahren (Abbildung 1b)

Auch hier sendet der Ultraschallsender einen Impuls aus. Die Schallwelle propagiert im Medium. Hinter dem Medium sollte ein Material mit möglichst kleiner akustischer Impedanz sein, sodass ein Großteil der Welle reflektiert wird. Die Welle läuft zurück und wird vom Sender, der gleichzeitig Empfänger ist, detektiert. Ein Fremdkörper wird dadurch bemerkt, dass die hinlaufende Welle schon an ebendiesem reflektiert wird und somit vor der bis zum Ende gelaufenen Welle am Empfänger ankommt.



**Abbildung 1:** Prinzipielle Darstellung der Verfahren, mit denen Materialien mit Hilfe von Ultraschall untersucht werden können

Bei beiden Verfahren kann die Länge des untersuchten Körpers mit Hilfe von

$$L = c \cdot \Delta t \quad (5)$$

bestimmt werden, wenn die Schallgeschwindigkeit des Mediums bekannt ist. Wichtig ist dabei, dass die Durchlaufzeit  $\Delta t$  die Zeit ist, die vergeht, bis die Strecke  $L$  zurückgelegt wird, beim Impuls-Echo-Verfahren wird in der gemessenen Zeit allerdings die Strecke  $2L$  zurückgelegt.

## 1.3 Darstellung der Signale

### A-Scan

Im A-Scan wird das reflektierte Signal als Funktion der Zeit oder der Eindringtiefe dargestellt. Für letzteres muss die Schallgeschwindigkeit im untersuchten Objekt bekannt sein.

### B-Scan

Bei einem B-Scan wird ein Objekt in zwei Dimensionen untersucht. Mit Hilfe verschiedener Farben wird die Intensität des reflektierten Signals an jedem Ort dargestellt.

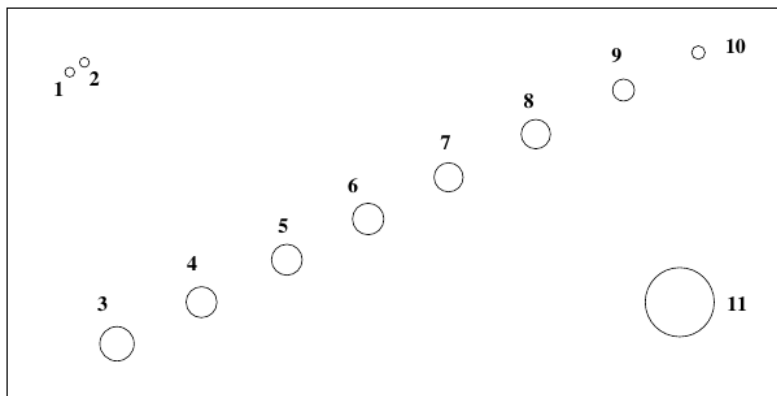
### TM-Scan

Der Time-Motion-Scan ist dem B-Scan sehr ähnlich. Allerdings liegt der Fokus hier nicht auf der räumlichen Situation, sondern auf der zeitlichen Veränderung des reflektierten Signals.

## 2 Aufbau und Ablauf des Experiments

Der Versuch besteht aus zwei Teilen. Zunächst wird ein Acrylblock mit Unregelmäßigkeiten untersucht. Die eing Bohrten Löcher mit unterschiedlichem Radius sind wie in Abbildung 2 nummeriert. Die Struktur des Blockes wird sowohl mit einem A-Scan als auch mit einem B-Scan von beiden Längsseiten untersucht.

Im zweiten Versuchsteil wird ein die Bewegung eines Herzens simuliert und mit einem TM-Scan aufgenommen. Das Herzmodell besteht aus einem Zylinder der zu einem Drittel mit Wasser gefüllt ist. Der Zylinderboden ist eine Membran, die per handbetriebener Pumpe auf und ab bewegt wird.



