

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT FREIBURG
PHYSIKLABOR FÜR ANFÄNGER*INNEN, TEIL 1
SOMMERSEMESTER 2021

VERSUCH 25 AM 29.09.21

Ultraschall

30.09.21

Assistentin:

Inhaltsverzeichnis

1	Ziel des Versuchs	2
2	Aufbau und Durchführung	2
3	Auswertung und Fehleranalyse	4
3.1	Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_L über den Mittelwert	4
3.2	Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_L über lineare Regression	6
3.3	Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_T der transversalen Welle	7
4	Diskussion der Ergebnisse	9
4.1	Zusammenstellung der Ergebnisse	9
4.2	Vergleich mit Literaturwerten	9
4.3	Fehlerdiskussion	10
4.4	Verbesserte Messmethoden	11
5	Literatur	12
6	Anhang	13
6.1	Tabellen und Grafik	13
6.2	Laborbuch	16
6.3	Tabellenverzeichnis	19
6.4	Abbildungsverzeichnis	19

1 Ziel des Versuchs

In diesem Versuch soll die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Ultraschall in einer unbekanntem Metallprobe ermittelt werden. Dabei wird sowohl die longitudinale als auch die transversale Welle in zwei verschiedenen Messungen untersucht.

2 Aufbau und Durchführung

Um die oben genannten Ziele zu erreichen, werden die in [Abbildung 1](#) und [Abbildung 2](#) dargestellten Versuchsaufbauten verwendet. Die Ableseunsicherheiten werden bei analogen Skalen mit Dreiecks- und bei digitalen Skalen mit Rechtecksverteilung mit Formeln aus [2] ermittelt.

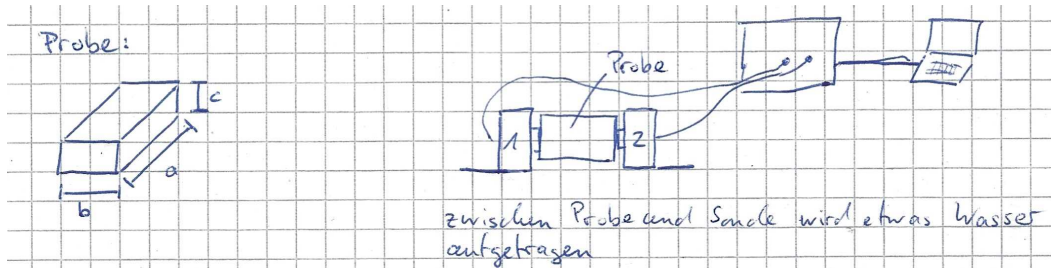


Abb. 1: Skizze des Versuchsaufbaus aus [Abbildung 8](#) mit allen relevanten Größen für die Messung der Geschwindigkeit der Longitudinalwelle.

Die longitudinale Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L wird gemessen, indem man zwei Ultraschallsonden an den Metallquader hält. Dabei ist darauf zu achten, dass die Kontaktstellen befeuchtet sind, damit Luftpinschlüsse die Messung nicht beeinflussen.

Um die Geschwindigkeit zu ermitteln wird gemessen, wie viel Zeit t zwischen der Aussendung und der Ankunft des Signals beziehungsweise der Echos vergeht. Die Ableseunsicherheit wird dabei auf $\Delta t = 0,3/\sqrt{6} \mu\text{s}$ geschätzt. Beide Ultraschallsonden können sowohl senden als auch empfangen. Welche Einstellung bei welcher Messung verwendet wird, ist in [Tabelle 2](#) durch die Kommentare 1/2 und 1/1 vermerkt. Dies bedeutet dabei Messgerät 1 sendet und 2 empfängt beziehungsweise Messgerät 1 sendet und empfängt. Durch Umschalten der Empfangs- und Sendeeinstellungen können Signale gemessen werden, die unterschiedliche Strecken s zurücklegen.

Für die Berechnung der Geschwindigkeiten werden diese Strecken benötigt. Deswegen werden vor dem Versuch die Kantenlängen des Quaders bestimmt. Dabei wird mit a die längste, mit b die mittlere und mit c die kürzeste Kante bezeichnet:

$$a = (6,210 \pm 0,004) \text{ cm} \quad (1)$$

$$b = (4,520 \pm 0,004) \text{ cm} \quad (2)$$

$$c = (2,600 \pm 0,004) \text{ cm}. \quad (3)$$

Nacheinander werden die Sonden entlang jeder Kante angelegt. Die Messreihen sind dabei nach den jeweiligen Kanten benannt.

Bei diesem Versuchsaufbau treten nur longitudinale Wellen auf. Um auch die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_T der transversalen Welle zu erhalten, wird der in [Abbildung 2](#) skizzierte Versuchsaufbau verwendet.

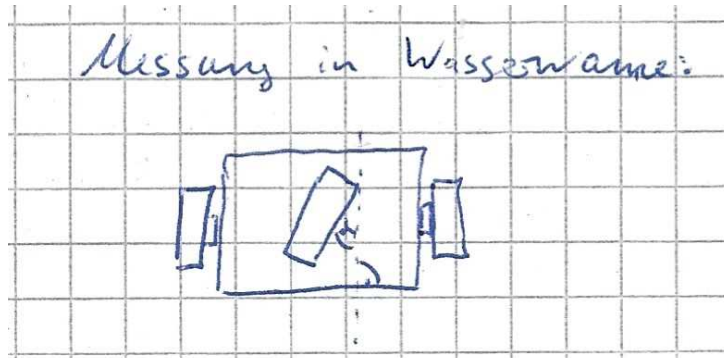


Abb. 2: Skizze des Versuchsaufbaus aus [Abbildung 8](#) mit allen relevanten Größen für die Messung der Geschwindigkeit der Transversalwelle.

Der Quader wird in einer Wasserwanne positioniert und dann langsam gedreht. Er ist so ausgerichtet, dass die Schallrichtung zunächst entlang von c ist. Die Sonden werden an die Wanne gehalten und wieder leicht befeuchtet. Beim Drehen wird nun beobachtet, wie ein neuer Peak auftaucht. Dieser soll von der transversalen Welle herrühren. Es wird die Einstellung $1/2$ verwendet. Um die im Metall zurückgelegte Strecke zu bestimmen, wird der Winkel α gemessen, um den der Quader gedreht ist. Er hat eine geschätzte Unsicherheit von $\Delta\alpha = 3/\sqrt{6}^\circ$.

