

Versuch US1

Grundlagen der Ultraschalltechnik

Jonah Nitschke
lejonah@web.de

Sebastian Pape
sepa@gmx.de

Durchführung: 06.06.2017

Abgabe: 13.06.2017

1 Theorie

Die Ultraschalltechnik ist heutzutage ein wichtiges Element im Alltag, das vor allem in der Medizin einer grundlegende Methode sowohl in der Therapie als auch in der Diagnose ist. In dem folgenden Versuch sollen deshalb grundlegende Eigenschaften und Definitionen der Ultraschallechographie kennengelernt sowie angewandt werden.

1.1 Theoretische Grundlagen

Der Ultraschall besitzt eine für den Menschen nicht mehr wahrnehmbare Frequenz zwischen 20 kHz und 1 GHz. Im allgemeinen ist Schall eine longitudinale Welle, die mittels Druckschwankungen weitergeleitet wird und durch folgende Formel beschrieben werden kann:

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

Bei dem Faktor Z handelt es sich um die akustische Impedanz, welche mithilfe der Dichte und der Schallgeschwindigkeit des vorliegenden Stoffes beschrieben wird:

$$Z = c \cdot \rho. \quad (2)$$

Schallwellen zeigen im Allgemeinen das selbe Verhalten wie elektromagnetische Wellen, jedoch ist bei Schallwellen aufgrund der Änderung von Druck und Dichte die Phasengeschwindigkeit materialabhängig.

Bei Schallwellen muss aufgrund von unterschiedlichen Eigenschaften noch zwischen gasförmigen oder flüssigen Medien und Festkörpern unterschieden. In Gasen und Flüssigkeiten treten lediglich Longitudinalwellen auf, sodass sich für die Schallgeschwindigkeit folgende Relation ergibt:

$$c_{Fl} = \sqrt{\frac{1}{\kappa \cdot \rho}}. \quad (3)$$

κ beschreibt dabei die Kompressibilität des Mediums.

Im Gegensatz zu Gasen und Flüssigkeiten treten bei Festkörpern zusätzlich zu den Longitudinalwellen auch noch Transversalwellen auf, sodass die Schallgeschwindigkeit in Festkörpern allgemein richtungsabhängig ist. Für die Schallgeschwindigkeit ergibt sich mit dem Elastizitätsmodul E damit folgender Zusammenhang:

$$c_{Fe} = \sqrt{\frac{E}{\rho}}. \quad (4)$$

Allerdings muss beachtet werden, dass c_{Fe} für Transversal- und Logitudinalwellen unterschiedlich aussieht.

Bei der Betrachtung von Schallwellen in einem Medium muss beachtet werden, dass im Allgemeinen immer ein Teil der Energie durch Absorption verloren geht, weshalb sich die Intensität der Welle als eine Funktion des Ortes und des absorptionskoeffizienten α beschreiben lässt:

$$I(x) = I_0 \cdot e^{-\alpha x}. \quad (5)$$

Da Luft einen sehr großen Absorptionskoeffizienten besitzt, wird bei dem folgenden Versuch immer ein Kontaktmedium verwendet. Bei dem Kontaktmedium handelt es sich um bidestilliertes Wasser oder Hydrogel.

Während des Experimentes werden zwei verschiedenen Messmethoden verwendet, wovon eine auf der reflektierten Welle und eine auf der transmittierten Welle basiert. Der Reflexionskoeffizient R beschreibt ein Verhältnis der einfallenden und reflektierten Intensität und ist von den akustischen Impedanzen der beiden Medien ab, die die Grenzfläche bilden.

$$R = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right). \quad (6)$$

Der Transmittierende Anteil kann dann entsprechend aus $T = 1 - R$ berechnet werden.