**Abbildung 2:** Nummerierung der Löcher im Acrylblock

### 3 Auswertung

#### 3.1 A-Scan

Die Tiefe der Löcher  $d_{\text{gemessen}}$  im Acrylblock werden zunächst mit einer Schieblehre vermessen. Der A-Scan liefert im Anschluss daran Aufschluss über die Laufzeiten bis zur Stelle, an der der Schall reflektiert wird und zurück. Die nach

$$s = \frac{1}{2} \cdot c_{\text{Acryl}} \cdot t \quad (6)$$

mit  $c_{\text{Acryl}} = 2730 \text{ m/s}$  berechneten Tiefen  $d_{\text{berechnet}}$  sind alle etwas zu groß. Das liegt an der Übergangsschicht. Sie hat ungefähr die Dicke

$$d_{\text{Übergangsschicht}} = \frac{1}{11} \sum (d_{\text{berechnet}} - d_{\text{gemessen}}) \quad (7)$$

Die Messdaten führen zu Dicken der Übergangsschicht von

$$d_{\text{Übergangsschicht}, 1} = 0.84 \text{ mm} \quad (8)$$

$$d_{\text{Übergangsschicht}, 2} = 1.02 \text{ mm} \quad (9)$$

Die wirkliche Tiefe ergibt sich damit nach

$$d_{\text{korrigiert}} = d_{\text{berechnet}} - d_{\text{Übergangsschicht}} \quad (10)$$

Es ist immer die Tiefe der Lochoberkante gemeint. Die Werte für die beiden Messreihen sind in Tabelle 1 dargestellt.

$d_{\text{berechnet}}$	$d_{\text{korrigiert}}$	$d_{\text{berechnet}}$	$d_{\text{korrigiert}}$
20.75	19.90	60.61	59.59
18.84	17.99	62.52	61.50
62.24	61.40	14.47	13.45
54.87	54.03	22.66	21.64
47.23	46.39	31.39	30.37
40.68	39.83	39.59	38.56
31.94	31.10	47.64	46.62
24.16	23.32	55.56	54.54
16.11	15.26	63.75	62.73
8.19	7.35	71.94	70.92
56.37	55.53	16.52	15.50

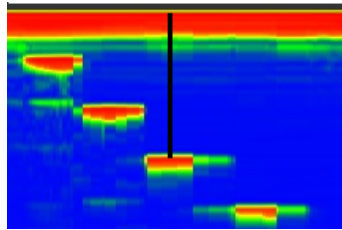
**Tabelle 1:** Aus den A-Scans bestimmte Abstände der Löcher zum Rand in mm

<sup>2</sup><http://www.olympus-ims.com/de/ndt-tutorials/thickness-gage/appendices-velocities/>

### 3.2 B-Scan

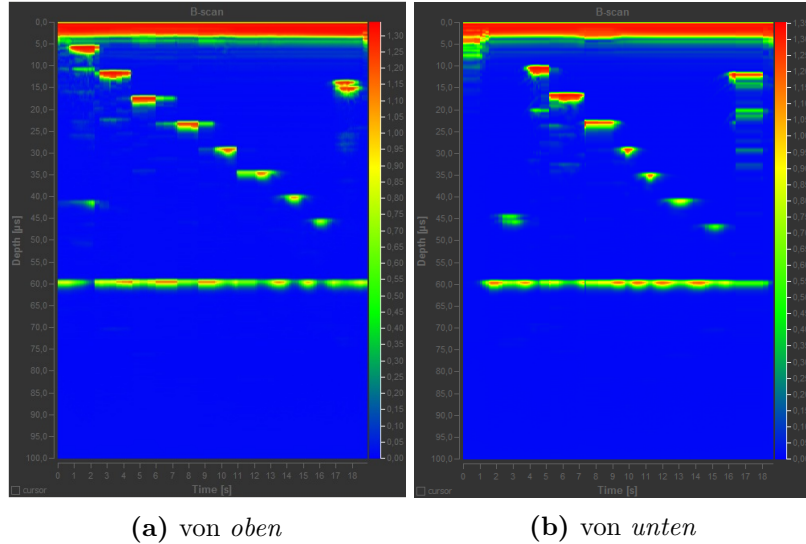
Zur einfacheren Beschreibung des Vorgehens wird nun definiert, dass die obere Kante in Abbildung 2 *oben* sein soll und die in der Abbildung untere Kante *unten*.