3 Auswertung und Fehleranalyse

Von den Sonden können das Signal und seine Echos im Metall detektiert werden. Es sollten also nur Strecken, die dem Vielfachen der geometrischen Maße entsprechen, zurückgelegt werden. Da bereits bekannt ist, dass im Modell die Ausbreitungsgeschwindigkeit konstant und $s \sim t$ ist, kann mit Ablesen der Zeit des ersten Signals die ungefähre Zeit der Echos vorhergesagt werden. Bei der Versuchsdurchführung treten allerdings beim Messen entlang der Kanten a und b nicht zuzuordnende Peaks auf. Für die Auswertung der Geschwindigkeiten werden sie außen vor gelassen, da die zurückgelegte Strecke nicht zu ermitteln ist. Die zugehörigen Zeiten sind aber in [Tabelle 2](#) dargestellt. Mögliche Ursachen für diese Peaks werden in der Diskussion aufgegriffen.

3.1 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_L über den Mittelwert

Um die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L der longitudinalen Welle zu bestimmen, werden zwei verschiedene Methoden verwendet. Zunächst soll v_L direkt aus den Messwerten bestimmt und die Ausbreitungsgeschwindigkeit aus Mittelwert und Standardabweichung errechnet werden. Dazu wird die folgende Formel verwendet. Die Unsicherheit wird mit Fehlerfortpflanzung wie in [\[2\]](#) bestimmt. Es wird exemplarisch die Messreihe a betrachtet:

$$v_L = \frac{s}{t} = \frac{na}{t} \quad (4)$$

$$\Delta v_L = \sqrt{\left(\frac{n\Delta a}{t}\right)^2 + \left(\frac{-na\Delta t}{t^2}\right)^2}. \quad (5)$$

Die berechneten Werte für v_L sind in [Tabelle 3](#) im Anhang zusammengestellt. Bei der Auftragung der Werte in [Abbildung 3](#) fällt auf, dass die Werte einen deutlich ansteigenden Verlauf haben und keinesfalls zufällig um einen gemeinsamen Mittelwert streuen:

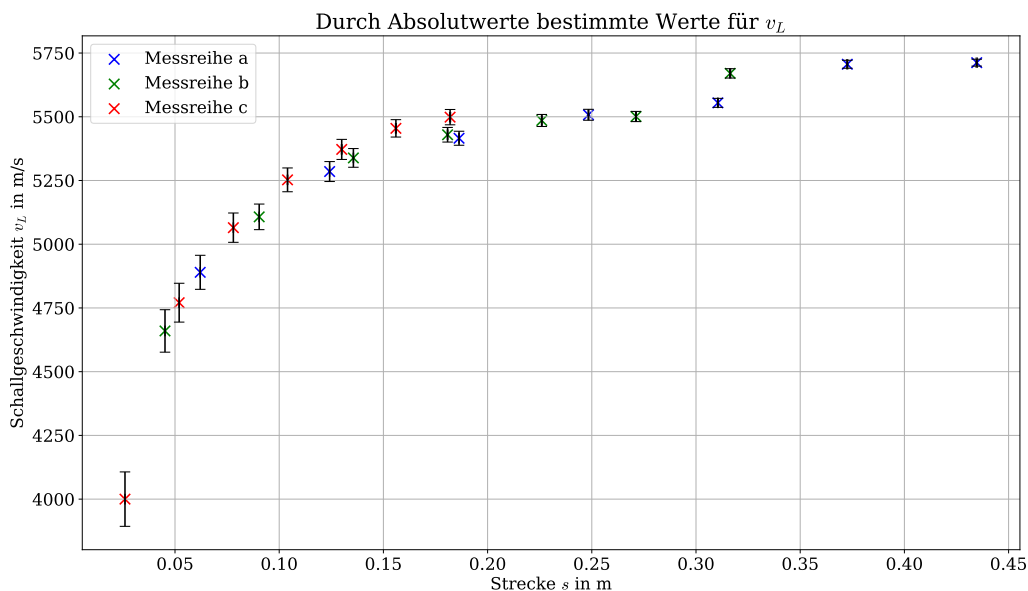


Abb. 3: Aufgetragen sind die durch [Gleichung 4](#) bestimmten Werte für v_L mit den jeweiligen Unsicherheiten in ms^{-1} gegen die jeweiligen Strecken s in m, die der Ultraschall zurückgelegt hat. Auch hier sind Unsicherheiten eingetragen, die jedoch kaum zu erkennen sind.

Ein Grund für den erkennbar ansteigenden Verlauf der Werte ist in erster Linie ein systematischer Fehler. Dieser entsteht vermutlich dadurch, dass bei der Messung der Zeit mit den Sonden der Sendezeitpunkt nicht exakt auf der 0, sondern leicht versetzt liegt. Dieser Fehler spielt bei kleinen Strecken s noch eine deutlich größere Rolle, die berechnete Geschwindigkeit v_L ist hier deutlich niedriger, da t systematisch zu groß gemessen wurde. Dadurch entsteht der erkennbar ansteigende Verlauf, der sich langsam der tatsächlichen Schallgeschwindigkeit v_L annähern sollte.

