

Universität Freiburg

Kleines Physiklabor für Anfänger*innen
Ferienpraktikum im Sommersemester 2022

Versuch 25

Ultraschall

(Gruppe 

29. September 2022

Datum der Durchführung: 28. September 2022

Assistent: 



Im Großen und Ganzen gefällt mir euer Protokoll! Es sind im Großen und Ganzen Kleinigkeiten, die man verbessern kann.

Inhaltsverzeichnis

1 Ziel des Versuchs	2
2 Versuch	2
2.1 Aufbau	2
2.2 Durchführung	3
3 Auswertung und Fehleranalyse	3
3.1 Bestimmung der longitudinalen Schallgeschwindigkeit v_L	3
3.2 Bestimmung der transversalen Schallgeschwindigkeit v_T	6
4 Diskussion	8
4.1 Vergleich der ermittelten Werte mit Literaturwerten	8
4.2 Verbesserung der Messmöglichkeiten	9
A Abbildungsverzeichnis	11
B Tabellenverzeichnis	11
C Literaturverzeichnis	11
D Tabellen	12
E Foto Versuchsaufbau	12
F Laborbucheintrag	14

✓

1 Ziel des Versuchs

In einem vorgegeben Metall wird mit Hilfe von zwei Ultraschallsonden die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschallwellen über die zurückgelegte Strecke und benötigte Zeit bestimmt. Da Metall ein Festkörper ist wird hierbei sowohl die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen als auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwellen ermittelt.

2 Versuch

2.1 Aufbau

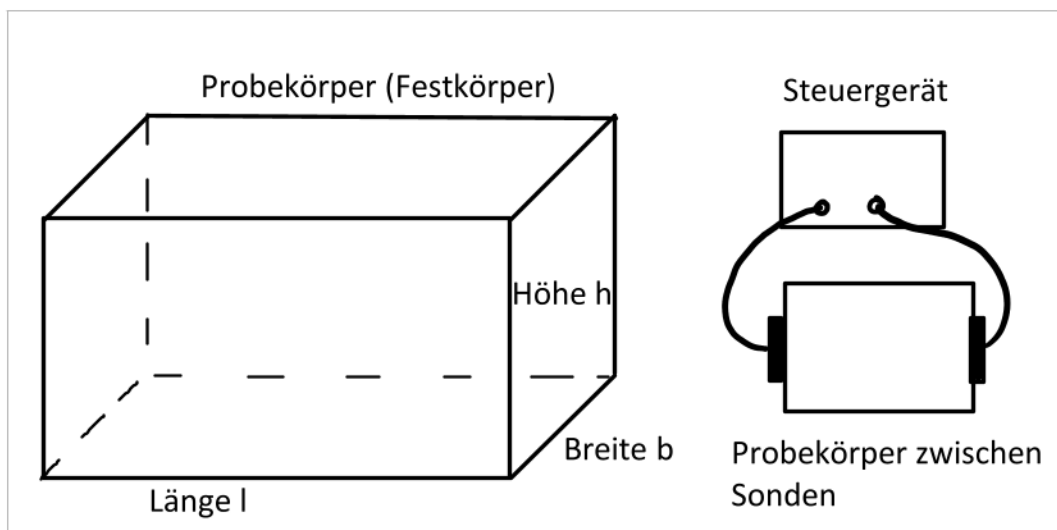


Abbildung 1: Skizze Versuchsaufbau und Definition der Variablen für die Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen

Im ersten Teil des Versuchs werden zwei Ultraschallsonden mit einer Frequenz von 2 MHz mit Ultraschall-Gel eingerieben und an ein quaderförmiges Metallstück mit den Maßen b , l und h (s. Abb. 1 bzw. Abb. 6) so angelegt, dass sich möglichst keine Luft zwischen Metall und Sonde befindet. Die eine Sonde dient hierbei als Sender, die andere als Empfänger, beide Sonden sind an ein Steuergerät (Ultrasonic Echoscope GS200) angeschlossen, über das die Signale direkt am Computer mit der Software GS-EchoView ausgewertet werden. Es wird die Zeit $t_{s,0}$ angezeigt, die die Welle braucht um die Strecke s zwischen den beiden Sonden zurückzulegen, sowie weitere Zeiten $t_{s,1}$ bis $t_{s,n}$, die den Zeiten entsprechen, die die Welle benötigt wenn sie n mal reflektiert wurde. Die Längen b , l und h werden mit dem Messschieber ermittelt, was zu einer Ungenauigkeit von $\Delta b = \Delta l = \Delta h = 0.05 \text{ mm}$ führt. Beim Ablesen der Zeit wird eine Ungenauigkeit von $\Delta t = 0.2 \mu\text{s}$ angenommen.

Im zweiten Teil des Versuchs wird das Probestück in einem Winkel θ zur Ausbreitungsrichtung der Ultraschallwellen in ein Wasserbad gelegt (s. Abb. 2 bzw. Abb. 7). Die selben Sonden wie in Teil 1 werden nun mit Ultraschall-Gel eingerieben an die Enden des ebenso quaderförmigen Wasserbads angelegt. (Auswertung analog zum ersten Teil). θ wird mit einem Geodreieck bestimmt, für die Ungenauigkeit wird $\Delta\theta = 1^\circ$ angenommen.