Für die Erzeugung von Ultraschall wird in diesem Versuch der piezo-elektrische Effekt genutzt. Piezo-elektrische Kristalle können durch entsprechende Anregung durch ein äußeres elektrisches Feld in Schwingung versetzt werden. Die Amplitude der entstehenden Wellen und die daraus resultierende Energiedichte können dabei maximiert werden, wenn zwischen Anregerfrequenz und Eigenfrequenz des Kristalls Resonanz entsteht. Des Weiteren können Piezokristalle auch durch Schallwellen angeregt werden, weshalb sie auch als Empfänger genutzt werden. Bei Quarz handelt es sich um den am meisten verwendeten Piezokristall, da dieser gleichbleibende physikalische Eigenschaften besitzt. Jedoch ist der Piezo-Effekt dafür relativ gering.

Wie bereits vorher erwähnt kann mithilfe von Ultraschall Information über den Aufbau eines Stoffes gewonnen werden. Dies geschieht meistens mit einer Laufzeitmessung, welche hierbei mithilfe zwei verschiedener Methoden durchgeführt wird. Im Allgemeinen basiert es jedoch darauf, dass ein Ultraschallsignal ausgesendet wird und die Laufzeit durch eine definierte Messstrecke mittels eines Empfängers gemessen wird.

Bei der ersten Methode handelt es sich um das Durchschallungs-Verfahren 1a. Hier wird von einem Ultraschallsender ein Signal durch einen Stoff geschickt und auf der anderen Seite von einem Empfänger aufgefangen. Werden nun die Amplituden der ausgesendeten und der empfangenen Welle verglichen, kann eine Aussage darüber getroffen werden, ob

sich in der Probe eine Fehlstelle befindet. Über den Ort der Fehlstelle lässt sich jedoch keine Aussage tätigen.

Die zweite Methode ist das Impuls-Echo-Verfahren 1b. Hier wird lediglich ein Schallkopf verwendet, welcher sowohl Schallwellen lossendet als auch die reflektierten Signale wahrnimmt. Mithilfe der Amplitude des Echos kann hier die Größe des Echos bestimmt werden. Mithilfe der Schallgeschwindigkeit und der Laufzeit kann hier nun auch die Lage der Fehlstelle bestimmt werden:

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

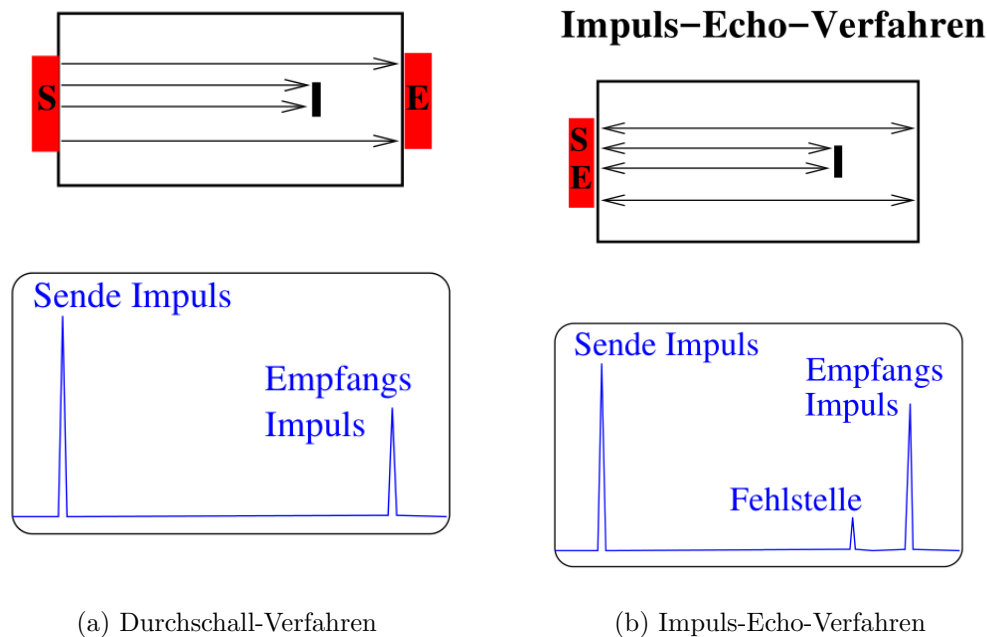


Abbildung 1: Die beiden Messmethoden für US1. [1]

