

US2: Scanverfahren in der Ultraschalltechnik

Ziel: Es sollen die Scan-Verfahren in der Ultraschallechographie kennengelernt und angewendet werden.

Stichworte: Auflösungsvermögen, A-Scan, B-Scan, TM-Scan, Durchschallungs Verfahren, piezo-elektrischer Effekt, Puls-Echo Verfahren, Reflexionskoeffizient, Schallgeschwindigkeit, Ultraschall

Motivation: In der Medizin wird der Ultraschall sowohl in der Therapie als auch zur Diagnose eingesetzt. So sind z.B. biometrische Messungen mit Ultraschall eine wichtige Methode in der Augenheilkunde.

Theoretische Grundlagen

Menschen hören in einem Frequenzbereich von ca. 16 Hz bis ca. 20 kHz. Der Frequenzbereich oberhalb der Hörschwelle, mit Frequenzen von ca. 20 kHz bis ca 1 GHz, wird *Ultraschall* genannt. Oberhalb von 1 GHz spricht man von Hyperschall und unterhalb der Hörschwelle von Infrashall. Der Bereich der Ultraschalltechnik findet dabei vielfach seine Anwendung in der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung und in der Medizin.

Schall ist eine longitudinale Welle,

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

die sich aufgrund von Druckschwankungen fortbewegt. Dabei ist $Z = c \cdot \rho$ die *akustische Impedanz* (oder Schallkennwiderstand), die durch die Dichte ρ des durchstrahlten Materials und der Schallgeschwindigkeit in diesem Material bestimmt wird. Eine Schallwelle verhält sich ähnlich einer elektromagnetischen Welle (Reflexion, Brechung,...), jedoch ist die Phasengeschwindigkeit (Schallgeschwindigkeit) der Schallwelle aufgrund der Druck- bzw. Dichteänderungen 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.

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

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} .

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

Dabei unterscheidet sich die Schallgeschwindigkeit für die Longitudinale- und Transversale Welle im Festkörper. Schallgeschwindigkeiten in Festkörpern sind grundsätzlich Richtungsabhängig.

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

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

dabei ist α der Absorptionskoeffizient der Schallamplitude. Da Luft den Ultraschall sehr stark absorbiert, verwendet man in der Regel in der Medizin zwischen Schallgeber und zu untersuchendem Material ein Kontaktmittel.

Trifft eine Schallwelle auf eine Grenzfläche so wird ein Teil der Schallwelle reflektiert. Der Reflexionskoeffizient R , das Verhältnis von reflektierten zu einfallender Schallintensität, setzt sich dabei aus der akustischen Impedanz $Z = \rho \cdot c$ der beiden angrenzenden Materialien zusammen.

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

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

Die Erzeugung von Ultraschall kann auf verschiedene Arten geschehen. Eine Methode ist die Anwendung des reziproken *piezo-elektrischen Effekt*. 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. Stimmt die Anregungsfrequenz mit der Eigenfrequenz des Kristalls überein (Resonanz), können große Schwingungsamplituden erzeugt werden, sodaß extrem hohe Schallenergiedichten genutzt werden können. 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.

In der Medizin verwendet man Ultraschall, um Informationen über den durchstrahlten Körper zu erhalten. Hierzu verwendet man häufig Laufzeitmessungen. Das Prinzip besteht darin, daß man einen kurzzeitigen Schallimpuls aussendet und dessen Laufzeit nach einer definierten Meßstrecke mit einem Empfänger mißt. Es werden zwei Verfahren in der Ultraschalltechnik angewendet, das Durchschallungs-Verfahren und das Impuls-Echo-Verfahren.

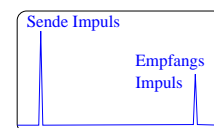
Beim *Durchschallungs-Verfahren* wird mit einem Ultraschallsender ein kurzzeitiger Schallimpuls ausgesendet und am anderen Ende des Probenstücks mit einem Ultraschallempfänger aufgefangen. Befindet sich eine Fehlstelle in der durchstrahlten Probe, so wird eine abgeschwächte Intensität am Ultraschallempfänger 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

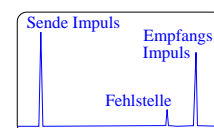
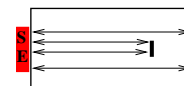
$$s = \frac{1}{2} c t \quad (6)$$

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

Durchschallungs-Verfahren



Impuls-Echo-Verfahren



In der Medizin werden verschiedene Darstellungsarten für die Laufzeitdiagramme verwendet.