Es werden zwei B-Scans aufgenommen, einmal mit *oben* oben und einmal mit *unten* oben. Sie sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Skala jeweils rechts kennzeichnet die Stärke des reflektierten Signals. Mit Hilfe des Bildbearbeitungsprogrammes *gimp* und seiner *Measure*-Funktion werden die Laufzeiten der Signale in den Graphiken gemessen. Genauer: Die Laufzeit des Signals von *oben* bis zum jeweiligen Loch wird aus 4a und die Laufzeit von *unten* wird aus 4b abgelesen. Abbildung 3 zeigt welcher Abstand dafür genau gewählt wird.



**Abbildung 3:** Die senkrechte schwarze Linie kennzeichnet welcher Abstand im B-Scan zur Bestimmung der Laufzeit des Signals verwendet wird.

Das Computerprogramm misst die Abstände in Pixeln. Zur Umrechnung in Sekunden



**Abbildung 4:** Aufgenommene B-Scans

wird mit der linken Skala der Maßstab

$$100 \mu\text{s} \hat{=} 543 \text{ Pixel} \quad (11)$$

bestimmt. Die so bestimmten Laufzeiten stehen in Tabelle 2. Loch 10 müsste im Scan 4b rechts unten zu sehen sein. Wie an dem verschmierten Signal darüber von Loch 11 zu sehen ist, ist die Aufnahme dort nicht optimal, sodass kein Wert gemessen werden kann

$\tilde{t}_{\text{oben}}$ in Pixel	$t_{\text{oben}}$ in $\mu\text{s}$	$\tilde{t}_{\text{unten}}$ in Pixel	$t_{\text{unten}}$ in $\mu\text{s}$
80	14.73	238	43.83
73	13.44	245	45.12
247	45.49	54	9.94
216	39.78	88	16.21
186	34.25	123	22.65
156	28.73	156	28.73
125	23.02	189	34.81
92	16.94	221	40.70
60	11.05	253	46.59
29	5.34	0	0.00
224	41.25	63	11.60

**Tabelle 2:** Aus den B-Scans bestimmte Laufzeiten in Pixeln  $\tilde{t}$  und umgerechnete Laufzeiten  $t$

und der Wert 0 eingetragen wird.

Mit der schon in 3.1 verwendeten Schallgeschwindigkeit  $c_{\text{Acryl}} = 2730 \text{ m/s} = c$  kann nun der Abstand der Löcher nach *oben*

$$s_{\text{oben}} = c \cdot t_{\text{oben}} , \quad (12)$$

bzw. nach *unten*

$$s_{\text{unten}} = c \cdot t_{\text{unten}} , \quad (13)$$

berechnet werden. Die Vermessung des Quaders ergibt eine Gesamthöhe von

$$h = 80.20 \text{ mm} , \quad (14)$$

sodass auch der Durchmesser der Löcher

$$d = h - s_{\text{oben}} - s_{\text{unten}} \quad (15)$$

bestimmt werden kann. Die so berechneten Werte werden in Tabelle 3 mit den gemessenen Werten verglichen.

### 3.3 TM-Scan

Zunächst wird mit einem A-Scan die Laufzeit eines Ultraschall-Signals im Ruhezustand bestimmt. Sie beträgt

$$t = 58.3 \mu\text{s} . \quad (16)$$

Mit der Schallgeschwindigkeit in Wasser  $c_{\text{Wasser}} = 1480 \text{ m/s}$ <sup>3</sup> wird die Wasserhöhe

$$h_{\text{Herz}} = 43.3 \text{ mm} \quad (17)$$

<sup>3</sup>Tabellen-Anhang A 2.2, W. Walcher: *Praktikum der Physik*, Teubner Studienbücher Physik, 1989.