Für beide Verfahren gibt es verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten, den A-Scan, den B-Scan und den TM-Scan. Bei dem A-Scan (Amplitude-Scan) wird auf einem Bildschirm die Amplitude der registrierten Welle dargestellt. Bei dem B-Scan (Brightness-Scan) wird hingegen die augenommene Amplitude in eine Helligkeitsstufe umgewandelt, sodass durch viele punktuelle Messungen ein 2-dimensionales Bild eines Mediums aufgenommen werden kann. Beim TM-Scan (Time-Scan) wird eine hohe Impulswiederholungsfrequenz verwendet, sodass zum Beispiel Bewegungen des Gewebes durch unterschiedliche Impulsechos registriert werden und zeitlich dargestellt werden können. Diese Scan-Methode wird häufig in der Medizin kombiniert mit dem B-Scan angewandt.

1.2 Versuchsaufbau

Die grundlegenden Bestandteile des Aufbaus sind ein Echoskop, zwei Ultraschallsonden, ein PC zur Auswertung der Daten sowie verschiedene Acrylplatten und -Zylinder. Das Echoskop kann ausschließlich im Impuls-Betrieb genutzt werden. Zwischen den beiden Scan-Einstellungen (siehe Abschnitt 1.1) kann mittels einem Kipp-Schalter gewechselt werden, indem der Schalter auf **REFLEC.** oder **TRANS.** umgelegt wird. Für den Versuch werden zwei Ultraschallsonden mit 2 MHz verwendet, deren Empfangsleistung zwischen 0 und 35 dB liegen.

Bei der verwendeten Messsoftware handelt es sich um das Programm Echo-View, mit dem sowohl A-Scan, FFT Spektrum, Cepstrum und das Verstärkung TGC betrachtet werden kann. Mithilfe der beiden Cursor können Differenzen zwischen zwei Positionen auf der X-Achse bestimmt werden. Zudem geben diese beiden Cursor das Intervall an, welches für das Frequenzspektrum und das Cepstrum verwendet werden. Bei dem A-Scan kann das Signal sowohl als Funktion der Zeit (in μs) als auch als Funktion der Eindringtiefe (in mm) betrachtet werden. Mithilfe der Freeze- und Start-Taste kann die durchgehende Aktualisierung des A-Scan-Bildes zudem angehalten und wieder gestartet werden.

Mit der Time Gain Control kann die Verstärkung über die Parameter Treshhold, Wide, Slope und Start eingestellt werden. Die erstellte Grafik kann mit Export abgespeichert werden.

1.3 Versuchsdurchführung

Für den Versuch wird im Vorhinein schon die Schallgeschwindigkeiten von verschiedenen Medien recherchiert, unter anderem von Acryl. Als erste wird die rausgesuchte Schallgeschwindigkeit in das Programm eingegeben um mittels des Impuls-Echo-Verfahren und der Tiefenmessung zu prüfen, ob der Wert noch geändert werden muss. Dafür wird für einen Acrylzylinder der bestimmte Wert über die Tiefenmessung und der mit einer Schiebelehre gemessene Wert verglichen.

Anschließend wird mittels des Impuls-Echo-Verfahrens die Laufzeit von verschiedenen Acrylzylindern bestimmt. Dafür wird ein Zylinder auf ein Papiertuch gestellt und mit bidestilliertem Wasser an eine 2 MHz Sonde gekoppelt. Mittels eines A-Scans und den Cursors wird die zeitliche Distanz zwischen dem ausgesandten und dem reflektierten Signal gemessen. Des Weiteren werden die Amplituden der verschiedenen Peaks gemessen, um daraus die Dämpfung zu bestimmen. Um die Messung nicht zu verfälschen, wird dafür die Verstärkung bei dem Versuch komplett ausgeschaltet. Die Messung wird anschließend für 7 weitere Zylinder wiederholt.