Um den Fehler zu vermeiden, werden die Rechnungen erneut durchgeführt, aber der Differenzenquotient gebildet. Dadurch spielt eine Verschiebung des Nullpunktes keine Rolle mehr. Es werden dabei folgende Formeln verwendet:

$$v_L = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1} = \frac{a}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

$$\Delta v_L = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{t_2 - t_1}\right)^2 + \left(\frac{-a\Delta t_1}{(t_2 - t_1)^2}\right)^2 + \left(\frac{a\Delta t_2}{(t_2 - t_1)^2}\right)^2}. \quad (7)$$

Die dadurch berechneten Werte sind erneut im Anhang in [Tabelle 4](#) zusammengestellt und in [Abbildung 4](#) dargestellt. Die beiden statistischen Ausreißer sollen in der Fehlerdiskussion näher betrachtet werden:

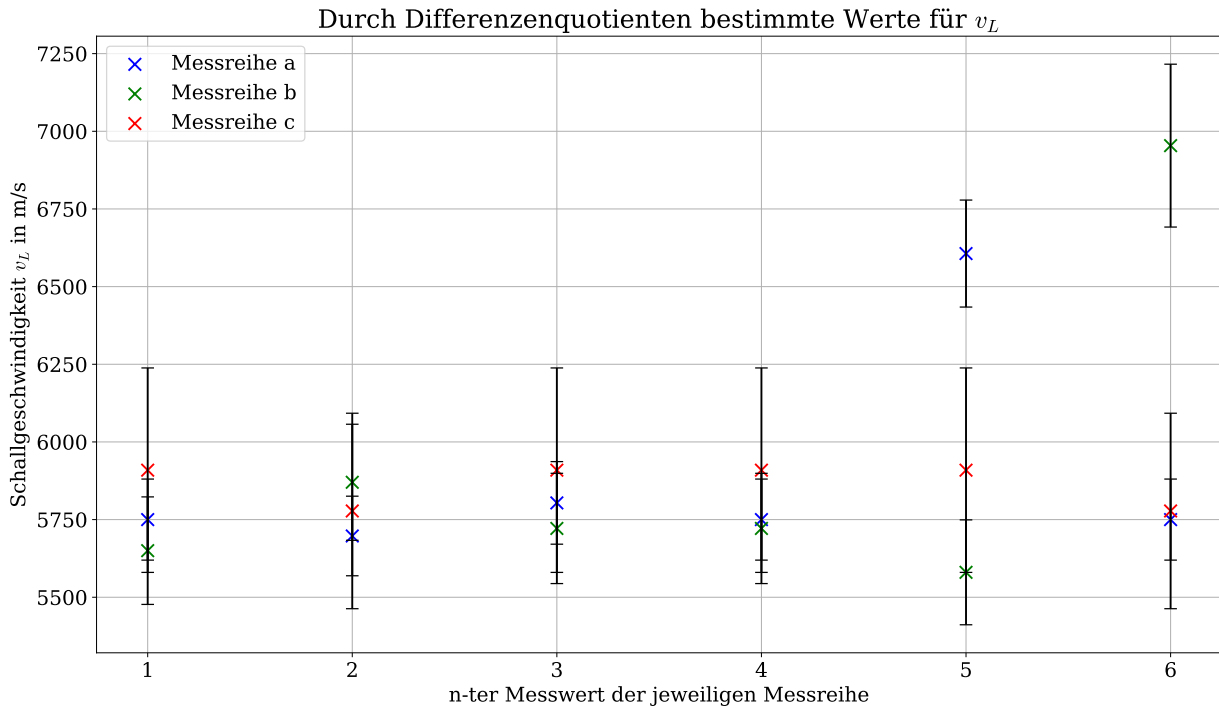


Abb. 4: Aufgetragen sind die durch [Gleichung 6](#) bestimmten Werte für v_L der verschiedenen Messreihen mit den jeweiligen Unsicherheiten in m s^{-1} .

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit kann nun über den Mittelwert und dessen Unsicherheit mit Formeln aus [\[2\]](#) bestimmt werden. Es ergibt sich dabei folgender Wert:

$$\bar{v}_L = (5890 \pm 80) \text{ m s}^{-1}. \quad (8)$$

In [Abbildung 5](#) sind erneut die berechneten Geschwindigkeiten v_L zusammen mit ihrem gemeinsamen Mittelwert aufgetragen:

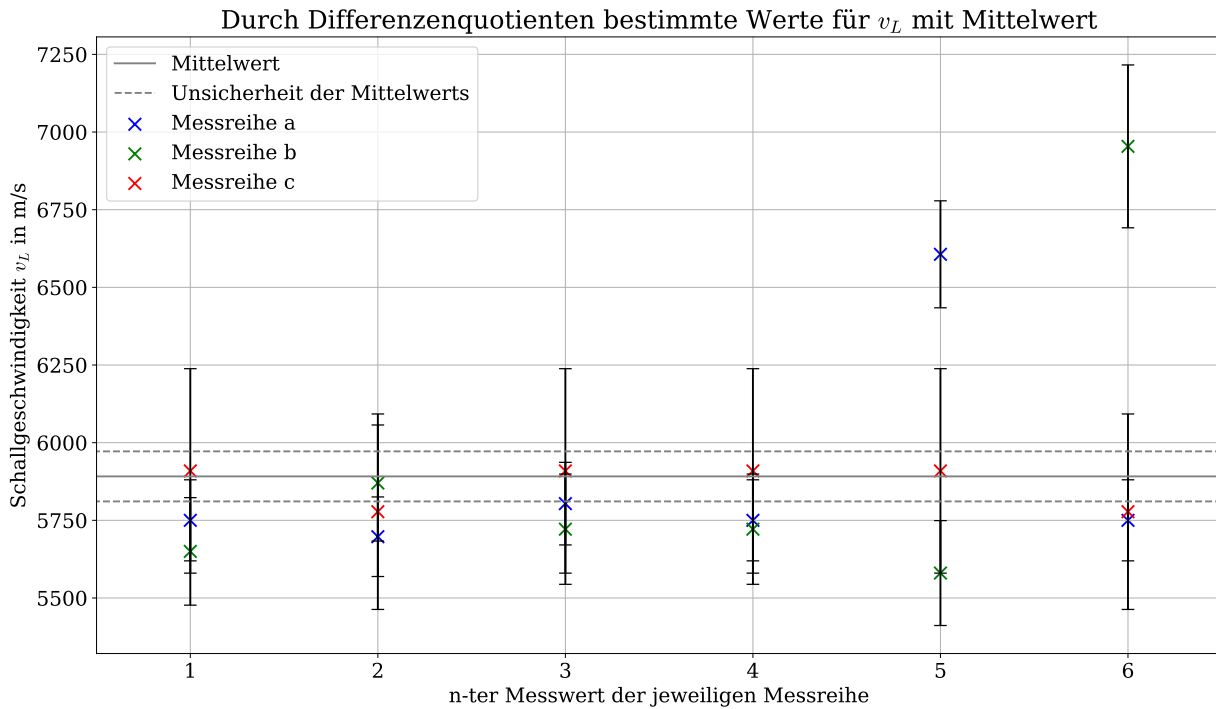


Abb. 5: Aufgetragen sind die durch [Gleichung 6](#) bestimmten Werte für v_L der verschiedenen Messreihen mit den jeweiligen Unsicherheiten in m s^{-1} . Außerdem ist der gemeinsame Mittelwert \bar{v}_L aus allen Messreihen mit seinen Unsicherheiten eingetragen.

