

Versuch US1: Grundlagen der Ultraschalltechnik

Martin Bieker
Julian Surmann

Durchgeführt am 22.04.2014
TU Dortmund

1 Einleitung

Ultraschall wird in vielen Bereichen der Medizin und Technik als bildgebendes Verfahren und zur zerstörungsfreien Werkstoffuntersuchung eingesetzt. In diesem Versuch sollen die Grundlagen dieser Technik untersucht werden.

2 Theorie

Schallwellen im Frequenzbereich von 20 Hz bis 1 GHz werden als Ultraschall bezeichnet. Schallwellen sind Druckschwankungen, welche sich als longitudinale Wellen durch ein Medium ausbreiten. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c hängt dabei vom Medium ab, in dem sich die Welle befindet. Propagiert der Schall von einem Medium in ein Anderes treten für Wellen typische Effekte wie zum Beispiel Brechung und Reflexion auf. Dieses Verhalten an Grenzflächen wird im Rahmen der Ultraschalltechnik zur Untersuchung eines Körpers verwendet.

2.1 Erzeugung und Detektion von Ultraschall

In den meisten Anwendungen wird Ultraschall mit Hilfe des reziproken piezo-elektrischen Effektes erzeugt. Hierbei wird ein Kristall (zum Beispiel Quarz) durch ein angelegtes elektrisches Feld zu Schwingungen angeregt. Stimmt die Frequenz der Anregung mit der Eigenfrequenz des Kristalls überein, so kommt es auf Grund von Resonanz zu einer Abstrahlung von Ultraschallwellen mit hoher Intensität. Die Umkehrung dieses Effektes wird auch zur Detektion des reflektierten Ultraschalls angewandt.

2.2 Messverfahren

Die Messung kann entweder mit einer oder mit zwei Ultraschallsonden durchgeführt werden. Letzteres ist das so genannte Durchschallungsverfahren. Hierbei wird der von einem Empfänger erzeugte Ultraschall durch die Probe geschickt und von einem Empfänger aufgezeichnet. Unregelmäßigkeiten zeigen sich durch eine geringere Intensität am Detektor. Um diese Fehlstellen zu lokalisieren wird das Impuls-Echo-Verfahren verwendet. Hier dient eine Sonde sowohl als Empfänger und als Sender. Diese sendet einen Ultraschallimpuls aus und misst danach die reflektierte Amplitude sowie deren Laufzeit. Diese Werte können auf verschiedene Arten dargestellt werden.

2.3 Darstellung der Messergebnisse

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die durch die Laufzeitmessung gewonnenen Daten darzustellen.

A-Scan Beim so genannten Amplituden-Scan werden die gemessenen Amplituden in einem Diagramm gegen die Laufzeit aufgetragen. So können eindimensionale Strukturen untersucht werden.

B-Scan Beim Brightness-Scan wird ein zweidimensionales Schnittbild der untersuchten Struktur erzeugt. Dabei die Sonde gleichmäßig über das Objekt bewegt und die gemessenen Amplituden in verschiedenen Helligkeitsstufen dargestellt.

TM-Scan Beim Time-Motion-Scan werden laufend B-Scans in kurzen Abständen erstellt, um Bewegungen innerhalb des untersuchten Objektes darzustellen.

3 Durchführung

Die Messungen werden mit einem Messcomputer durchgeführt, an welchen über einen Verstärker verschiedene Ultraschallsonden angeschlossen werden können. Es können 1 MHz, 2 MHz und 4 MHz-Sonden verwendet werden. Die Messdaten werden dann mit einer speziellen Software auf dem Messcomputer als A-Scan oder B-Scan dargestellt.

3.1 Messung der Schallgeschwindigkeit in Acryl

Die Bestimmung der Schallgeschwindigkeit durch eine Laufzeitmessung wird an drei zylinderförmigen Proben durchgeführt. Es muss zuerst die Strecke, welche der Schall in den Proben zurücklegt gemessen werden. Hierzu wird die Höhe der Zylinder mit Hilfe einer Schieblehre bestimmt.

3.1.1 Impuls-Echo-Verfahren

Zur Messung der Laufzeit mittels Impuls-Echo-Verfahren wird eine 2 MHz Ultraschall-Sonde an einen der Zylinder gekoppelt. Mit Hilfe eines A-Scans wird die Laufzeit in Abhängigkeit von der Zylinderhöhe bestimmt. Diese Messungen werden mit einer 1 MHz Sonde wiederholt.

