

V353

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Katharina Popp
katharina.popp@tu-dortmund.de

Nicolai Weitkemper
nicolai.weitkemper@tu-dortmund.de

Durchführung: 18.05.2021

Abgabe: 25.05.2021

TU Dortmund – Fakultät Physik

Inhaltsverzeichnis

1	Zielsetzung	3
2	Theorie	3
2.1	Absorption von Ultraschallwellen	3
2.2	Erzeugung von Ultraschallwellen	4
2.3	Messung mit Ultraschallwellen	4
3	Vorbereitung	6
4	Durchführung	7
4.1	Messung eines Acrylblocks mit Fehlstellen	7
4.2	Messung der Abstände in einem Augenmodell	7

1 Zielsetzung

Dieser Versuch dient dazu, sich mit den Grundlagen der Ultraschalltechnik vertraut zu machen. Zu diesem Zweck werden zwei verschiedene Proben untersucht.

2 Theorie

In diesem Abschnitt werden die theoretischen Grundlagen der Ultraschalltechnik erläutert.

Für die Ultraschalltechnik werden Frequenzen in einem Bereich von 20 kHz bis 1 GHz verwendet, wobei dieser Bereich oberhalb des hörbaren Frequenzspektrums von 16 Hz bis 20 kHz liegt. Ultraschallwellen können, im Gegensatz zu Schallwellen aus dem hörbaren Spektrum, Gewebe durchdringen und werden deshalb in der Medizin oft verwendet.

Die Schallwellen sind longitudinale Wellen, die sich aufgrund von Druckschwankungen in der Luft nach der Gleichung

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

ausbreiten. Ihre Phasengeschwindigkeit ist im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen materialabhängig. Die Größe $Z = c \cdot \rho$ bezeichnet die akustische Impedanz, welche abhängig von der Schallgeschwindigkeit c im Medium und der Dichte ρ des Mediums ist.

Die Ausbreitung der Schallwelle verhält sich ebenfalls abhängig vom Medium. Es wird zwischen Flüssigkeiten und Festkörpern unterschieden.

Die Schallgeschwindigkeit in Flüssigkeiten kann mit

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

beschrieben werden, wobei κ die Kompressibilität darstellt. In Flüssigkeiten und Gasen ist die Schallwelle ausschließlich longitudinal.

Die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern kann mit

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

beschrieben werden, wobei das Elastizitätsmodul E gerade κ^{-1} ist. In Festkörpern ist die Schallgeschwindigkeit richtungsabhängig und aufgrund von Schubspannungen breitet sie sich sowohl longitudinal, als auch transversal aus.

2.1 Absorption von Ultraschallwellen

Wenn sich die Schallwelle im Medium ausbreitet, findet Absorption statt, was dazu führt, dass ein Teil der Energie verloren geht. Die Intensität mit dem Absorptionskoeffizienten α

$$I(x) = I_0 \exp(-\alpha x) \quad (4)$$

nimmt exponentiell mit der Strecke x ab. Zur Abschwächung der Absorption in Luft wird ein Kontaktmittel zwischen Schallgeber und Material genutzt. Beim Auftreffen einer Schallwelle auf die Grenzfläche wird ein Teil der Welle reflektiert und ein Teil wird transmittiert. Für den Reflexionskoeffizienten R ergibt sich

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

wobei sich das Verhältnis von einfallendem und reflektiertem Anteil durch die akustischen Impedanzen darstellen lässt. Für den Transmissionskoeffizienten gilt

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

2.2 Erzeugung von Ultraschallwellen

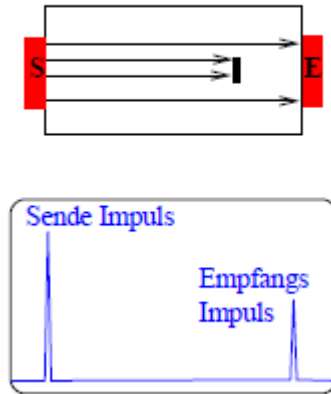
Die hier verwendete Methode zur Erzeugung von Ultraschallwellen ist der reziproke piezo-elektrische Effekt. Dazu wird ein Piezokristall in ein elektrisches Wechselfeld gebracht, welches den Kristall zu Schwingungen anregt und Ultraschallwellen erzeugt, für den Fall, dass das elektrische Feld in eine der Polarrichtungen des Kristalls zeigt. Bei Resonanzfrequenzen können große Schwingungsamplituden entstehen, sodass große Schallenergiedichten verwendet werden können.

Wenn der Piezokristall durch Schallwellen zum Schwingen angeregt wird, kann er auch als Empfänger dienen.

2.3 Messung mit Ultraschallwellen

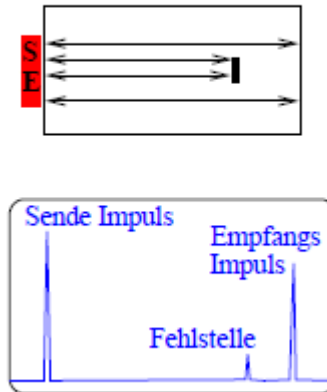
Zur Messung mit Ultraschalltechnik werden Laufzeitmessungen durchgeführt, wobei ein kurzzeitiger Schallimpuls ausgesendet wird, dessen Laufzeit gemessen wird wenn er auf einen Empfänger trifft.

Durchschallungs-Verfahren



(a) Das Durchschallungs-Verfahren zur Messung mit Ultraschallwellen.