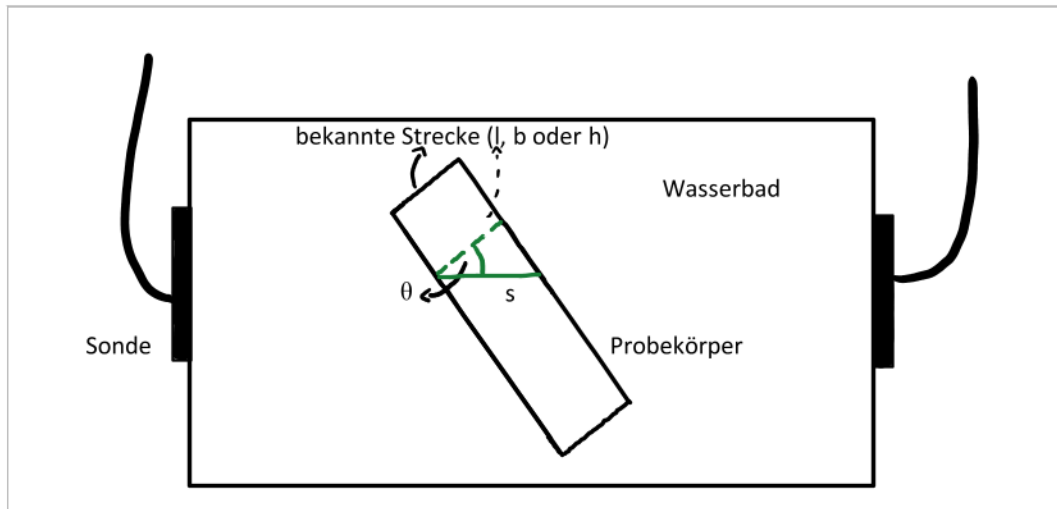


Abbildung 2: Skizze Versuchsaufbau und Definition der Variablen für die Messung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwellen

✓ schöne SKizze

2.2 Durchführung

Zur Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Longitudinalwellen v_L werden t_l , t_b und t_h gemessen (Messergebnisse s. Anhang F). Da nicht immer gleich viele Echos gut ablesbar sind, werden $t_{l,0}$ bis $t_{l,3}$, $t_{h,0}$ bis $t_{h,5}$ und $t_{b,0}$ bis $t_{b,7}$ bestimmt, für mehr als sieben Reflexionen lassen sich die Zeiten nicht mehr eindeutig ermitteln. Um die Zeit für eine Strecke abzulesen, wird der Zeitwert genommen, bei dem die Amplitude am größten angezeigt wird. Um die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Transversalwellen zu bestimmen, wird für alle drei Ausrichtungen des Quaders (bekannte Strecke aus Abb. 2 entspricht einmal l , einmal b und einmal h) θ so eingestellt, dass die Amplitude für Longitudinalwelle und Transversalwelle, die über die Software angezeigt wird etwa gleich groß ist. Dann werden die beiden zugehörigen Zeitwerte t_L und t_T abgelesen. Um die Strecke s , die sowohl von Transversal-, als auch von Longitudinalwelle durchlaufen wird, zu bestimmen, wird θ gemessen, sodass sie mit der bekannten Strecke über Trigonometrie ermittelt werden kann. ✓

3 Auswertung und Fehleranalyse

3.1 Bestimmung der longitudinalen Schallgeschwindigkeit v_L

Zur Bestimmung der longitudinalen Schallgeschwindigkeit v_L werden Differenzen der gemessenen Zeiten ermittelt. Im folgenden Abschnitt steht die Variable s für eine der Strecken l , h oder b . Um einen möglichen systematischen Fehler durch das Offset des Geräts auszuschließen, wird von den Zeiten des n -ten Echos jeweils die erste gemessene Zeit abgezogen, also $t_{s,n} - t_{s,0}$. Zusätzlich werden die Differenzen der Zeiten des n -ten und $n - 1$ -ten Echos gebildet, also $t_{s,n} - t_{s,n-1}$. Entsprechend müssen die Strecken beachtet werden, die die Schallwellen für die entsprechende Anzahl an Echos zurücklegen, also Strecke $s' := 2(y - z)s$ für $y - z$ Echos, wobei die zu s' gehörende Zeit durch $t_{s,y} - t_{s,z}$ berechnet wird, mit y und z , die dem Index i der $t_{s,i}$ entsprechen. Die Unsicherheiten werden mit Gauß'scher Fehlerfortpflanzung in Gleichung (1) berechnet. ✓

n-ten Echos zum
1. Echo nicht zum
(n-1). Echo

$$\Delta(s') = \sqrt{\left(\frac{\partial(s')}{\partial s} \Delta s\right)^2} = 2(y-z)\Delta s$$

$$\Delta(t_{s,y} - t_{s,z}) = \sqrt{\left(\frac{\partial(t_{s,y} - t_{s,z})}{\partial t_{s,y}} \Delta t_{s,y}\right)^2 + \left(\frac{\partial(t_{s,y} - t_{s,z})}{\partial t_{s,z}} \Delta t_{s,z}\right)^2} = \sqrt{2}\Delta t$$
(1) ✓

Mit den errechneten Werten werden die Werte für die longitudinale Geschwindigkeit und deren Unsicherheiten mit Gauß'scher Fehlerfortpflanzung berechnet:

$$v_L = \frac{s'}{t_{s,y} - t_{s,z}}$$

$$\Delta v_L = \sqrt{\left(\frac{\partial v_L}{\partial(s')} \Delta(s')\right)^2 + \left(\frac{\partial v_L}{\partial(t_{s,y} - t_{s,z})} \Delta(t_{s,y} - t_{s,z})\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{1}{(t_{s,y} - t_{s,z})} \Delta(s')\right)^2 + \left(-\frac{s'}{(t_{s,y} - t_{s,z})^2} \Delta(t_{s,y} - t_{s,z})\right)^2}$$
✓

Die Werte sind in Tabelle 2 in Anhang D gelistet. Aus den Werten für v_L wird der Mittelwert \bar{v}_L , die Standardabweichung s_{v_L} sowie die Standardabweichung des Mittelwerts $s_{\bar{v}_L}$ (s. Gleichung (2)) berechnet. Zusätzlich werden in Abb. 3 die Werte s' gegen v_L mit dem Mittelwert und den Standardabweichungen aufgetragen.