3.2 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_L über lineare Regression

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit v_L soll nun auch mit linearer Regression bestimmt werden. Es wird dafür die Zeit t gegen die Strecke s aufgetragen. Dabei sollte sich folgende Ausgleichsgerade ergeben:

$$t = m \cdot s + t_0 \quad (9)$$

$$\text{mit } m = \frac{1}{v_L} \text{ und } t_0 = 0. \quad (10)$$

Der y-Achsenabschnitt t_0 ist, aufgrund des vermuteten systematischen Fehlers bei der Zeitmessung, wahrscheinlich von 0 verschieden. Die gemessenen Zeiten und Strecken mit der linearen Regression sind in [Abbildung 6](#) aufgetragen.

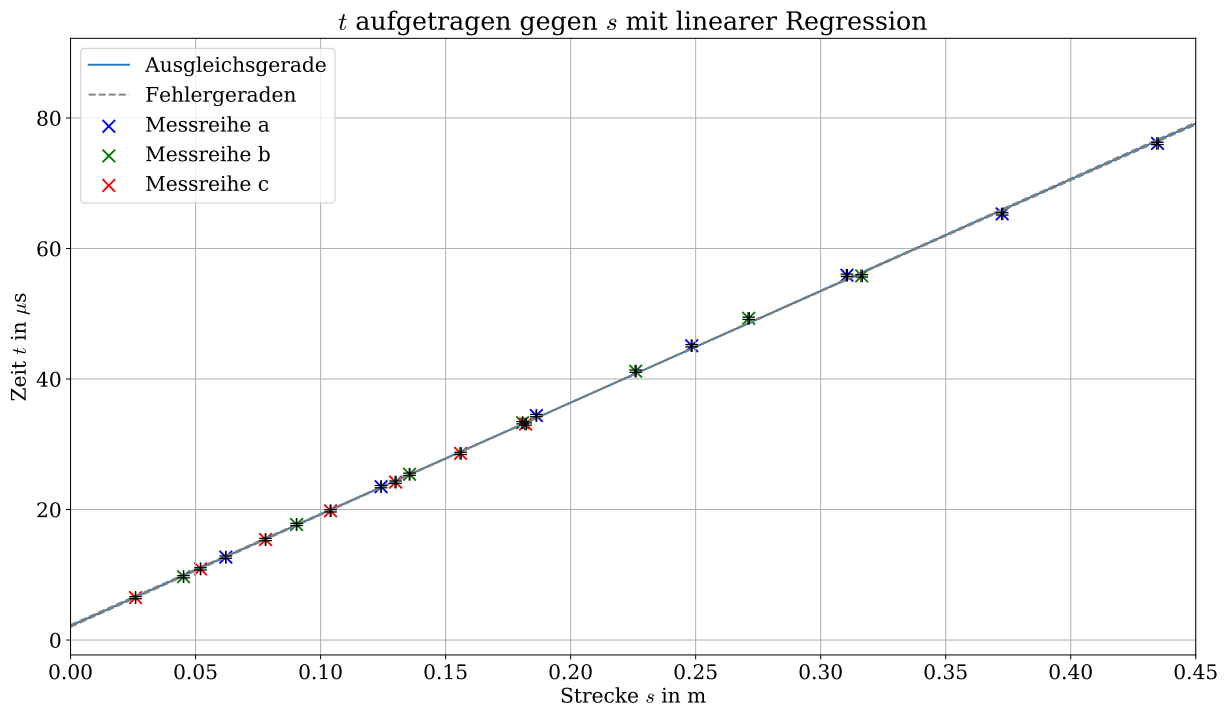


Abb. 6: Aufgetragen ist die Zeit t in μs gegen die zurückgelegte Strecke s in m. Außerdem ist die lineare Regression eingezeichnet. Die Unsicherheiten und die Fehlergeraden sind ebenfalls aufgetragen, allerdings sind diese sehr klein.

Für die Steigung m , den y-Achsenabschnitt t_0 und ihre Unsicherheiten ergeben sich mit Formeln aus [2] folgende Werte:

$$m = (171,1 \pm 0,7) \mu\text{s m}^{-1} \quad (11)$$

$$t_0 = (2,16 \pm 0,15) \mu\text{s}. \quad (12)$$

Hieraus kann mit [Gleichung 10](#) die Ausbreitungsgeschwindigkeit bestimmt werden:

$$v_L = \frac{1}{m} = (5840 \pm 20) \text{ m s}^{-1} \quad (13)$$

$$\text{mit } \Delta v_L = \frac{\Delta m}{m^2}. \quad (14)$$

Außerdem bestätigt sich mit dem von 0 verschiedenen y-Achsenabschnitt t_0 die Vermutung eines systematischen Fehlers bei der Zeitmessung, der in [Abbildung 3](#) sichtbar wird.