Im nächsten Teil des Experimentes wird die Durchlaufzeit noch einmal mit der Durchschall-Methode gemessen. Dafür wird der Zylinder auf eine Schiene gelegt und an beiden Seiten werden mittels Hydrogels Ultraschallsonden gekoppelt. Auf dem A-Scan wird dann wieder

die Laufzeit abgelesen, indem erneut der zeitliche Abstand zwischen den Pieks mit den Cursors ausgemessen wird.

Im weiteren Verlauf des Versuchs werden zwei Acrylscheiben verschiedener Dicke auf ein Papiertuch gelegt und mit bidestilliertem Wasser gekoppelt. Anschließend wird noch ein Zylinder auf beide Scheiben gestellt und eine Sonde angekoppelt. Um die Mehrfachreflexion mittels des Impuls-Echo-Verfahren deutlich erkennen zu können, wird die Verstärkung solange erhöht, bis mindestens drei Reflexionen erkennbar sind. Mittels der Cursor wird wieder der zeitliche Abstand zwischen den Pieks gemessen. Zusätzlich werden das Spektrum und das Cepstrum erstellt und abgespeichert.

Im letzten Teil des Experimentes wird noch einmal das Auge 2 untersucht. Dafür wird erneut das Impuls-Echo-Verfahren genutzt. Die 2 MHz Sonde wird mit dem Hydrogel an das Auge gekoppelt und solange leicht verschoben, bis auf dem A-Scan-Bild mehrere Pieks erkennbar sind. Anschließend werden wieder die zeitlichen Abstände mittels der Cursor vermessen und notiert, sowie ein A-Scan-Bild exportiert.

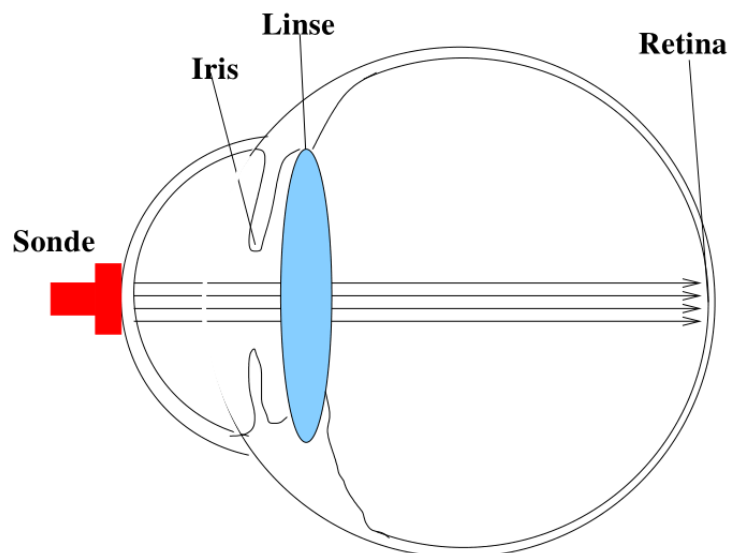


Abbildung 2: Schematischer Aufbau des zu untersuchenden Augenmodells [1].

2 Auswertung

Die verwendeten Zylinder wurden mithilfe einer Schieblehre vermessen und hatten die folgenden Längen. Dabei werden die Werte als fehlerfrei angenommen.

Zylinder 1 40,35 mm

Zylinder 2 80,55 mm

Zylinder 3 80,45 mm

Zylinder 4 102,1 mm

Zylinder 5 31,1 mm

Zylinder 6 39,7 mm

Zylinder 7 61,5 mm

Für die Messung mit Ultraschall wurde an dem Gerät der Literaturwert der Schallgeschwindigkeit in Acryl ($c_{\text{Acyl,lit}} = 2730 \text{ m/s}$ [2]) eingegeben. Damit wurde die Zeitachse auf diesen Wert kalibriert.

