

US2: Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Simon Schulte
simon.schulte@udo.edu

Tim Sedlacek
tim.sedlacek@udo.edu

Durchführung: 20.06.2017
Abgabe: 27.06.2017

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	1
2	Theorie	1
3	Versuchsaufbau	3
4	Versuchsdurchführung	4
5	Fehlerrechnung	5

1 Zielsetzung

Ziel des Versuchs ist es, verschiedene Scanverfahren zur Ultraschallechographie kennenzulernen.

2 Theorie

Als Ultraschall werden die Schallwellen bezeichnet, die eine Frequenz zwischen 20 kHz und 1 GHz haben. Ultraschalluntersuchungen finden vor allem Verwendung in der Medizin. Ultraschall ist natürlich auch Schall und Schall lässt sich als longitudinale Welle mathematisch als

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

beschreiben. Hierbei ist Z der Schallkennwiderstand, der sich als $Z = c \cdot \rho$ beschreiben lässt mit der Dichte ρ des durchstrahlten Materials und der Schallgeschwindigkeit c , welche durch das betrachtete Material festgelegt wird. Die Schallgeschwindigkeit einer Flüssigkeit lässt sich durch

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

berechnen. Dabei bezeichnet κ die Kompressibilität und ρ die Dichte der Flüssigkeit. Die Schallgeschwindigkeit von Festkörpern lässt sich durch

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

berechnen. Dabei bezeichnet E das Elastizitätsmodul und ρ die Dichte des Festkörpers. Die Analogie zur Schallgeschwindigkeitsberechnung in Flüssigkeiten ist gegeben durch die Beziehung $E \iff \kappa^{-1}$. Im Gegensatz zu Schall in Flüssigkeiten treten beim Schall durch Festkörper sowohl Longitudinalwellen als auch Transversalwellen auf. Dabei bezeichnet die Relation

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

die Tatsache, dass die Intensität I_0 einer Schallwelle exponentiell mit der Strecke x abnimmt. Es geht Energie durch Absorption verloren. α bezeichnet dabei den Absorptionskoeffizient der Schallamplitude. Der Reflexionskoeffizient

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

gibt das Verhältnis von reflektierter und einfallender Schallintensität an. Dabei bezeichnet $Z = \rho \cdot c$ die akustische Impedanz.

Um Ultraschall zu erzeugen wird der piezo-elektrische Effekt genutzt. Dabei wird ein piezoelektrischer Kristall in ein elektrisches Wechselfeld gegeben. Dadurch werden Schwingungen im Ultraschallbereich angeregt. Es ist auch möglich den Piezokristall als Empfänger zu nutzen. Dann regen die Schallwellen den Kristall an. Bei diesen Kristallen sind

gleichbleibende physikalische Eigenschaften sinnvoll.

Abbildung 1 zeigt das Durchschallungsverfahren. Ein Ultraschallsender sendet einen kurzzeitigen Schallimpuls aus. Dieser wird am anderen Ende des Probenstücks mit einem Ultraschallempfänger aufgefangen. Diese Methode bietet den Vorteil, dass sie zwar zuverlässig Fehlstellen im Material feststellen kann, aber nicht deren genauen Ort vorhersagen.

Durchschallungs–Verfahren

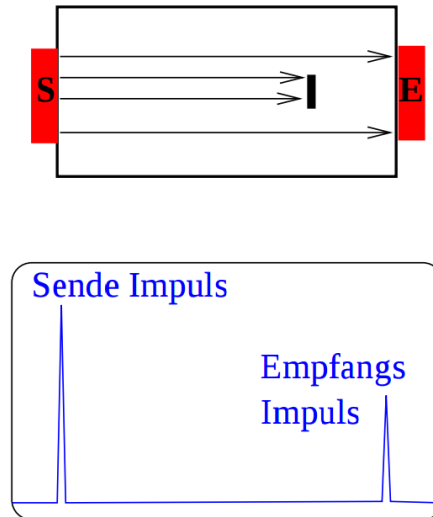


Abbildung 1: Das Durchschallungsverfahren. [anleitung]

Abbildung 2 zeigt das Impuls-Echo-Verfahren. Hier wird erneut ein Schallimpuls von einem Ultraschallsender ausgesendet. Beim Impuls-Echo-Verfahren wird dieser allerdings an einer Grenzfläche reflektiert und vom Ultraschallsender wieder aufgenommen. Somit lassen sich auch Aussagen über die Größe der Fehlstelle machen. Dafür wird die Formel

$$s = \frac{1}{2}ct \quad (6)$$

genutzt. Dabei bezeichnet c die Schallgeschwindigkeit in dem jeweiligen Medium und t die Zeit.

Impuls-Echo-Verfahren

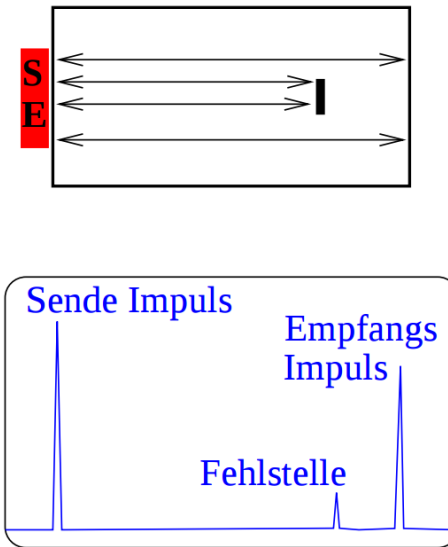


Abbildung 2: Das Impuls-Echo-Verfahren. [anleitung]

Der Amplituden Scan (A-Scan) stellt die Echoamplituden als Funktion der Zeit dar. Der A-Scan ist ein eindimensionales Scanverfahren. Der Brightness Scan (B-Scan) stellt die Echoamplituden in Helligkeitsabstufungen dar. Der B-Scan ist ein zweidimensionales Scanverfahren. Dafür muss die Sonde über das zu untersuchende Material bewegt werden. Der Time-Motion Scan (TM-Scan) kann die Bewegung eines Organs durch eine schnelle Abtastung aufnehmen.