3.3 Bestimmung der Schallgeschwindigkeit v_T der transversalen Welle

Für die Bestimmung der transversalen Schallgeschwindigkeit werden folgende Werte t_{long} und t_{trans} für die Zeit gemessen, die die longitudinale beziehungsweise transversale Schallwelle für die komplette Strecke zwischen den Sonden benötigt:

$$t_{\text{long}} = (52,0 \pm 0,6) \mu\text{s} \quad (15)$$

$$t_{\text{trans}} = (85,1 \pm 0,6) \mu\text{s}. \quad (16)$$

Die Strecke s_{Metall} , die die Wellen im Metall zurücklegen, wird aus dem gemessenen Winkel $\alpha = (14,0 \pm 1,2)^\circ$ berechnet. Der verwendete Zusammenhang folgt aus geometrischen Überlegungen und die Unsicherheit wird über Fehlerfortpflanzung [2] berechnet:

$$s_{\text{Metall}} = \frac{c}{\cos \alpha} \quad (17)$$

$$\Delta s_{\text{Metall}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{\cos(\alpha)}\right)^2 + \left(\frac{c \sin \alpha}{(\cos \alpha)^2} \Delta \alpha\right)^2} \quad (18)$$

$$\Rightarrow s_{\text{Metall}} = (2,680 \pm 0,015) \text{ cm.} \quad (19)$$

Aus diesen Größen soll im Folgenden die transversale Schallgeschwindigkeit berechnet werden. Dazu muss zunächst eine Formel hergeleitet werden, wobei t_{Wasser} die Zeit ist, die beide Wellen durch das Wasser benötigen:

$$t_{\text{long}} = \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{L}}} + t_{\text{Wasser}} \quad (20)$$

$$t_{\text{trans}} = \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{T}}} + t_{\text{Wasser}} \quad (21)$$

$$\Rightarrow t_{\text{trans}} - t_{\text{long}} = \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{T}}} - \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{L}}} \quad (22)$$

$$\frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{T}}} = t_{\text{trans}} - t_{\text{long}} + \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{L}}} \quad (23)$$

$$v_{\text{T}} = \frac{s_{\text{Metall}}}{t_{\text{trans}} - t_{\text{long}} + \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{L}}}}. \quad (24)$$

Die Unsicherheit wird erneut über Fehlerfortpflanzung [2] berechnet:

$$\Delta v_{\text{T}} = \frac{\sqrt{((t_{\text{trans}} - t_{\text{long}}) \Delta s_{\text{Metall}})^2 + (s_{\text{Metall}} \Delta t_{\text{long}})^2 + (-s_{\text{Metall}} \Delta t_{\text{trans}})^2}}{\left(t_{\text{trans}} - t_{\text{long}} + \frac{s_{\text{Metall}}}{v_{\text{L}}}\right)^2}. \quad (25)$$

Mit diesen Formeln lässt sich nun die transversale Ausbreitungsgeschwindigkeit v_{T} berechnen, wobei für v_{L} die in [Unterabschnitt 3.2](#) aus linearer Regression berechnete Geschwindigkeit $v_{\text{L}} = (5840 \pm 20) \text{ m s}^{-1}$ verwendet wird:

$$v_{\text{T}} = (711 \pm 16) \text{ m s}^{-1}. \quad (26)$$

Die Plausibilität dieses Ergebnisses soll im Vergleich mit Literaturwerten in [Unterabschnitt 4.2](#) überprüft werden.

4 Diskussion der Ergebnisse

4.1 Zusammenstellung der Ergebnisse

Mithilfe der ersten Messreihe wurden zunächst die folgenden beiden longitudinalen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 berechnet, die durch Mittelwertbildung beziehungsweise lineare Regression bestimmt wurden:

$$v_1 = (5890 \pm 80) \text{ m s}^{-1} \quad (27)$$

$$v_2 = (5840 \pm 20) \text{ m s}^{-1}. \quad (28)$$

Mit einem t -Wert von 0,6 sind die beiden Ergebnisse sehr gut miteinander verträglich. Ein t -Wert von unter 2 lässt auf eine gute, ein t -Wert über 2 auf eine schlechtere Verträglichkeit schließen. Der Wert für v_2 ist mit einer relativen Unsicherheit von 0,3% jedoch genauer, als der Wert für v_1 , der eine relative Unsicherheit von 1,4% besitzt.

Die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit durch direkte Berechnung aus $v = s/t$ wurde wegen eines systematischen Fehlers verworfen. Dieser Fehler konnte mithilfe der linearen Regression in Form des y -Achsenabschnittes $t_0 = (2,16 \pm 0,15) \mu\text{s}$ identifiziert werden.

Durch die zweite Messreihe wurde zudem noch die transversale Ausbreitungsgeschwindigkeit v_T bestimmt:

$$v_T = (711 \pm 16) \text{ m s}^{-1}. \quad (29)$$

4.2 Vergleich mit Literaturwerten

Die ermittelten Ausbreitungsgeschwindigkeiten werden nun noch mit Literaturwerten verglichen. Zunächst werden in [Tabelle 1](#) die beiden longitudinalen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 mit Literaturwerten, deren Schallgeschwindigkeit in der Nähe liegen, verglichen. Zudem werden mit den Formeln aus [\[2\]](#) die t -Werte berechnet, um Aussagen über die Verträglichkeit treffen zu können.

Tab. 1: Die berechneten Werte für v_1 und v_2 werden mit Literaturwerten ausgewählter Metalle aus [\[4\]](#) mit Hilfe der t -Werte verglichen.

Material	Literaturwert v_L in m s^{-1}	t -Wert mit $v_1 = (5890 \pm 80) \text{ m s}^{-1}$	t -Wert mit $v_2 = (5840 \pm 20) \text{ m s}^{-1}$
Eisen	5960	0,9	4,7
Stahl (Legierung 4340)	5850	0,5	0,2
Stahl (Karbon 1018)	5920	0,4	3,1
Nickel-Chrom-Legierung	5820	0,9	1,0

Am besten verträglich ist die berechnete Ausbreitungsgeschwindigkeit mit dem Literaturwert von Stahl. Auch die Nickel-Chrom-Legierung ist noch mit beiden berechneten Werten verträglich. Außerdem fällt auf, dass alle Literaturwerte mit der durch Mittelwertbildung berechneten Geschwindigkeit v_1 aber nicht mit v_2 verträglich sind. Das kann durch die mit $\Delta v_1 = 80 \text{ m s}^{-1}$ größere Unsicherheit erklärt werden. Bei dem Metallstück handelt es sich also am wahrscheinlichsten um Stahl.