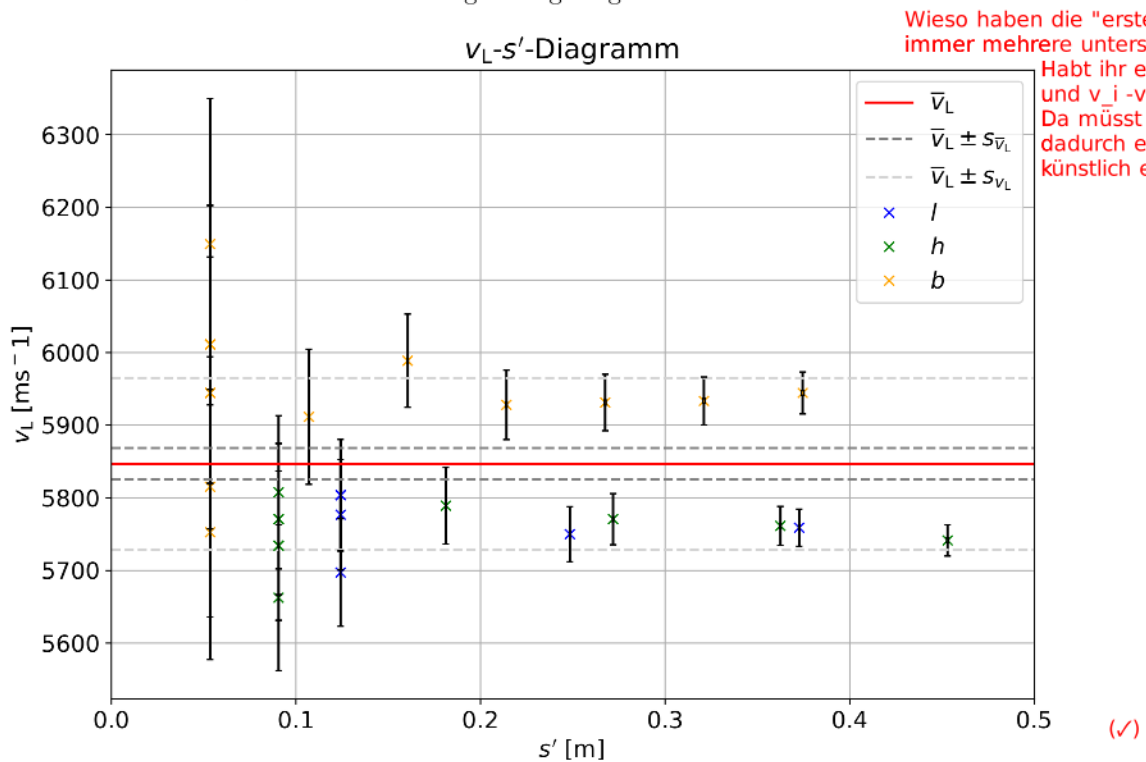


Abbildung 3: v_L - s' -Diagramm mit Mittelwert \bar{v}_L , Standardabweichung s_{v_L} und Standardabweichung des Mittelwerts $s_{\bar{v}_L}$

$$\begin{aligned} \hat{v}_{L,\text{Mittel}} &:= \bar{v}_L = \frac{1}{30} \sum_{i=1}^{30} v_{L,i} = 5850 \text{ m s}^{-1} \\ s_{v_L} &= \sqrt{\frac{1}{29} \sum_{i=1}^{30} (v_{L,i} - \bar{v}_L)^2} = 120 \text{ m s}^{-1} \\ \Delta v_{L,\text{Mittel}} &:= s_{\bar{v}_L} = \frac{s_{v_L}}{\sqrt{20}} = 13 \text{ m s}^{-1} \end{aligned} \quad (2)$$

Zusätzlich kann die longitudinale Schallgeschwindigkeit über lineare Regression ermittelt werden. Hierzu werden alle gemessenen Werte $t_{s,i}$ (s. Anhang F) gegen die entsprechenden Strecken $\tilde{s} := 2is - 1$,¹⁵ die die Welle in diesen Zeiten zurücklegen, in Abb. 4 aufgetragen. Anschließend werden die Steigung m und der Achsenabschnitt a wie im Dokument Datenanalyse Teil A (Ilias) aus der Einführung berechnet:

$$\begin{aligned} \hat{a} &= \frac{\sum_{i=1}^n t_{s,i}^2 \sum_{i=1}^n \tilde{s}_i - \sum_{i=1}^n t_{s,i} \sum_{i=1}^n t_{s,i} \tilde{s}_i}{n \sum_{i=1}^n t_{s,i}^2 - (\sum_{i=1}^n t_{s,i})^2} = -0.3 \text{ cm} \\ \hat{m} &= \frac{n \sum_{i=1}^n t_{s,i} \tilde{s}_i - \sum_{i=1}^n t_{s,i} \sum_{i=1}^n \tilde{s}_i}{n \sum_{i=1}^n t_{s,i}^2 - (\sum_{i=1}^n t_{s,i})^2} = 5780 \text{ m s}^{-1} \\ s &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [\tilde{s}_i - (\hat{a} - \hat{m} t_{s,i})]^2}{n-2}} \\ \Delta a &= s \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n t_{s,i}^2}{n \sum_{i=1}^n t_{s,i} - (\sum_{i=1}^n t_{s,i})^2}} = 0.2 \text{ cm} \\ \Delta m &= s \cdot \sqrt{\frac{n}{n \sum_{i=1}^n t_{s,i} - (\sum_{i=1}^n t_{s,i})^2}} = 40 \text{ m s}^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

Die ermittelte Steigung m entspricht der zu ermittelnden longitudinalen Geschwindigkeit, also folgt:

$$v_{L,\text{Steigung}} = (5780 \pm 40) \text{ m s}^{-1}$$

Da v_L auf zwei verschiedene Arten bestimmt wurde, wird im Folgenden die Verträglichkeit der beiden Werte durch Ermittlung der beobachteten Abweichung t zwischen $v_{L,\text{Mittel}}$ und $v_{L,\text{Steigung}}$ in Einheiten einer kombinierten Unsicherheit, die sich durch quadratische Addition der beiden einzelnen Standardunsicherheiten ergibt, betrachtet:

$$t = \frac{|v_{L,\text{Mittel}} - v_{L,\text{Steigung}}|}{\sqrt{(\Delta v_{L,\text{Mittel}})^2 + (\Delta v_{L,\text{Steigung}})^2}} = 1.4$$

Es ist zu erkennen, dass beide Werte mit einander verträglich sind, da $t < 2$.