2.1 Bestimmung der Dämpfungskonstante und der Schallgeschwindigkeit mit dem Impuls–Echo–Verfahren

Die Dämpfungskonstante α aus (5) lässt sich aus den genommenen Daten berechnen. Dafür werden die Messdaten in die Formel eingesetzt und nach α aufgelöst.

$$\alpha = -\frac{1}{x_1} \ln \left(\frac{I'_0}{I_0} \right) \quad (8)$$

Dabei ist I'_0 die Amplitude an der Stelle $x_1 > 0$ und I_0 die Amplitude an der Stelle $x = 0$.

Die Messdaten sind in Tabelle ?? dargestellt. Die Werte für Zylinder 4 und den zusammengesetzten Zylinder mit dem achten Messwert wurden für die Berechnung der Dämpfungskonstante nicht verwendet, weil die Peaks nur bei Verstärkung ausgemessen werden konnten. Auf das Herausrechnen des Verstärkungsfaktors wurde der Einfachheit halber verzichtet. Im Mittel ergibt sich die Dämpfungskonstante zu:

$$\alpha = (21,257 \pm 0,301) \frac{1}{\text{m}} \quad (9)$$

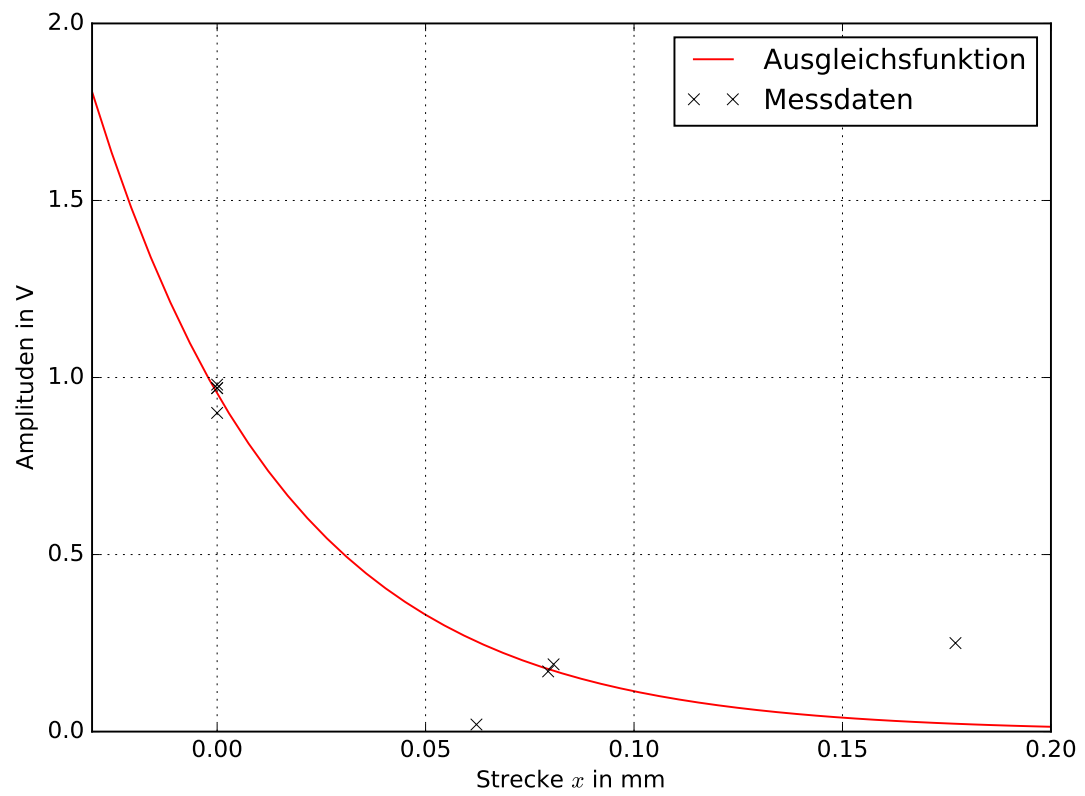


Abbildung 3: Darstellung der Dämpfung der Amplitude mit Zunahme der Strecke.