3.1.2 Durchschallungsverfahren

Bei dieser Messungen werden jeweils zwei 2 MHz Sonden an die Stirnseiten der Zylinder gekoppelt. Danach wird die Laufzeit des Schalls durch den Zylinder mit einem A-Scan ermittelt. Die Messung wird mit den anderen Zylindern wiederholt.

3.2 Untersuchung eines Acrylblocks auf Fehlstellen

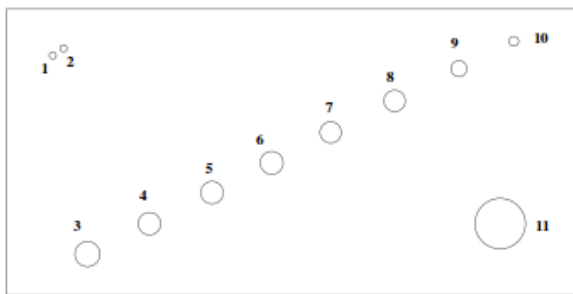


Abbildung 1: Quader mit Störstellen [1]

Abbildung 1 zeigt den zu untersuchenden Acrylblock. Zur Bestimmung von Lage und Groesse der Fehlstellen (Bohrungen) werden zunächst die Abmessungen des Blocks mit einer Schieblehre bestimmt. Danach wird eine 1 MHz Sonde auf die Oberseite des Blocks gekoppelt und deren Abstand zu den einzelnen Fehlstellen durch einen A-Scan bestimmt. Dabei sind

die im ersten Versuchsteil bestimmten Laufzeitfehler der Sonde zu berücksichtigen. Um die Groesse der Bohrungen zu bestimmen die Sonde an der entgegengesetzten Seite angekoppelt und der Abstand der Fehlstellen zur Unterseite durch einen weiteren A-Scan bestimmt. Da die Genauigkeit der Sonden von der Frequenz des Ultraschalls abhängen kann werden gerade durchgeführten Messungen mit einer 1 MHz Sonde wiederholt.

Danach wird um die Lage und Form der Bohrungen zu bestimmen ein B-Scan durchgeführt. Hierzu wird die Sonde gleichmässig und langsam über den Acrylblock bewegt, damit am Messcomputer ein zweidimensionales Schnittbild erzeugt werden kann.

3.3 Vermessung eines Augenmodells

Im letzten Versuchsteil sollen die Abmessungen eines Augenmodells bestimmt werden. Dazu wird wie in Abbildung 2 gezeigt, eine 2 MHz Sonde auf die Hornhaut des Modells gekoppelt. Mit einem A-Scan werden die Reflexionen des Ultraschalls an Iris, Linse und Retina bestimmt.

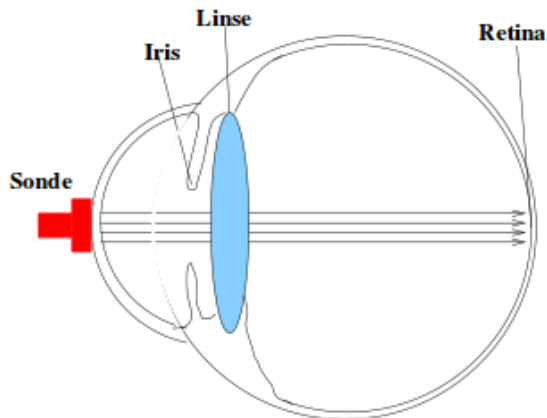


Abbildung 2: Modell eines Auges [1]

4 Auswertung

4.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit dem Impuls-Echo-Verfahren

Die drei Acrylzyylinder haben folgende Abmessungen:

Zylinder	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
Länge [m]	0.0397	0.0804	0.01205

Tabelle 1: Maße der Acrylzyylinder

Mit Hilfe der Sonden wurden folgende Laufzeiten des Echos ermittelt (Tabelle 2).

Mit Hilfe der Formel $v = \frac{s}{t}$ ergeben sich dann die Schallgeschwindigkeiten (Tabelle 3)

Allerdings weisen diese Schallgeschwindigkeiten einen systematischen Fehler auf. Mit Hilfe

Zylinder	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
Laufzeit (2 MHz) [$10^{-6}s$]	88.7	59.7	29.9
Laufzeit (1 MHz) [$10^{-6}s$]	90	60.9	31.0

Tabelle 2: Laufzeitmessung mit Impuls-Echo-Verfahren

Zylinder	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
v_{Schall} (2 MHz) [m/s]	2656	2693	2717
v_{Schall} (1 MHz) [m/s]	2561	2640	2678

Tabelle 3: Schallgeschwindigkeit mit Impuls-Echo-Verfahren

von linearer Regression wird die Funktion der Zeit in Abhängigkeit von der Strecke aufgetragen. Die Umkehrung der Steigung dieser Funktion ist die eigentliche Schallgeschwindigkeit. Der Laufzeitfehler ist mit dem Y-Achsenschnittpunkt der Funktion gegeben. Die geplotteten Regressionsgeraden sind in Abbildung 3 und 4 (Anhang) ersichtlich.