3 Versuchsaufbau

Es werden ein Ultraschallechoskop, eine Ultraschallsonde mit einer Frequenz von 1 MHz und eine Ultraschallsonde mit einer Frequenz von 4 MHz verwendet. Diese sind an einen PC angeschlossen, welcher für die Datenaufnahme und die Datenanalyse verantwortlich ist. Als Kontaktmittel wird immer bidestilliertes Wasser genutzt.

In diesem Versuch wird ein Acrylblock mit verschiedenen Bohrungen genutzt. Abbildung 3 zeigt den Aufbau des verwendeten Acrylblocks.

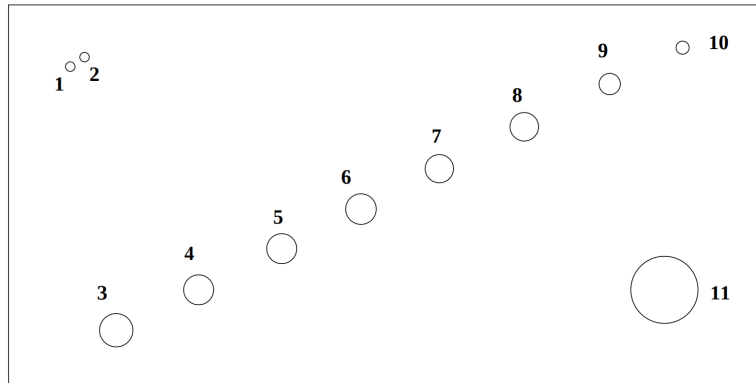


Abbildung 3: Der Aufbau des Acrylblocks. [anleitung]

4 Versuchsdurchführung

Zunächst werden die Abmessungen des verwendeten Acrylblocks mit einer Schieblehre bestimmt. Dabei ergeben sich die Werte:

$$\text{Breite} = 15,025 \text{ cm}$$

$$\text{Tiefe} = 8,04 \text{ cm}$$

$$\text{Dicke} = 4,03 \text{ cm.}$$

Danach wird mit Hilfe des Impuls-Echo-Verfahrens die Lage der Bohrungen im Acrylblock bestimmt. Dafür wird zunächst etwas destilliertes Wasser auf den Acrylblock getropft um danach mit einer 1 MHz Sonde den Block zu untersuchen. Als nächstes werden die Tiefen der jeweiligen Störstelle bestimmt. Dafür werden an verschiedenen Stellen mit Hilfe des A-Scans die Schalllaufzeiten gemessen. Diese Messung wird nach Umdrehen des Acrylblocks wiederholt. Mit diesen Werten ist es dann möglich die Größen der Störstellen zu bestimmen. Als nächstes werden die Bohrungen 1 und 2 genauer betrachtet. Mit einem A-Scan werden diese beiden Bohrungen nun vermessen, um das Auflösungsvermögen zu untersuchen.

Nun wird der Acrylblock mit dem B-Scan untersucht. Es wird erneut der Acrylblock mit destilliertem Wasser betröpfelt. Dann wird mit der 4 MHz Sonde der Block untersucht. Danach wird die Sonde langsam und konstant über den Acrylblock geführt, um einen genauen B-Scan zu bekommen. Danach wird der Block umgedreht und die Messung wiederholt. Als letzten Teil der Untersuchung des Acrylblocks mit dem B-Scan werden aus den erlangten Bildern die Abmessungen der Störstellen bestimmt.

Als letztes wird mit Hilfe des TM-Scans ein Herzmodell untersucht. Das Herzmodell wird dafür zu etwa einem Drittel mit Wasser befüllt und die Sonde so positioniert, dass sie grade so einen vollständigen Kontakt zur Wasseroberfläche hat. Dann wird die Laufzeit des Echos mit einem A-Scan bestimmt. Dann wird eine Herzfrequenz simuliert. Diese

wird mit einem TM-Scan aufgenommen. Mit den gemessenen Daten lässt sich dann auch das Herzvolumen bestimmen.

Für die Schallgeschwindigkeiten ergeben sich die Werte:

$$\begin{aligned}v_L &= 343 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\v_W &= 1450 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\v_A &= 2730 \frac{\text{m}}{\text{s}}.\end{aligned}$$

Dabei bezeichnet v_L die Schallgeschwindigkeit in der Luft, v_W die Schallgeschwindigkeit in destilliertem Wasser und v_A die Schallgeschwindigkeit in Acryl.

5 Fehlerrechnung

Die in der Auswertung verwendeten Mittelwerte mehrfach gemessener Größen sind gemäß der Gleichung

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

bestimmt. Die Standardabweichung des Mittelwertes ergibt sich dabei zu

$$\Delta\bar{x} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (8)$$

Resultiert eine Größe über eine Gleichung aus zwei oder mehr anderen fehlerbehafteten Größen, so berechnet sich der Gesamtfehler nach der Gaußschen Fehlerfortpflanzung zu

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2}. \quad (9)$$

Alle in der Auswertung angegebenen Größen sind stets auf die erste signifikante Stelle des Fehlers gerundet. Setzt sich eine Größe über mehrere Schritte aus anderen Größen zusammen, so wird erst am Ende gerundet, um Fehler zu vermeiden. Zur Auswertung wird das Programm Python verwendet.