- Der *A-Scan* (Amplituden Scan) ist ein eindimensionales Verfahren und wird zur Abtastung von Strukturen eingesetzt. Bei dieser Darstellung werden die Echoamplituden als Funktion der Laufzeit dargestellt.
- Mit dem *B-Scan* (Brightness Scan) kann durch Bewegen der Sonde ein zweidimensionales Bild aufgenommen werden. Die Echoamplituden werden in Helligkeitsabstufungen dargestellt, sodaß man ein zweidimensionales Schnittbild erhält.
- Der *TM-Scan* (Time-Motion Scan) kann durch eine schnelle Abtastung eine zeitliche Bildfolge aufnehmen, sodaß z.B. die Bewegung eines Organes sichtbar gemacht werden kann.

Vorbereitung

- Informieren Sie sich in der Literatur über die Schallgeschwindigkeit c in Luft, destilliertem Wasser und Acryl.

Aufgaben

- Mit einem A-Scan sollen die Störstellen in einem Acrylblock bestimmt werden.
- Es soll die axiale Auflösung zweier benachbarter Fehlstellen untersucht werden.
- Mit einem B-Scan sollen die Störstellen in einem Acrylblock bestimmt werden.
- An einem Herzmodell soll mit dem Time-Motion Verfahren die Herzfrequenz und das Herzvolumen bestimmt werden.

Versuchsaufbau

Der Experimentelle Aufbau besteht im wesentlichen aus einem Ultraschallechoskop, Ultraschallsonden verschiedener Frequenzen und einem Rechner für die Datenaufnahme und Datenanalyse. Das Echoskop kann nur im Impuls-Betrieb betrieben werden. Mit dem Kippschalter REFLEC./TRANS. kann der Einsatz von einer Ultraschallsonde (Impuls-Echo Verfahren) oder zwei gleichen Ultraschallsonden (Durchschallungs-Verfahren) gewählt werden. Die Sende- bzw. Empfangsleistung der Sonden können in einem Bereich von 0...30 dB bzw. 0...35 dB eingestellt werden. Es stehen für den Versuch Ultraschallsonden mit 1 MHz (blau), 2 MHz (rot) und 4 MHz (grün) zur Verfügung. Als Kontaktmittel wird bidestilliertes Wasser verwendet. Die Frequenz der angeschlossenen Sonde wird vom Echoskop automatisch erkannt und angezeigt.



**Die Ultraschallsonden sind empfindlich, deshalb
vorsichtig behandeln!!!**



Die vom Echoskop gemessenen Daten werden mit einem Rechner erfaßt und mit dem Programm AScan angezeigt und ausgewertet. Die Meßsoftware ist sofort nach dem Starten des

Programms aktiv. Der Bildschirm ist in 3 Bereiche gegliedert. Im oberen Bereich befindet sich eine Leiste zur Wahl der Scan-Art; der Knopf zum Abspeichern bzw zur Verarbeitung der gemessenen Signale (z.B. FFT) befinden sich auch in der obersten Leiste.

Bei der Wahl des **A-Scan** erscheinen zwei Bildschirmbereiche. Im oberen Fenster kann das A-Bild-Signal als Funktion der Zeit (Menüpunkt **Time**) oder als Funktion der Eindringtiefe (Menüpunkt **Depth**) dargestellt werden. Für die Berechnung der Eindringtiefe des Ultraschallpulses muß die Schallgeschwindigkeit (Menüpunkt **Sound Velocity [m/s]**) als Zahlenwert eingegeben werden. Die ständige Aktualisierung des aufgenommenen A-Scan-Bildes kann mit der **STOP**-Taste gestoppt und mit der **Start**-Taste wieder aktiviert werden. Für die Bestimmung von Laufzeitdifferenzen und zur Bestimmung der Pulsamplituden stehen Curser zur Verfügung.

Im unteren Fenster wird die laufzeit- bzw. tiefenabhängige Verstärkung (*Time Gain Control*) angezeigt, um Intensitätsschwächungen auszugleichen. Die Verstärkungsparameter *Threshold*, *Wide*, *Slope* und *Start* können am Echoskop eingestellt werden.

Bei Wahl der **FFT**-Taste kann ein weiteres Fenster geöffnet werden, das ein Frequenzspektrum und das zugehörige Cepstrum zeigt. Für die Berechnung der Spektren werden nur die Daten verwendet, die sich zwischen den beiden Cursern befindet.

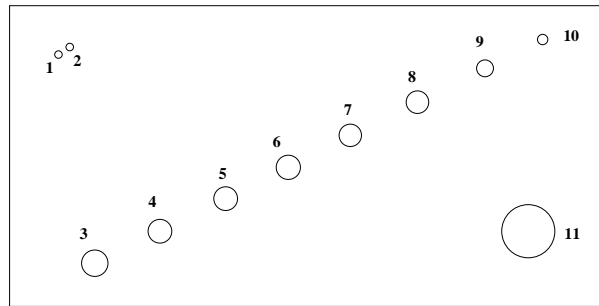
Die gemessenen Daten können im Ascii-Format mit dem Menüpunkt *Export* abgespeichert werden. Beim Menüpunkt *print* kann ein Bild des Bildschirmes auf einen Drucker oder die Daten in ein pdf-File geschrieben werden.