Für die transversale Welle wird der Literaturwert aus [\[5\]](#) von Stahl betrachtet. Er liegt bei $v_{\text{Stahl, trans}} = 3230 \text{ m s}^{-1}$. Der hier ermittelte Wert von $v_T = (711 \pm 16) \text{ m s}^{-1}$ ist offensichtlich stark vom Literaturwert verschieden und mit einem t -Wert von $t = 157,4$ extrem unverträglich. Es ist zwar möglich, dass es ein Metall oder eine Legierung gibt, bei denen die Werte besser passen

und diese nur nicht betrachtet wurden. Allerdings ist ein grober Fehler bei der Ermittlung der transversalen Geschwindigkeit wahrscheinlicher, da auch die anderen verträglichen Materialien eine Transversalgeschwindigkeit in der gleichen Größenordnung wie Stahl haben. Auf diesen Fehler wird in der Fehlerdiskussion näher eingegangen.

4.3 Fehlerdiskussion

In [Abbildung 4](#) fallen zwei statistische Ausreißer auf, die im Folgenden behandelt werden. Mit einem Wert von $v_T = (6600 \pm 170) \text{ m s}^{-1}$ und $v_T = (7000 \pm 300) \text{ m s}^{-1}$ weichen sowohl der vorletzte Messwert der Messreihe *a*, als auch der letzte Messwert der Messreihe *b* deutlich vom ermittelten Mittelwert $\bar{v}_T = (5890 \pm 80) \text{ m s}^{-1}$ ab. Dieses Verhalten ist auch in [Abbildung 5](#) deutlich zu erkennen.

Die hohen Abweichungen sind vermutlich auf Messungenauigkeiten beim Ablesen der Zeiten zurückzuführen. Gerade bei den hinteren Messwerten trat hohes Rauschen bei der Messung auf und die Peaks waren deutlich schlechter zu erkennen. Es ist daher gut möglich, dass bei diesen Messungen irrtümlicherweise die falschen Peaks gemessen wurden.

Ein erstaunlicher Effekt, der vor allem zu Beginn der Messungen zunächst für große Verwirrung sorgte, war das Auftauchen zusätzlicher Peaks in den Messreihen *a* und *b*. Auch wenn keine abschließende Erklärung für dieses Phänomen bekannt ist, sollen im Folgenden einige mögliche Ursachen diskutiert werden:

Es ist zunächst auszuschließen, dass die Peaks durch Schallwellen auftreten, die an dem Körper vorbeigehen und durch die Luft übertragen werden. Messungen der Schallgeschwindigkeit in der Luft bei gleichen Abständen konnten zeigen, dass die Signale bei Luft deutlich später ankommen als beim Metall. Alle gemessenen Werte lagen dabei deutlich außerhalb des Bereichs in dem bei der Messung die Peaks des Metalls abgelesen wurden.

Außerdem ist auszuschließen, dass die zusätzlichen Peaks durch Fehlfunktionen der Sonden auftreten, da einerseits bei einer der Messreihen keine zusätzliche Peaks auftreten und andererseits testweise die Sonden in direkten Kontakt gebracht wurden und dabei keinerlei unerwartete Reflexionen zu messen waren.

Eine mögliche Ursache, die die nicht zuordenbaren Peaks erklären könnte, wären weitere Reflexionen an den Wänden des Quaders. Dafür würde sprechen, dass bei der längsten Strecke, bei der außerdem die Wände am nächsten liegen, die meisten zusätzlichen Peaks auftreten.

Es wäre außerdem möglich, dass die zusätzlichen Peaks durch Oberflächenwellen auftreten, die sich an den Rändern des Quaders ausbreiten. Diese Oberflächenwellen besitzen gegebenenfalls eine andere Ausbreitungsgeschwindigkeit. Für diese Erklärung würde sprechen, dass in Messreihe *c* keine zusätzlichen Peaks auftreten, da nur in den beiden anderen Messreihen die Oberflächen direkt in Kontakt mit dem Sender kamen.

Die ermittelte transversale Ausbreitungsgeschwindigkeit v_T weicht stark vom Literaturwert von Stahl ab, obwohl die longitudinale Geschwindigkeit mit Stahl gut verträglich ist.

Eine Ursache hierfür könnte in der Vorgehensweise der Messung zu finden sein. Es wurde beobachtet, wie sich die Peaks durch Drehen des Quaders verändern. Dabei wurde nur ein neu auftauchender Peak dokumentiert, weil angenommen wurde, dass dieser von der Transversalwelle herrührt. Dieser Peak befand sich bei einer recht großen Zeit, wo bereits viel Rauschen vorhanden war.

Während der Messung wurde ein zweiter entstehender Peak beobachtet, der sich näher am, durch die Longitudinalwelle verursachten Peak, befand. Dieser war deswegen allerdings schlechter zu erkennen und wurde fälschlicherweise für eine zufällige Schwankung gehalten und nicht dokumentiert.

Die schlechte Verträglichkeit kommt also wahrscheinlich durch die Auswertung eines falschen Peaks zustande.

4.4 Verbesserte Messmethoden

Die größte Fehlerquelle bei der Bestimmung der Geschwindigkeit v_L der Longitudinalwelle liegt bei der Messung der Zeit, weshalb es sinnvoll ist, diese zu verbessern. Eine gute Möglichkeit dafür wäre, eine Software zu benutzen, die die Peaks automatisch bestimmt und direkt ausgibt, da das Ablesen vom Bildschirm aufgrund von Schwankungen und Rauschen der Peaks fehleranfällig ist.

Ein weiteres Problem sind die zusätzlichen Peaks mit unbekannter Wegstrecke, weshalb eine Auswertung dieser Messwerte nicht möglich ist. Außerdem verfälscht eine falsche Zuordnung dieser Peaks das Ergebnis. Eine Lösung dafür könnte sein, mehrere Materialien zu untersuchen. Dabei könnte der Effekt der zusätzlichen Peaks und die Ursache für den Effekt genauer beschrieben und besser in die Messung eingeordnet werden.