Fehlerbalken fehlen

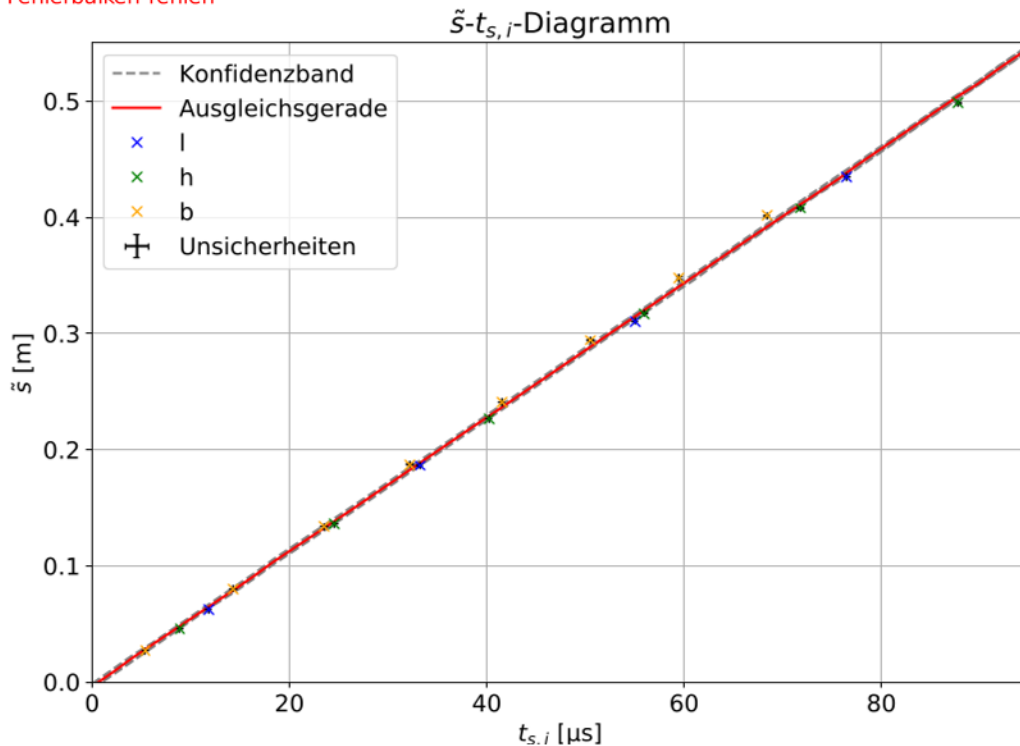


Abbildung 4: \tilde{s} - $t_{s,i}$ -Diagramm mit Ausgleichsgerade und Fehlergeraden

3.2 Bestimmung der transversalen Schallgeschwindigkeit v_T

Um die transversale Schallgeschwindigkeit v_T zu bestimmen, wird der Probekörper gedreht, damit sich die vom Gerät gesendete Longitudinalwelle direkt am Körper in Longitudinal- und Transversalwelle aufteilt, der Empfänger misst somit zwei Zeiten. Der Versuchsanleitung ist zu entnehmen, dass sich longitudinale Wellen im gleichen Festkörper immer schneller ausbreiten als transversale Wellen. Daraus folgt, dass der erste Peak (kürzere Zeit), der über die Software angezeigt wird, der Zeit der Longitudinalwelle t_L und der zweite Peak der Zeit der Transversalwelle t_T entspricht. Bei der Bestimmung der transversalen Schallgeschwindigkeit v_T muss außerdem berücksichtigt werden, dass bei der Messung die Zeiten für Wellen abgelesen werden, die sich neben dem Probekörper auch in Wasser ausbreiten. Die Transversalgeschwindigkeit v_T kann also nicht direkt aus den Absolutwerten ermittelt werden. Um die systematische Unsicherheit, die durch das Wasser zustande kommt auszugleichen, wird mit der in Abschnitt 3.1 ermittelten Longitudinalgeschwindigkeit $v_{L,Steigung}$, die durch lineare Regression bestimmt wird, gerechnet. Warum dies sinnvoll ist, wird in Abschnitt 4.1 diskutiert. Außerdem wird nur die Zeit, die die transversale Welle länger braucht als die Longitudinalwelle ($t_T - t_L$) zur Berechnung verwendet, da diese durch das Wasser, in dem sich nur Longitudinalwellen ausbreiten, nicht beeinflusst wird. Die transversale Welle benötigt also die Zeit der Longitudinalwelle addiert mit der Zeit, die diese länger braucht. Die Strecke s berechnet sich über Trigonometrie, wie Abb. 2 zu entnehmen ist:

$$\begin{aligned} \cos(\theta) &= \frac{x}{s} \\ \Rightarrow s &= \frac{x}{\cos(\theta)}. \end{aligned}$$

x entspricht hier entweder l , b oder h . Die Zeit $t_{T,wahr}$, die die Transversalwelle für die Strecke s benötigt, berechnet sich also über:

$$\begin{aligned} t_{T,wahr} &= t_{L,wahr} + (t_T - t_L) \\ &= \frac{s}{v_{L, \text{Steigung}}} + (t_T - t_L) \\ &= \frac{x}{\cos(\theta) \cdot v_{L, \text{Steigung}}} + (t_T - t_L) \end{aligned} \quad \checkmark$$

Für die transversale Schallgeschwindigkeit erhalten wir also:

$$\begin{aligned} v_T &= \frac{s}{t_{T,wahr}} \\ &= \frac{x}{\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L)} \end{aligned} \quad \checkmark$$