Die Schallgeschwindigkeiten der beiden Messungen ergeben sich damit zu 2739 m/s und 2748 m/s. Der Laufzeitfehler beträgt $2.07056306762 \cdot 10^{-6}s$ (1 MHz) bzw. $1.06907427036 \cdot 10^{-6}s$ (2 MHz). Die Schallgeschwindigkeiten liegen mit einer Abweichung von weniger als 3 % an dem in der Literatur angegebenen Wert von 2670 m/s.

4.2 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit dem Durchschallungs-Verfahren

Die Abmessungen der Acrylzyylinder sind Abschnitt 4.1 zu entnehmen. Die errechneten Werte der Schallgeschwindigkeit in Acryl sind in Tabelle 4 zu erkennen.

Zylinder	Zylinder 1	Zylinder 2	Zylinder 3
v_{Schall} (2 MHz) [m/s]	2496	2619	2672

Tabelle 4: Schallgeschwindigkeit mit Durchschallungsverfahren

4.3 Untersuchung eines Acrylblocks auf Fehlstellen

Der zu untersuchende Acrylblock ist 0.08 m hoch, 0.15 m breit und 0.042 m tief. Die Messungen finden über die Strecke von 0.08 m statt. Aus der Wellenlaufzeit des Echos lassen sich mit Hilfe der Formel $s = \frac{(t-b) \cdot c_{Acryl}}{2}$ die jeweiligen Abstände der Fehlstellen zur Messoberfläche berechnen. Die Laufzeitkorrektur ist hier schon angewandt. Wenn man beide Abstände von der Länge der Messstrecke abzieht, erhält man den Durchmesser der Fehlstellen. Alle ermittelten Werte sind in Tabelle 5 dargestellt. Ein B-Scan des Acrylblockes eignet sich nicht gut, um die Maße der Störstellen zu ermitteln, dafür ist die Fläche der Sensoren zu groß und die Geschwindigkeit des Sensors zu ungleichmäßig. Der B-Scan in in Abbildung 5 (Anhang) abgebildet.

4.4 Biometrische Untersuchung eines Augenmodells

Beim A-Scan des Auges war es relativ schwierig, eindeutige Werte zu messen. Nach einiger Zeit stellten sich vier Maxima ein:

Störstelle	Tiefe (von Unten)[m]	Tiefe (von Oben)[m]	Durchmesser Bohrung [m]
1	0.0589	0.0192	0.0019
2	0.0604	0.0176	0.0020
3	0.0132	0.0570	0.0098
4	0.0217	0.0531	0.0052
5	0.0302	0.0460	0.0038
6	0.0389	0.0383	0.0028
7	0.0468	0.0306	0.0025
8	0.0548	0.0223	0.0030
9	0.0627	0.0139	0.0034
10	n.a.	0.0061	n.a.
11	0.0152	0.0544	0.0104

Tabelle 5: Störstellen im Acrylblock

0.0117 0.0183 0.0253 0.0698

Tabelle 6: Echozeiten im Augenmodell in ms

Die vier Zeiten lassen sich den vier Störstellen des Augeninneren zuordnen: Der Iris, Linsenanfang/Linsenende und Retina. Mit den folgenden Formeln lassen sich die Tiefen der Störstellen ermitteln:

$$s_{Iris} = \frac{(t_1 - b) * c_{GK}}{2} \quad (1)$$

$$s_{LinseAußen} = \frac{(t_2 - b) * c_{GK}}{2} \quad (2)$$

$$s_{LinseInnen} = s_{LinseAußen} + \frac{(t_3 - t_2) * c_L}{2} \quad (3)$$

$$s_{Retina} = s_{LinseInnen} + \frac{(t_4 - t_3) * c_{GK}}{2} \quad (4)$$

In Tabelle 7 sind die Ergebnisse aufgelistet.

Iris	Linse (außen)	Linse (Innen)	Retina
0.00749 m	0.01215 m	0.02090 m	0.05227m

Tabelle 7: Abmessungen des Auges

Ein zusätzlicher B-Scan des Auges (quer über die Linse, Abbildung 6 im Anhang) zeigt, wie schwer es ist, eindeutige Werte zu ermitteln.