Um die Messung der Transversalwelle zu verbessern, ist es sinnvoll, nicht nur einen Peak, sondern alle plausiblen Ausschläge aufzuschreiben. Anschließend kann in der Auswertung beurteilt werden, welcher Peak am realistischsten ist.

Um die angestrebte Größenordnung der Transversalwelle zu kennen und einen genaueren Vergleich mit Literaturwerten zu ermöglichen, ist es hilfreich das Material der Probe zu kennen. Dadurch könnte man durch grobes Überschlagen nicht plausible Peaks schon direkt ausschließen.

Literatur

- [1] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Versuch 25 - Ultraschall, Versuchsbeschreibung des Physiklabors für Anfänger*innen*, (2021)
- [2] Dr. Christof Bartels, Dr. Lukas Bruder, Dr. Thomas Pfohl: *Datenanalyse - Skript zur Vorlesung am 06.09.2021*, (2021)
- [3] Wolfgang Demtröder: *Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärmelehre*, (2018), <https://link-springer-com.ezproxy-unifr-1.redi-bw.de/book/10.1007%2F978-3-662-54847-9#toc> (aufgerufen am: 29.09.21)
- [4] Michael Sellars: *Ultraschallprüfung*, <https://www.ultraschallpruefung.com/schallgeschwindigkeiten/> (aufgerufen am: 30.09.2021)
- [5] Joseph L. Rose: *Ultrasonic Waves in Solid Media*, (2004), <https://books.google.de/books?id=DEtHDJJ-RS4C&pg=PA44#v=onepage&q&f=false> (aufgerufen am: 30.09.21)

6 Anhang

6.1 Tabellen und Grafik

Tab. 2: Aufgetragen ist die zurückgelegte Strecke s in cm mit der zugehörigen Laufzeit t in μs und dem Messmodus. Die Unsicherheiten für a , b und c betragen jeweils 0,004 cm. Die Zeilen ohne Werte für s sind, wie bereits in [Abschnitt 3](#) erwähnt, nicht zuordenbare Peaks.

Zurückgelegte Strecke s in cm	Laufzeit t in μs mit $\Delta t = 0,17 \mu\text{s}$	Messmodus
a	12,7	1/2
2a	23,5	1/1
-	30,7	1/1
3a	34,4	1/2
-	41,5	1/2
4a	45,1	1/1
-	48,5	1/2
-	52,2	1/1
5a	55,9	1/2
-	59,3	1/1
-	63,3	1/2
6a	65,3	1/1
-	68,7	1/2
7a	76,1	1/2
b	9,7	1/2
2b	17,7	1/1
-	25,1	1/1
3b	25,4	1/2
-	32,7	1/2
4b	33,3	1/1
-	40,6	1/1
5b	41,2	1/2
-	48,3	1/2
6b	49,3	1/1
7b	55,8	1/2
c	6,5	1/2
2c	10,9	1/1
3c	15,4	1/2
4c	19,8	1/1
5c	24,2	1/2
6c	28,6	1/1
7c	33,1	1/2

Tab. 3: Zu sehen ist, die aus der Wegstrecke und der jeweiligen Zeit t berechnete Geschwindigkeit v_L für die Messreihen a , b und c . Außerdem sind die jeweiligen Unsicherheiten aufgetragen.

Vielfaches der jeweiligen Kantenlänge	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe a	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe b	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe c
1	4890 ± 70	4660 ± 80	4000 ± 110
2	5290 ± 40	5110 ± 50	4770 ± 80
3	5420 ± 30	5340 ± 40	5060 ± 60
4	5500 ± 20	5430 ± 30	5250 ± 50
5	5554 ± 18	5490 ± 20	5370 ± 40
6	5706 ± 16	5500 ± 20	5450 ± 30
7	5712 ± 14	5670 ± 18	5500 ± 30

Tab. 4: Zu sehen ist, die aus der Wegstrecke und der jeweiligen Zeit t berechnete Geschwindigkeit v_L für die Messreihen a , b und c . Hierfür wird der Differenzenquotient verwendet. Außerdem sind die jeweiligen Unsicherheiten durch Fehlerfortpflanzung aufgetragen.

n -ter Messwert	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe a	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe b	Geschwindigkeit v_L in m s^{-1} aus Messreihe c
1	5750 ± 130	5650 ± 170	5900 ± 300
2	5700 ± 130	5870 ± 190	5800 ± 300
3	5800 ± 130	5720 ± 180	5900 ± 300
4	5750 ± 130	5720 ± 180	5900 ± 300
5	6600 ± 170	5580 ± 170	5900 ± 300
6	5750 ± 130	7000 ± 300	5800 ± 300