Der Fehler ist die Standardabweichung des Mittelwertes. Eine Darstellung der Dämpfung in Acryl ist in dem folgende Diagramm einzusehen. Dabei sind die Messdaten der Anfangs- und Endamplituden ebenfalls eingetragen.

Die Schallgeschwindigkeit ist aus den Laufzeiten zwischen den gemessenen Peaks und den vermessenen Zylinderlängen mithilfe von (??) zu berechnen. Dafür wurde mit dem *Python*-Packet *curve_fit* eine lineare Ausgleichsrechnung durchgeführt. Der systematische Fehler der Sonde ist der Ordinaten-Abschnitt des Ausgleichgeraden und die Schallgeschwindigkeit ist in der Steigung wiederzufinden.

Die Werte ergeben sich zu:

$$c_{\text{Acryl,echo}} = 2880,943 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (10)$$

$$\Delta_{\text{Sonde,echo}} = -3,862 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (11)$$

Das zugehörige Diagramm der Messung ist im Folgendem dargestellt.

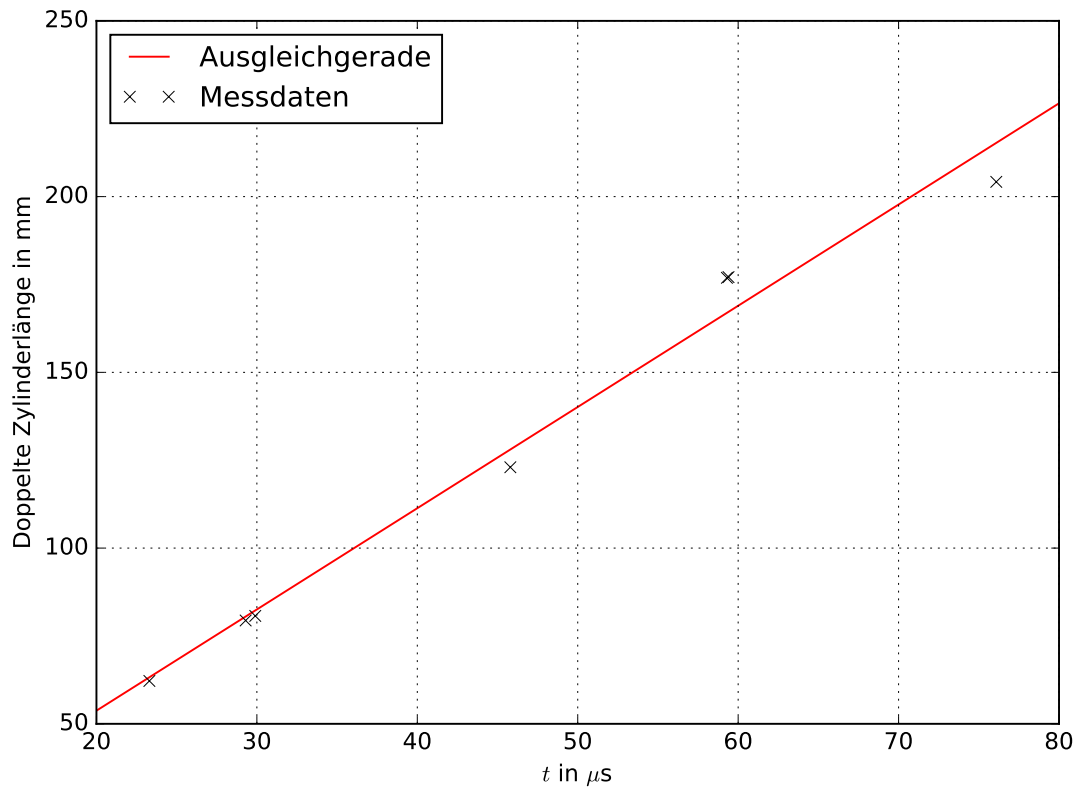


Abbildung 4: Schallgeschwindigkeit in Acryl, bestimmt über das Impuls-Echo-Verfahren.