Über Gauß'sche Fehlerfortpflanzung berechnet sich die entsprechende Unsicherheit:

$$\begin{aligned} \frac{\partial v_T}{\partial x} &= \frac{1}{\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L)} - \frac{1}{v_{L, \text{Steigung}} \left(\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L) \right)^2} \\ \frac{\partial v_T}{\partial v_{L, \text{Steigung}}} &= \frac{x^2}{v_{L, \text{Steigung}}^2} \frac{1}{\left(\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L) \right)^2} \\ \frac{\partial v_T}{\partial \theta} &= \frac{x \sin(\theta)(t_T - t_L)}{\left(\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L) \right)^2} \\ \frac{\partial v_T}{\partial t_T} &= -\frac{x \cos(\theta)}{\left(\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L) \right)^2} \\ \frac{\partial v_T}{\partial t_L} &= \frac{x \cos(\theta)}{\left(\frac{x}{v_{L, \text{Steigung}}} + \cos(\theta)(t_T - t_L) \right)^2} \\ \Rightarrow \Delta v_T &= \sqrt{\left(\frac{\partial v_T}{\partial x} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{\partial v_T}{\partial v_{L, \text{Steigung}}} \Delta v_{L, \text{Steigung}} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_T}{\partial \theta} \Delta \theta \right)^2 + \left(\frac{\partial v_T}{\partial t_T} \Delta t_T \right)^2 + \left(\frac{\partial v_T}{\partial t_L} \Delta t_L \right)^2} \end{aligned} \quad \checkmark$$

Die Unsicherheiten für die Strecke s berechnet sich durch:

$$\Delta s = \sqrt{\left(\frac{1}{\cos(\theta)} \Delta x \right)^2 + \left(\frac{x \cos(\theta)}{\sin(\theta)^2} \Delta \theta \right)^2} \quad \checkmark$$

Damit lassen sich die Werte berechnen, die in Tabelle 1 aufgelistet sind.

Zur Berechnung der transversalen Schallgeschwindigkeit, wird der Mittelwert $\overline{v_T}$ der Werte für v_T aus Tabelle 1 gebildet, sowie die Standardabweichung dieses Mittelwerts $s_{\overline{v_T}}$ ermittelt:

$$\begin{aligned} \overline{v_T} &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 v_{T,i} = 3127 \frac{\text{m}}{\text{s}} \\ s_{\overline{v_T}} &= \frac{1}{\sqrt{4}} \sqrt{\frac{1}{4-1} \sum_{i=1}^4 (v_{T,i} - \overline{v_T})^2} = 13 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned} \quad \checkmark$$

Tabelle 1: Werte für s und v_T mit entsprechenden Unsicherheiten sowie die zugehörigen relativen Unsicherheiten

s [m]	$\frac{\Delta s}{s}$ [%]	v_T [m s ⁻¹]	$\frac{\Delta v_T}{v_T}$ [%]
0.02701(8)	0.31	3150(105)	3.33
0.02701(8)	0.31	3150(105)	3.33
0.04555(10)	0.21	3102(61)	1.97
0.06244(13)	0.20	3106(46)	1.47

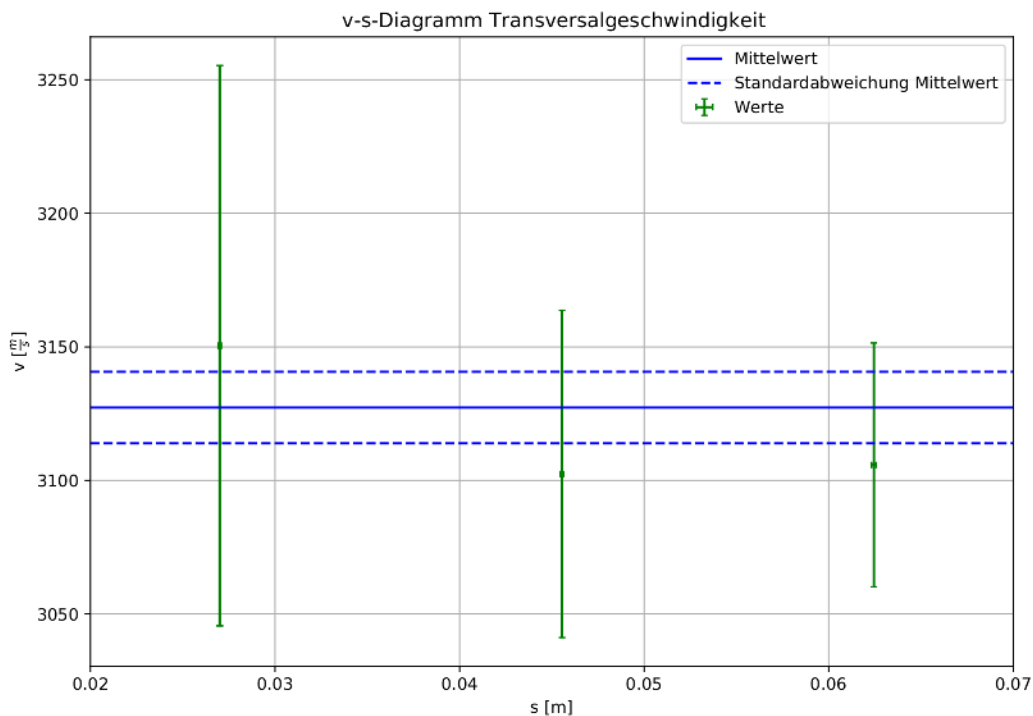


Abbildung 5: $v - s$ - Diagramm der Transversalwerte sowie der Mittelwerte und dessen Unsicherheit

Die Werte aus Tabelle 1 werden in einem v - s - Diagramm (Abb. 5) mit Fehlerbalken aufgetragen. Außerdem werden \bar{v}_T und $\bar{v}_T + s_{\bar{v}_T}$ sowie $\bar{v}_T - s_{\bar{v}_T}$ als Geraden mit aufgetragen.