Für die Darstellung von Daten im *TM-Mode* werden die Fenster des **TM-Modes** durch Betätigen der entsprechenden Taste aufgerufen. Die Meßdaten, die mit dem Puls-Echo Verfahren gemessen werden, werden in einem Diagramm dargestellt, in dem auf der x-Achse die Meßzeit und auf der y-Achse die Laufzeit des Ultraschallpulses zu sehen ist. Mit **START** und **STOP** kann die Messung gestartet bzw. gestoppt werden. Mit Hilfe der **Zoom Area** können die Achsen skaliert werden.

Versuchsdurchführung

Untersuchung eines Acrylblocks mit dem A-Scan

- Bestimmen Sie die Abmessungen des Acrylblocks mit einer Schieblehre.
- Bestimmen Sie die Lage der Bohrungen mit dem Impuls-Echo-Verfahren. Stellen Sie hierzu den Acrylblock auf ein weiches Papiertaschentuch und koppeln Sie eine 1 MHz Sonde von oben auf den zu untersuchenden Block. Verwenden Sie Wasser als Koppelmittel.
- Messen Sie die Schalllaufzeiten (A-Scan) an verschiedenen Stellen, um aus den Zeiten die Tiefe der Störstellen zu bestimmen. Verwenden Sie die in der Literatur gefundene Schallgeschwindigkeiten.
- Drehen Sie den Acrylblock um und wiederholen Sie die Messungen. Auf diese Weise können sie die Größe der Störstellen bestimmen.
- Berücksichtigen Sie bei Ihrer Auswertung die Laufzeitkorrektur aufgrund der Schutzschicht auf den Sonden.



Untersuchung des Auflösungsvermögens

- In dem bisher untersuchten Acrylblock befinden sich zwei benachbarte Fehlstellen. Vermessen Sie mit einem A-Scan die beiden Bohrungen. Verwenden Sie wieder bidestilliertes Wasser als Koppelmedium. Wie gut ist die Auflösung mit einer 2 MHz Sonde. Wie könnte die Auflösung erhöht werden?

Untersuchung eines Acrylblocks mit dem B-Scan

- Bestimmen Sie nun die Lage der Bohrungen mit dem einem B-Scan. Stellen Sie hierzu den Acrylblock auf ein weiches Papiertaschentuch und koppeln Sie eine 2 MHz Sonde von oben auf den zu untersuchenden Block. Verwenden Sie wieder Wasser als Koppelmedium.
- Führen Sie an dem Acrylblock einen B-Scan durch indem Sie die Sonde langsam und mit möglichst konstanter Geschwindigkeit über den Acrylblock führen.
- Drehen Sie den Acrylblock um und führen Sie einen B-Scan durch.
- Ermitteln Sie aus den Bildern die Abmessungen der Störstellen und vergleichen Sie das Ergebnis mit den vorher bestimmten Ergebnissen.

Untersuchung eines Herzmodells mit dem TM-Scan

Für die Untersuchung der Herzfrequenz und des Herzvolumens steht ein einfaches Herzmodell zur Verfügung. Das Modell besteht aus einem Doppelgefäß mit einer beweglichen Membrane, die mit einem Gummiball periodisch gewölbt werden kann. Der charakteristische Kurvenverlauf des Herzens wird durch die rückströmende Luft erzeugt. Aus diesem kann die Herzfrequenz und das Schlagvolumen berechnet werden. Dabei werden aus der Messung des enddiastolischen Volumens (EDV) und des endsystolischen Volumen (ESV) das Herzvolumen $HZV = (EDS - EDV) \cdot \nu_{Herz}$ bestimmt, wobei ν_{Herz} die Herzfrequenz ist.

- Füllen Sie das Herzmodell zu einem Drittel mit Wasser und setzen Sie die Sonde so auf das Wasser, daß Sie die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Bestimmen Sie mit einem A-Scan die Laufzeit des Echos.

- Das Modell besitzt eine bewegliche Membrane, die mit einem Gummiball bewegt werden kann. Vergrößern Sie das Herzvolumen mit dem Gummiball und kontrollieren Sie, daß Sie das Echo des Eingangsimpulses immer noch mit dem A-Scan messen können. Die Sonde sollte dabei nur leicht in das Wasser eintauchen.
- Nehmen Sie nun die Herzfrequenz mit einem Time-Motion Scan auf und bestimmen Sie die Herzfrequenz.
- Aus der gemessenen Kurve kann das Herzvolumen bestimmt werden.



**Nach der Messung das Koppelmittel mit weichen
Papiertaschentüchern von der Probe und den Sonden
wischen!!!**



Literatur

- [1] G. Sorge *Faszination Ultraschall*, Teubner 2002
- [2] Geschke *Physikalisches Praktikum* Teubner