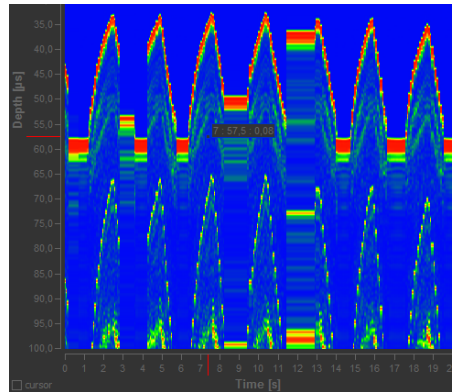
$s_{\text{oben}}$	$s_{\text{unten}}$	$d$	$\tilde{d}$
20.11	59.83	0.26	-035
18.35	61.59	0.26	0.25
62.09	13.57	4.53	5.80
54.30	22.12	3.78	4.30
46.76	30.92	2.52	3.55
39.22	39.22	1.77	2.30
31.42	47.51	1.27	2.90
23.13	55.56	1.52	2.05
15.08	63.60	1.52	1.90
7.29	0.00	72.91	2.20
56.31	15.84	8.05	9.80

**Tabelle 3:** Berechnete Abstände der Löcher zum oberen Rand  $s_{\text{oben}}$  und zum unteren Rand  $s_{\text{unten}}$ , die daraus bestimmte Dicke der Löcher  $d$  und die gemessene Dicke der Löcher. Alle Werte in mm.

bestimmt. Während des Pumpens, wird ein TM-Scan durchgeführt, der in Abbildung 5 zu sehen ist. Daraus wird abgelesen, dass das Herz mit einer Frequenz von

$$\nu = \frac{6}{16} \text{ Hz} = 0.375 \text{ Hz} \quad (18)$$

“schlägt“.



**Abbildung 5:** TM-Scan eines pulsierenden Herz-Modells

Als Diastole wird die Phase bezeichnet, in der sich das Herz entspannt und dadurch mit Blut füllt. Im TM-Scan sind das die abfallenden Flanken der Peaks, an den Tiefpunkten ist das Blutvolumen im Herzmodell maximal. Dieses Volumen wird enddiastolisches Herzvolumen EDV genannt. In diesem Fall, ist das das Volumen eines Zylinders mit Höhe  $h_{\text{Herz}}$  und Durchmesser

$$d_{\text{Herz}} = 49.45 \text{ mm} . \quad (19)$$

Während der Systole kontrahiert das Herz und pumpt das Blut in den Körper, die Kurve im TM-Scan steigt. Das Maximum der Kurve kennzeichnet den Zeitpunkt des endsystolischen

Volumens ESV, es ist das kleinste Blutvolumen während eines Zyklusses. Das ESV wird als der Zylinder mit  $h_{\text{Herz}}$  und  $d_{\text{Herz}}$ , reduziert durch das Volumen eines Kugelsegments mit Durchmesser  $d_{\text{Herz}}$  und Höhe  $a$  genähert. In Formeln ausgedrückt bedeutet das

$$EDV = \pi \frac{d_{\text{Herz}}^2}{4} h_{\text{Herz}} \quad (20)$$

$$ESV = \pi \frac{d_{\text{Herz}}^2}{4} h_{\text{Herz}} - \frac{a}{3} \pi (3d_{\text{Herz}}^2 + a^2) . \quad (21)$$

Das Herzvolumen HZV ist definiert als

$$\text{HZV} = (\text{EDV} - \text{ESV}) \cdot \nu \quad (22)$$

$$= \frac{a}{3} \pi \left( \frac{3}{4} d_{\text{Herz}}^2 + a^2 \right) \cdot \nu . \quad (23)$$

Aus dem TM-Scan werden die Laufzeiten der Schallwelle an den Minima und Maxima mit der in Kapitel 3.2 beschriebenen Methode extrahiert. Sie sind in Tabelle 4 aufgetragen. Die Werte der Maxima und der Minima werden jeweils gemittelt und mit der Differenz der beiden  $t_{\text{Herz}}$  kann die Höhe  $a$  bestimmt werden

$$a = \frac{1}{2} c_{\text{Wasser}} t_{\text{Herz}} = (17.2 \pm 0.4) \text{ mm} . \quad (24)$$