Für die transversale Schallgeschwindigkeit v_T ergibt sich nun also:

$$v_T = (3127 \pm 13) \frac{\text{m}}{\text{s}}. \quad \checkmark$$

4 Diskussion Hier sollten nochmal alle Endergebnisse angegeben werden

4.1 Vergleich der ermittelten Werte mit Literaturwerten

Das Metall hat eine silbrig-weiße Farbe (s. Abb. 7) und ist magnetisch, was zu der Annahme führt, dass es sich um Eisen oder Nickel handeln könnte. Um dies zu überprüfen wird der ermittelte Wert für v_L mit dem Literaturwert $v_{L,\text{Lit,Fe}}$ bzw. $v_{L,\text{Lit,Ni}}$ für die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Longitudinalwellen verglichen. Es wird die beobachtete Abweichung t

Es sollte Edelstahl sein: $v_L = 5838 \text{ m/s}$, $v_T = 3120 \text{ m/s}$

zwischen v_L und $v_{L,Lit}$ in Einheiten der Standardunsicherheit Δv_L bestimmt. **Quelle fehlt**
 Zunächst wird sowohl $v_{L,Steigung}$ als auch $v_{L,Mittel}$ mit dem Literaturwert $v_{L,Lit,Fe} = 5950 \text{ m s}^{-1}$ verglichen, den wir aus der Versuchsanleitung (Tabelle 11.1) entnommen haben. Wir nehmen diesen als exakt an, da für den Wert keine Unsicherheit angegeben wurde.

$$t_{\text{mittel,Fe}} = \frac{|v_{L,Mittel} - v_{L,Lit,Fe}|}{\Delta v_{L,Mittel}} = 4.8$$

$$t_{\text{Steigung,Fe}} = \frac{|v_{L,Steigung} - v_{L,Lit,Fe}|}{\Delta v_{L,Steigung}} = 3.8$$

Man sieht, dass $t > 2$, was darauf schließen lässt, dass die Werte für v_L nicht sehr gut mit dem Literaturwert verträglich sind. Dies könnte allerdings sowohl an der Art der Messung liegen, bei der nicht unbedingt alle Unsicherheiten korrekt eingeschätzt wurden, als auch daran, dass es der Literaturwert für eine Temperatur von 20°C angegeben ist jedoch die Temperatur zum Zeitpunkt der Messung unbekannt ist.

Im Folgenden wird der Literaturwert $v_{L,Lit,Ni} = 5630 \text{ m s}^{-1}$ für Nickel mit den Werten für v_L verglichen (Wert aus Quelle [2]):

$$t_{\text{mittel,Ni}} = \frac{|v_{L,Mittel} - v_{L,Lit,Ni}|}{\Delta v_{L,Mittel}} = 10.1$$

$$t_{\text{Steigung,Ni}} = \frac{|v_{L,Steigung} - v_{L,Lit,Ni}|}{\Delta v_{L,Steigung}} = 3.3$$

Der durch die Steigung ermittelte Wert ist mit dem Literaturwert für Nickel am verträglichsten, der durch den Mittelwert allerdings gar nicht. Es lassen sich weder Nickel noch Eisen ausschließen, allerdings auch nicht bestätigen. Da beide Vergleiche ergeben, dass der durch Steigung ermittelte Wert verträglicher mit dem Literaturwert ist, ist es sinnvoll diesen auch für weitere Berechnungen mit v_L zu verwenden.

Ebenso wie v_L kann man v_T mit den Literaturwerten für Eisen und Nickel vergleichen. Wir verwenden dabei die Werte $v_{T,Lit,Fe} = 3240 \text{ m s}^{-1}$ aus der Versuchsanleitung (Tabelle 11.1) und $v_{T,Lit,Ni} = (3090 \pm 130) \text{ m s}^{-1}$ aus Quelle [1].

$$t_{\text{Fe}} = \frac{|v_T - v_{T,Lit,Ni}|}{\Delta v_T} = 8.4$$

$$t_{\text{Ni}} = \frac{|v_T - v_{T,Lit,Ni}|}{\sqrt{(\Delta v_{T,Lit,Ni})^2 + (\Delta v_T)^2}} = 0.3$$

Bei der Transversalwelle ergibt sich also, dass die gemessenen Ergebnisse sehr viel verträglicher mit dem Literaturwert für Nickel sind. Dies liegt allerdings auch daran, dass der Literaturwert für Nickel selbst einen relativen Fehler von 4 % hat, was ihn im t-Test verträglicher mit Messergebnissen macht. Es lässt sich im Allgemeinen also sagen, dass es wahrscheinlicher ist, dass es sich um Nickel handelt, aber da in der Messung einige Ungenauigkeiten entstehen, die sich nicht eindeutig angeben lassen, ist auch Eisen nicht auszuschließen, es könnte sich bei der Probe auch um eine Legierung handeln.

4.2 Verbesserung der Messmöglichkeiten

Bei den Messungen kam es zu einigen Ungenauigkeiten, die statistische und systematische Unsicherheiten zur Folge hatten. Diese könnte man durch einige Verbesserungen der Messung weiter verringern.

Bei der Messung der longitudinalen Schallgeschwindigkeit wäre es gut, wenn man weitere Körper aus dem gleichen Material aber anderen Maßen wie denen des Probekörpers hätte. Dadurch ließen sich mit mehr Strecken s auch weitere Zeiten und Echos ablesen, wodurch der Mittelwert für v_L genauer werden würde. Bei der Messung der transversalen Schallgeschwindigkeit muss man berücksichtigen, dass es durch das Wasser zu einer systematischen Unsicherheit kommt. Durch die Rechnungen in Abschnitt 3.2 wird dieser zwar theoretisch rausgerechnet, dennoch ist es möglich, dass durch dieses Verfahren ebenso Unsicherheiten entstehen. Des Weiteren lässt sich der Winkel, um den der Probekörper gedreht wird aufgrund der Brechung des Lichts in Wasser nur sehr schwer ablesen. Dies ließe sich verbessern, wenn Markierungen auf den Boden des Wasserbeckens angebracht werden würden, an denen man den Winkel ausmachen könnte. Außerdem könnte man ein Probekörper mit einem größeren Maßen wählen, so dass das Wasserbecken noch mehr von dem Probekörper ausgefüllt werden würde um den Einfluss, den das Wasser auf die Messung haben könnte zu minimieren. Zudem ist das Ablesen der maximalen Amplitude schwer, da die Peaks ziemlich breit sind, durch exaktere Anpassung der Einstellungen an Messgerät und Software, lässt sich dies eventuell noch korrigieren. Außerdem lässt sich nicht mit Sicherheit sagen, ob die Methode die Zeit immer bei der maximalen Amplitude des Peaks abzulesen sinnvoll ist, dieses Problem würde sich bei einer kleineren Breite allerdings auch verringern.