2.2 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit mit dem Durchschallungsverfahren

Die Messdaten zum Durchschallungsverfahren sind in Tabelle ?? dargestellt. Es wurde gleich verfahren wie bei dem Impuls-Echo-Verfahren.

Die Werte ergeben sich zu:

$$c_{\text{Acryl,durch}} = 2878,377 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (12)$$

$$\Delta_{\text{Sonde,durch}} = -2,946 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (13)$$

Das zugehörige Diagramm der Messung ist im Folgendem dargestellt.

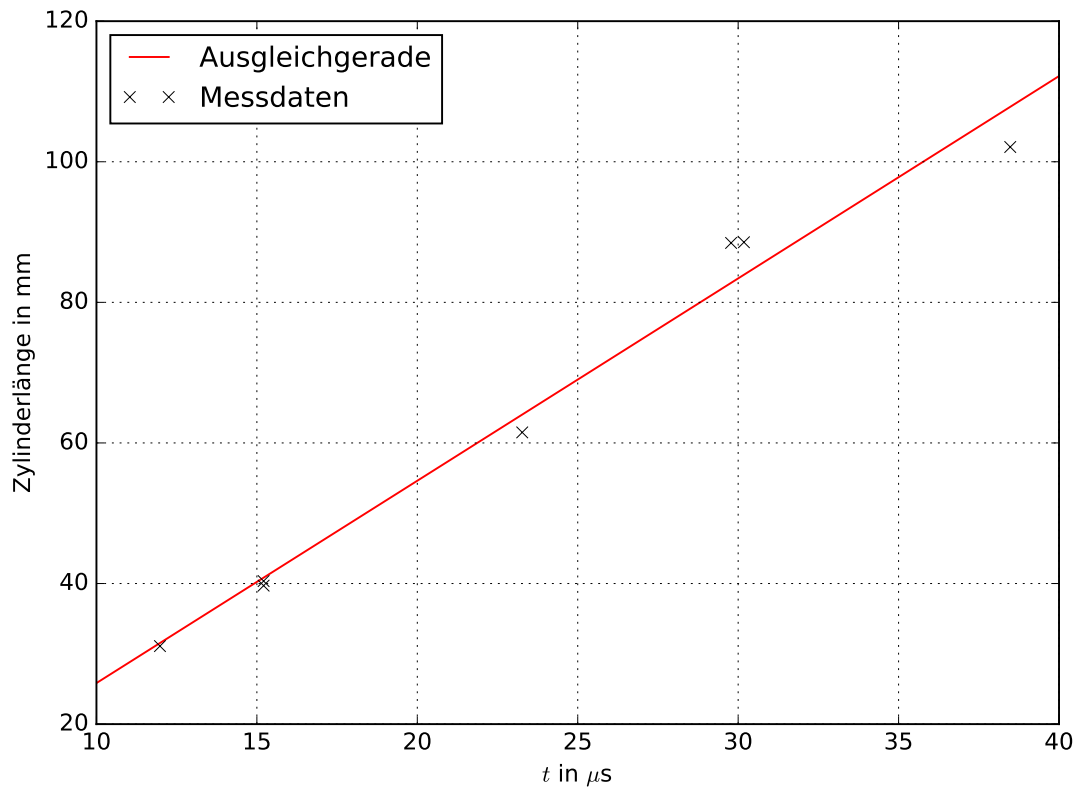


Abbildung 5: Schallgeschwindigkeit in Acryl, bestimmt über das Durchschallungsverfahren.