Damit kann das Herzvolumen bestimmt werden

$$\text{HZV} = (14.4 \pm 0.4) \text{ cm}^3 . \quad (25)$$

$\tilde{t}_{\text{max}}$ in Pixel	$t_{\text{max}}$ in $\mu\text{s}$	$\tilde{t}_{\text{min}}$ in Pixel	$t_{\text{min}}$ in $\mu\text{s}$
179	32.97	315	58.01
179	32.97	314	57.83
179	32.97	315	58.01
179	32.97	268	49.36
185	34.07	315	58.01
185	34.07	316	58.20
191	35.17	315	58.01

**Tabelle 4:** Aus dem TM-Scan bestimmte Laufzeiten in Pixeln  $\tilde{t}$  und umgerechnete Laufzeiten  $t$

## 4 Diskussion

Tabelle 5 zeigt die Abweichungen der berechneten Abstände der Löcher zum Rand zu den mit der Schieblehre gemessenen Werten. Diese Abweichungen sind alle sehr klein und gehen sowohl nach unten als auch nach oben, sodass die Berechnungsmethoden als gut bezeichnet werden können. Allerdings nur, wenn bei den B-Scans die Grenzschicht ignoriert wird. Wird beachtet, dass die Messung der Pixel eigentlich erst unterhalb des roten Balkens beginnen sollte, sind die Abstände viel zu klein. Woran das liegt ist unklar.

$a_{A,oben}$	$a_{B,oben}$	$a_{A,unten}$	$a_{B,unten}$
3.1	2.1	0.7	0.3
1.4	-0.6	0.3	0.2
-0.2	-1.3	-2.7	-3.6
0.3	-0.2	0.3	-1.9
0.7	-0.1	-1.4	-3.2
-2.3	-0.7	1.0	-0.7
-1.0	-2.0	-0.3	-2.2
0.4	1.2	0.4	-1.5
0.9	2.1	0.3	-1.1
-4.2	-3.4	0.0	100.0
-0.1	-1.5	-4.0	-6.3

**Tabelle 5:** Abweichung  $a$  der berechneten Abstände der Löcher zum oberen Rand  $a_{oben}$  und zum unteren Rand  $a_{unten}$  in Prozent

## Abbildungsverzeichnis

1	Prinzipielle Darstellung der Verfahren, mit denen Materialien mit Hilfe von Ultraschall untersucht werden können . . . . .	3
2	Nummerierung der Löcher im Acrylblock . . . . .	4
3	Die senkrechte schwarze Linie kennzeichnet welcher Abstand im B-Scan zur Bestimmung der Laufzeit des Signals verwendet wird. . . . .	6
4	Aufgenommene B-Scans . . . . .	6
5	TM-Scan eines pulsierenden Herz-Modells . . . . .	8

## Tabellenverzeichnis

1	Aus den A-Scans bestimmte Abstände der Löcher zum Rand in mm . . . .	5
2	Aus den B-Scans bestimmte Laufzeiten in Pixeln $\tilde{t}$ und umgerechnete Laufzeiten $t$ . . . . .	7
3	Berechnete Abstände der Löcher zum oberen Rand $s_{\text{oben}}$ und zum unteren Rand $s_{\text{unten}}$ , die daraus bestimmte Dicke der Löcher $d$ und die gemessene Dicke der Löcher. Alle Werte in mm. . . . .	8
4	Aus dem TM-Scan bestimmte Laufzeiten in Pixeln $\tilde{t}$ und umgerechnete Laufzeiten $t$ . . . . .	9
5	Abweichung $a$ der berechneten Abstände der Löcher zum oberen Rand $a_{\text{oben}}$ und zum unteren Rand $a_{\text{unten}}$ in Prozent . . . . .	10