✓

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau Longitudinalwellen	2
2	Versuchsaufbau Transversalwellen	3
3	v_L - s' -Diagramm	4
4	\tilde{s} - $t_{s,i}$ -Diagramm	6
5	v - s - Diagramm	8
6	Foto Versuchsaufbau Longitudinalwellen	13
7	Foto Versuchsaufbau Transversalwellen	13

Tabellenverzeichnis

1	Werte für v_T	8
2	Werte für v_L und n'	12

Literatur

- [1] "Akustische Materialeigenschaften". In: (28. Sep. 2022). URL: <https://www.karldeutsch.de/zfp-wissen/basiswissen/ultraschallpruefung/#toggle-id-1>.
- [2] "Geschwindigkeitstabelle für vordefinierte Materialien". In: (28. Sep. 2022). URL: <https://www.xn--ultraschallpruefung-f3b.com/schallgeschwindigkeiten/>.

D Tabellen

Tabelle 2: Werte für longitudinale Geschwindigkeit v_L und Strecke s' mit relativen Unsicherheiten (s.Abschnitt 3.1)

	v_L [m s ⁻¹]	$\frac{\Delta v_L}{v_L}$ [%]	s' [cm]	$\frac{\Delta s'}{s'}$ [%]
<i>l</i>	5800(80)	1.32	12.42(1)	0.08
	5750(40)	0.66	24.84(2)	0.08
	5760(30)	0.44	37.26(3)	0.08
	5800(80)	1.32	12.42(1)	0.08
	5700(70)	1.3	12.42(1)	0.08
	5780(80)	1.32	12.42(1)	0.08
<i>h</i>	5770(100)	1.8	9.06(1)	0.11
	5790(50)	0.91	18.12(2)	0.11
	5770(40)	0.61	27.18(3)	0.11
	5760(30)	0.46	36.24(4)	0.11
	5740(20)	0.38	45.30(5)	0.11
	5770(100)	1.8	9.06(1)	0.11
	5810(110)	1.82	9.06(1)	0.11
	5730(100)	1.79	9.06(1)	0.11
	5730(100)	1.79	9.06(1)	0.11
	5660(100)	1.77	9.06(1)	0.11
<i>b</i>	6010(190)	3.18	5.35(1)	0.19
	5910(90)	1.57	10.70(2)	0.19
	5990(60)	1.07	16.05(3)	0.19
	5930(50)	0.81	21.40(4)	0.19
	5930(40)	0.65	26.75(5)	0.19
	5930(30)	0.56	32.10(6)	0.19
	5940(30)	0.49	37.45(7)	0.19
	6010(190)	3.18	5.35(1)	0.19
	5820(180)	3.08	5.35(1)	0.19
	6100(20)	3.26	5.35(1)	0.19
	5750(180)	3.05	5.35(1)	0.19
	5940(190)	3.15	5.35(1)	0.19
	5940(190)	3.15	5.35(1)	0.19
	6010(190)	3.18	5.35(1)	0.19

E Foto Versuchsaufbau

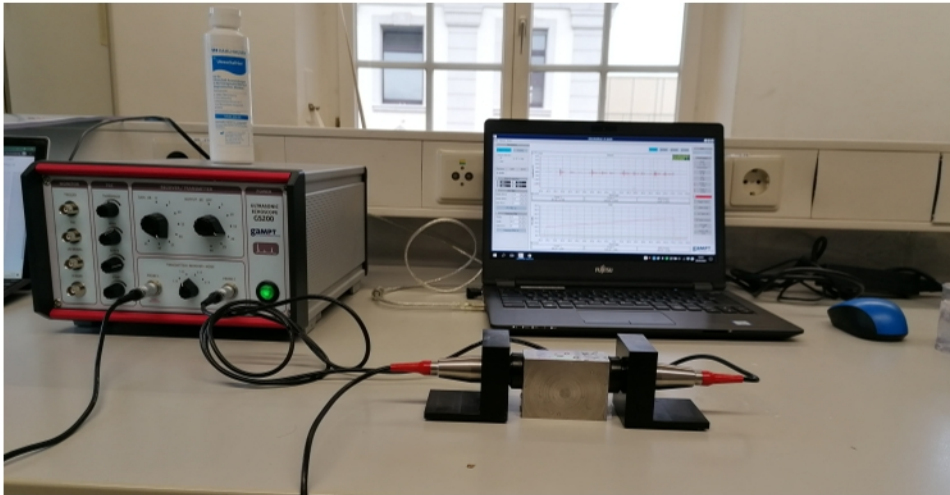


Abbildung 6: Foto Versuchsaufbau Longitudinalwellen

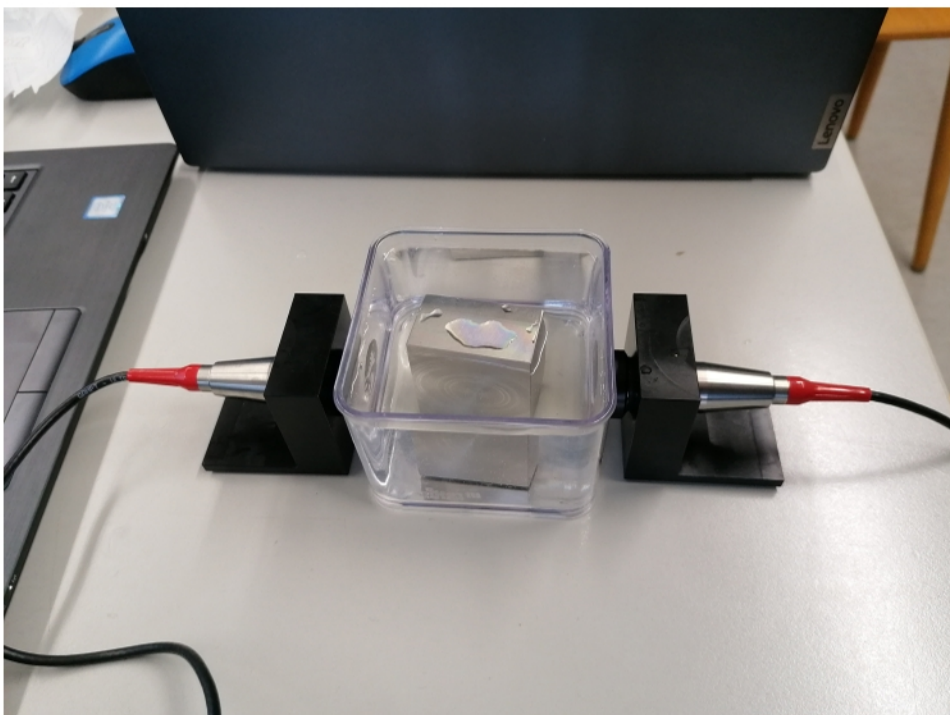
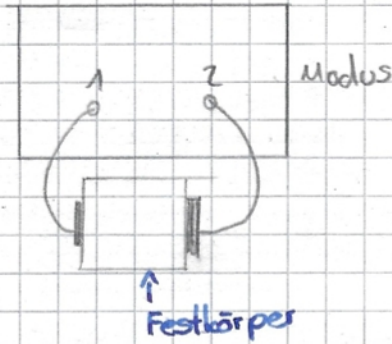
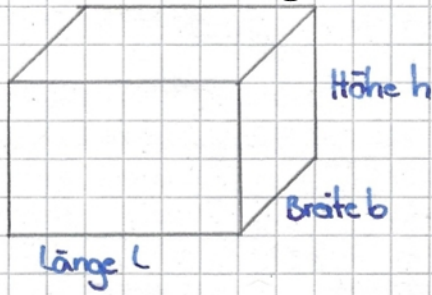