Impuls-Echo-Verfahren



(b) Das Impuls-Echo-Verfahren zur Messung mit Ultraschallwellen.

Die Abbildungen 1a und 1b zeigen zwei verschiedene Möglichkeiten, mithilfe von Ultraschalltechnik zu messen.

Das Durchschallungs-Verfahren misst einen kurzzeitigen Schallimpuls, welcher an einem Sender erzeugt wird und durch eine Probe fliegt. Es wird die gemessene Intensität des Impulses untersucht, welche genau dann absinkt, wenn die Schallwelle eine Fehlstelle passiert, wobei die genaue Position der Fehlstelle in der Probe mit diesem Verfahren nicht bestimmt werden kann.

Das Impuls-Echo-Verfahren misst einen Schallimpuls, welcher an einer Grenzfläche reflektiert wird, sodass der Sender gleichzeitig auch als Empfänger dient. Bei diesem Verfahren kann die Position der Fehlstelle in der Probe mithilfe der Gleichung

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

bestimmt werden, wobei c die Schallgeschwindigkeit und t die Laufzeit des Schallimpulses darstellt. Mithilfe eines A-/B-Scans oder TM-Scans können Laufzeitdiagramme erstellt werden.

3 Vorbereitung

Als Vorbereitung für diesen Versuch sollten die Schallgeschwindigkeiten und die akustischen Impedanzen für Luft, destilliertes Wasser, Blut, Knochen und Acryl recherchiert werden.

Er ergaben sich die folgenden Werte für die Schallgeschwindigkeiten.

Tabelle 1: Schallgeschwindigkeiten in m/s.

<i>Luft</i>	<i>dest.Wasser</i>	<i>Blut</i>	<i>Knochen</i>	<i>Acryl</i>
-------------	--------------------	-------------	----------------	--------------

Für die akustischen Impedanzen ergaben sich die folgenden Werte.

Tabelle 2: Akustische Impedanzen in 10^6 N/m^3 .

<i>Luft</i>	<i>dest.Wasser</i>	<i>Blut</i>	<i>Knochen</i>	<i>Acryl</i>
-------------	--------------------	-------------	----------------	--------------

4 Durchführung

In diesem Versuch werden Fehlstellen in einem Plexiglasquader lokalisiert, sowie die Abstände in einem Augenmodell gemessen.

Für die Messung stehen ein Ultraschallechoskop, eine Ultraschallsonde mit einer Frequenz von 2 MHz und ein Computer mit einem Messprogramm zur Verfügung. Das Programm verfügt über die Einstellung der Laufzeit- und Tiefenmessung, wobei in diesem Versuch die Laufzeiten der Schallimpulse und die zugehörigen Spannungsamplituden gemessen werden. Mit einem Curser können die Piks der Spannung, welche bei Fehlstellen in der Probe entstehen, genau gemessen werden, wobei hier das Impuls-Echo-Verfahren verwendet wird, welches in Abbildung 1b in Kapitel 2 dargestellt ist. Es wird ein A-Scan durchgeführt. Als Kontaktmittel dienen bidestilliertes Wasser und Ultraschallgel, welches vor der Messung auf die Probe gegeben wird. Es muss darauf geachtet werden, dass die Sonde nicht zu stark auf die Probe gedrückt wird.

4.1 Messung eines Acrylblocks mit Fehlstellen

Zu Beginn wird der Acrylblock mithilfe einer Schieblehre ausgemessen, wobei diese Werte als Vergleich zur Ultraschallmessung dienen. Es werden die Seitenlängen, sowie die Abstände der Fehlstellen in dem Block von den Seiten gemessen.

Anschließend wird destilliertes Wasser als Kontaktmittel auf eine Längs-Seite der Probe gegeben. Mit der Ultraschallsonde werden dann die Fehlstellen abgetastet, wobei die Laufzeit der Schallimpulse und die zugehörige Spannungsamplitude notiert werden. Bei einer vorher eingestellten Schallgeschwindigkeit von $c = 2730 \text{ m/s}$ können die Positionen der Fehlstellen mithilfe der Gleichung (7) berechnet werden.

Dann wird die Messung für die gegenüberliegende Seite des Acrylblocks wiederholt.

4.2 Messung der Abstände in einem Augenmodell

Für diesen Versuch steht ein Modell eines Auges zur Verfügung, welches in der folgenden Abbildung 2 vereinfacht dargestellt ist.

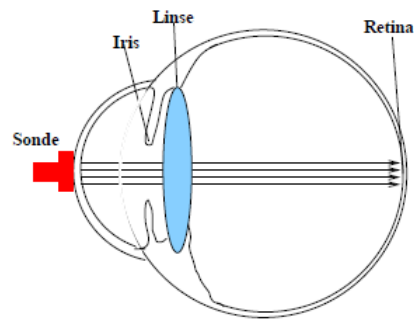


Abbildung 2: Der schematische Aufbau des Auges.

Für die Messung mit der Ultraschallsonde wird Ultraschallgel verwendet, damit die Sonde leichter auf der Oberfläche des Auges bewegt werden kann. Es werden drei Peaks gemessen, die von der Iris, der Linse und der Retina verursacht werden, und die entsprechenden Laufzeiten und Amplituden der Schallimpulse notiert.

Nach Abschluss der Messungen müssen die Ultraschallsonde und die Proben mithilfe von weichen Tüchern und Wasser vorsichtig gereinigt werden.