5 Diskussion

Insbesondere unter einfachen Bedingungen (Acrylblock mit eindeutigen Störstellen) ist die Untersuchung mit Ultraschall sehr genau. Kleine Störstellen "verstecken" sich allerdings

hinter großen und sind dann nicht messbar. Der B-Scan des Auges zeigt, wie schwer es ist, in einer weniger einfachen Umgebung eine Messung durchzuführen. Freiwillige Messungen verschiedener menschlicher Körperteile ergaben keine verwertbaren Ergebnisse.

6 Quellen

- [1] Entnommen der Praktikumsanleitung der TU Dortmund. Download am 28.04.14 unter:
<http://129.217.224.2/HOMEPAGE/PHYSIKER/BACHELOR/AP/SKRIPT/UltraschallGL.pdf>

7 Anhang

- Abbildungen 3-6
- Auszug aus dem Messheft

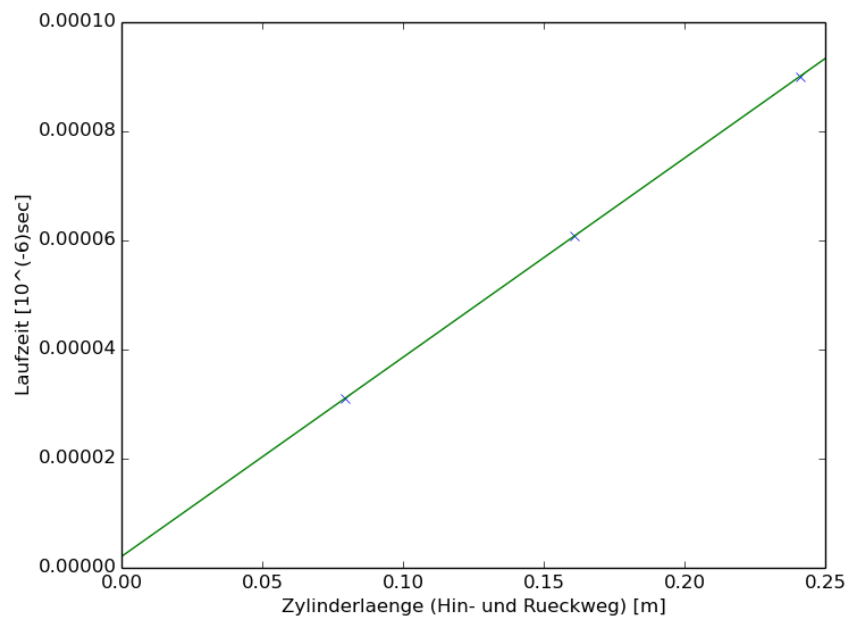


Abbildung 3: Plot für 1 MHz

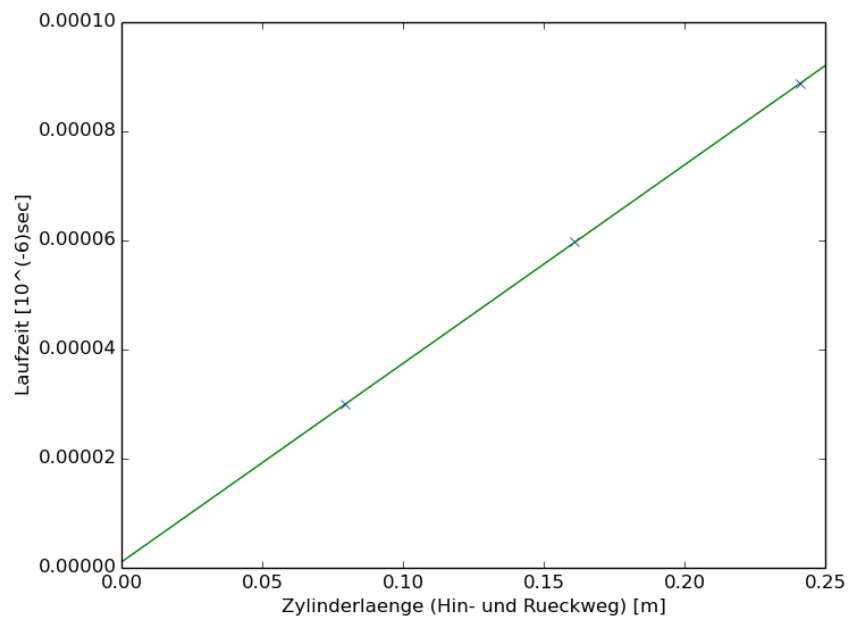


Abbildung 4: Plot für 2 MHz

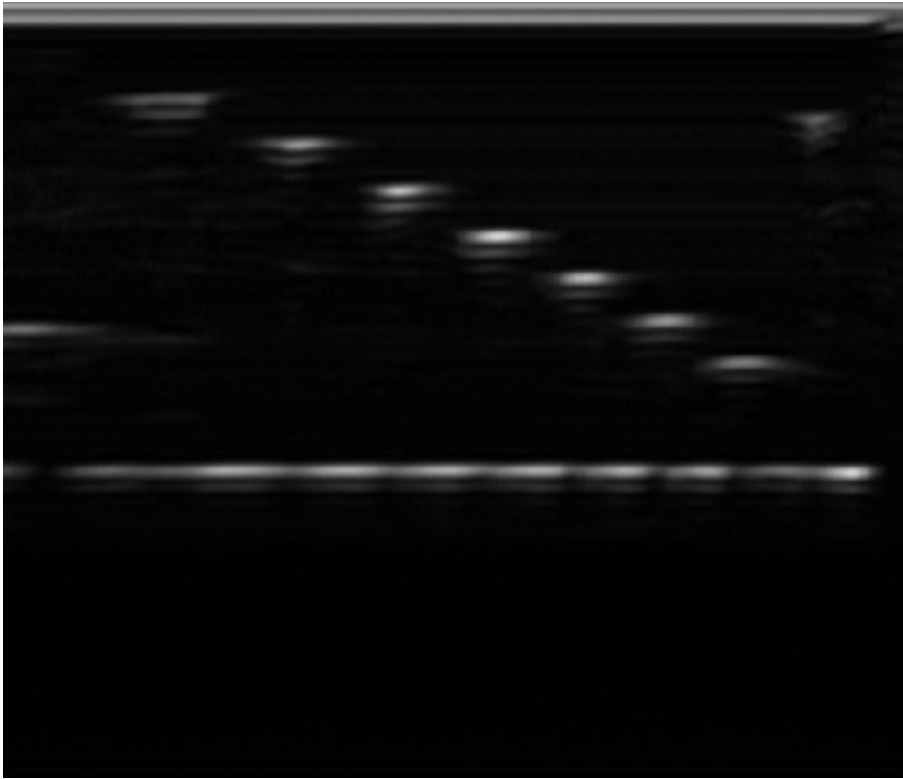


Abbildung 5: B-Scan des Acrylblocks

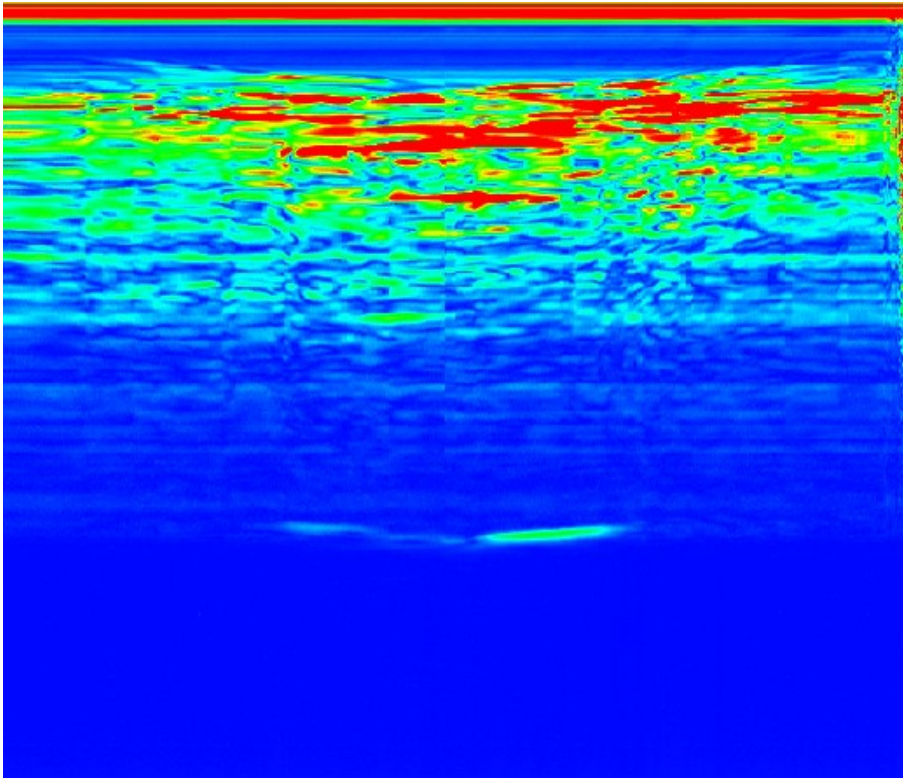


Abbildung 6: B-Scan des Auges