Abbildung 7: Foto Versuchsaufbau Transversalwellen

F Laborbucheintrag



Maße Festkörper

$h = 45,30 \text{ mm}$ $\Delta h = 0,05 \text{ mm}$
 $b = 26,75 \text{ mm}$ $\Delta b = 0,05 \text{ mm}$
 $L = 62,10 \text{ mm}$ $\Delta L = 0,05 \text{ mm}$

1. Longitudinalwelle (Indize steht für Echo)

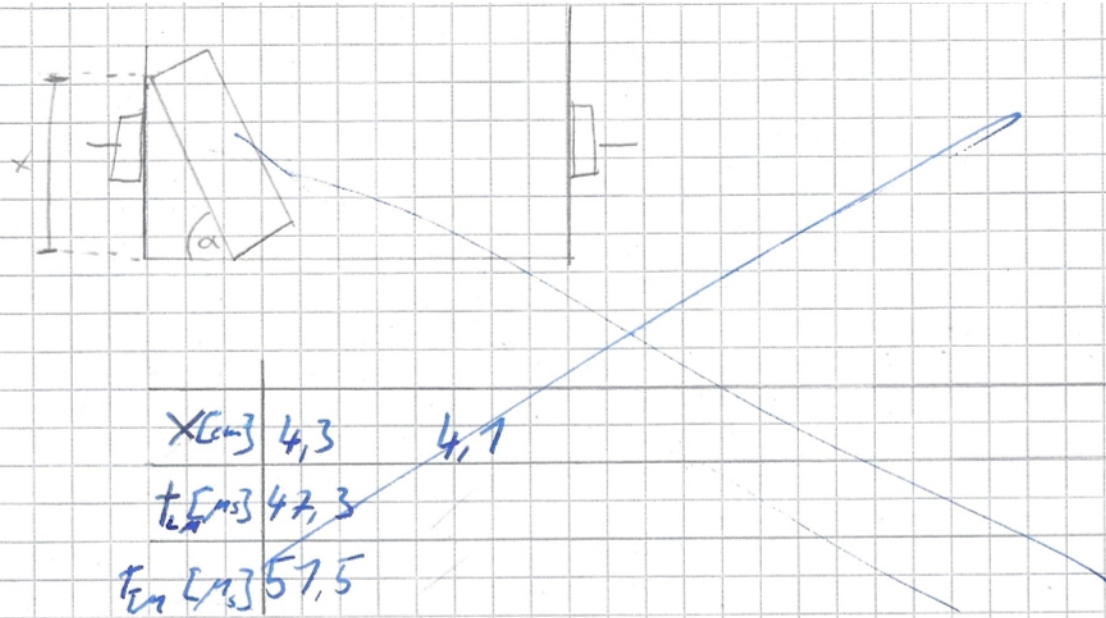
	$t_0 [\mu\text{s}]$	$t_1 [\mu\text{s}]$	$t_2 [\mu\text{s}]$	$t_3 [\mu\text{s}]$	$t_4 [\mu\text{s}]$	$t_5 [\mu\text{s}]$
Länge L	$33,3$ $11,9$	$40,5$ $33,2$	$47,5$ $55,8$	$55,0$ $76,5$	$62,1$ $71,8$	-
Höhe h	$24,3$ $23,5$	$32,1$ $32,2$	$40,1$ $40,2$	$47,5$ $56,0$	$56,0$ $71,8$	$63,1$ $87,8$
Breite b	$23,5$	$32,2$	$41,5$	$50,5$	$59,5$	$68,4$

$t_0 = 5,4 [\mu\text{s}]$ $14,3 [\mu\text{s}] = t_1$

↳ wir nehmen hier jedes zweite Echo, da die Echos dazwischen zu ungenau zum Ablesen sind

↳ wir lesen im Programm die Zeit für die maximale Amplitude ab

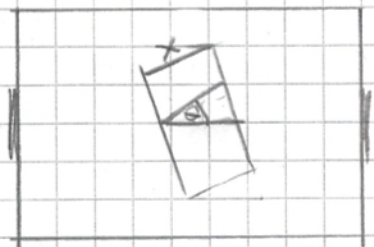
↳ wir nehmen $\Delta t = 0,2 \mu\text{s}$ für alle Zeitmessungen



x [cm] 4,3 4,7

t_{LM} [μs] 47,3

t_{EM} [μs] 57,5



$\Delta\theta = 1^\circ$

Breite Strecke x [mm]	θ Winkel [°]	t_{LM} [μs]	t_{EM} [μs]
b	8°	47,9	51,8
b	8°	47,7	51,6
h	6°	38,1	44,9
L	6°	29,5	38,8