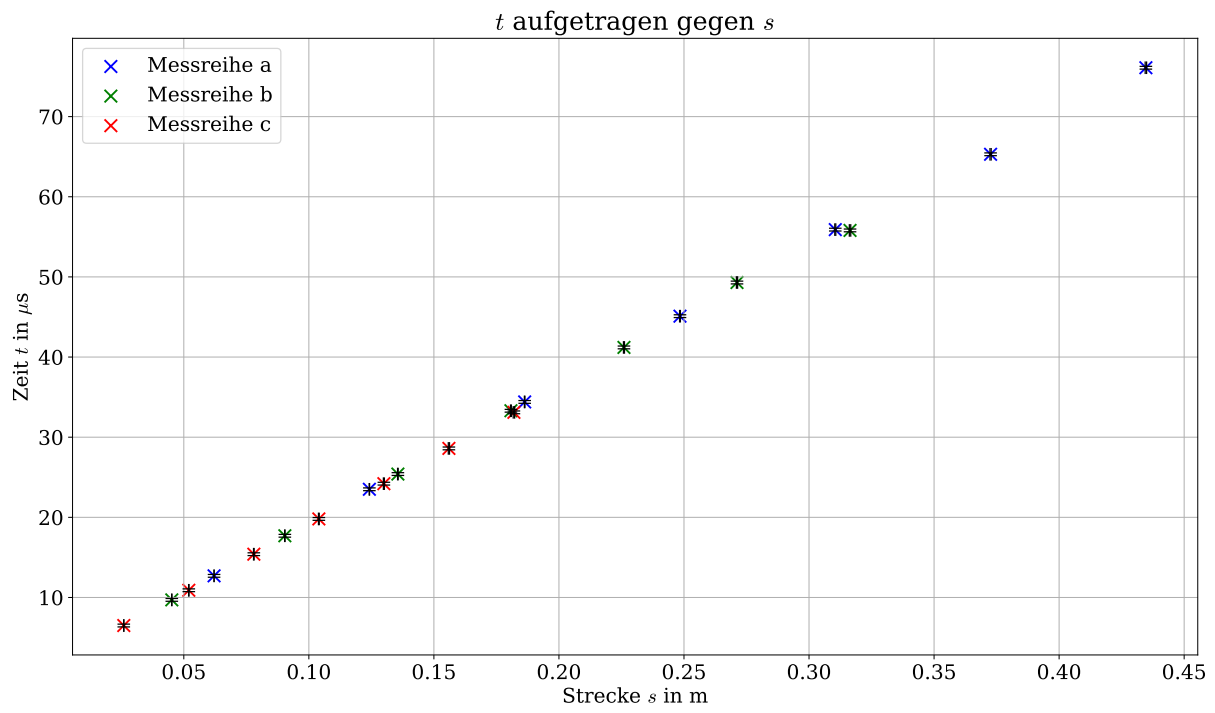


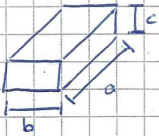
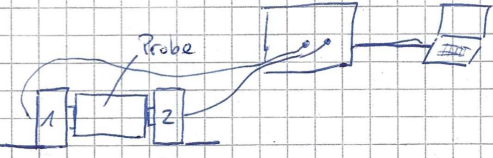
Abb. 7: Aufgetragen ist die Zeit t in μs gegen die zurückgelegte Strecke s in m. Die Unsicherheiten sind ebenfalls aufgetragen, allerdings sind diese sehr klein.

6.2 Laborbuch

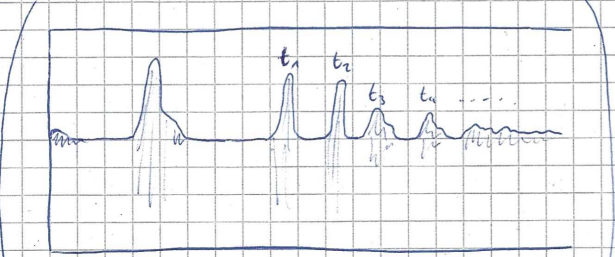
Versuch 25 - Ultraschall 29.09.21

1. Versuchsaufbau

Probe:





zwischen Probe und Senke wird etwas Wasser aufgetragen



Wir messen erst die Peaks, bei denen eine Periodizität erkennbar ist.

Messung in Wasserwanne:



2. Messung $T = (21 \pm \frac{1}{\sqrt{6}}) ^\circ\text{C}$

Metallprobe: $a_M = (6,21 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{cm}$ $b_M = (4,52 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{cm}$ $c_M = (2,60 \pm \frac{0,01}{\sqrt{6}}) \text{cm}$

$\Delta t = (\frac{0,3}{\sqrt{3}}) \mu\text{s}$

2.1 Messreihe über verschiedene Kanten

Strecke s	Zeit t_1 in μs mit Δt	Zeit t_2 in μs mit Δt	Zeit t_3 in μs mit Δt	Zeit t_4 in μs mit Δt
c_M	6,7	15,3	24,2	33,0
b_M				

Abb. 8: Laborbuch, Seite 1

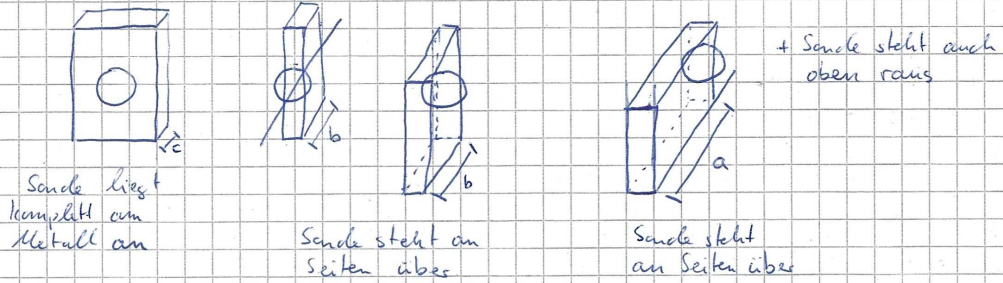
eingelagerte Kante	t_1 in μs	t_2 in μs	t_3 in μs	t_4 in μs	t_5 in μs	t_6 in μs
a_n	34,3	41,6	49,6	56,1	63,1	70,3
b_n	25,4	32,7	41,3	48,3	55,8	64,0
c_n	6,6	15,3	24,3	33,2	42,2	

/ 1/2 Zusätzlichste mit Δ	/ 1/1 Strecke s in cm	/ nicht zuzuordnen t in μs mit Δt	s in cm	t in μs
a		<u>12,7</u>	7b	<u>55,8</u>
3a		<u>34,4</u>	2b	<u>17,7</u>
2a		<u>23,5</u>		<u>25,1</u>
4a		<u>45,1</u> 30,7	4b	<u>33,3</u>
		<u>30,7</u>		<u>40,6</u>
		<u>41,5</u>	6b	<u>49,3</u>
		<u>48,5</u>		
5a		<u>55,9</u>	c	<u>6,5</u>
		<u>63,3</u>	3c	<u>15,4</u>
		<u>68,7</u>	5c	<u>24,2</u>
7a		<u>76,1</u>	7c	<u>33,1</u>
6a		<u>65,3</u>	2c	10,9
		<u>59,3</u>	4c	19,8
		<u>52,2</u>	6c	28,6
b		<u>9,7</u>		
3b		<u>25,4</u>		
		<u>32,7</u>		
5b		<u>41,2</u>		
		<u>48,3</u>		

Abb. 9: Laborbuch, Seite 2

Beobachtungen:

- Bei Messung nur in Luft treten keine unzuordbare Peaks auf
- Beim aneinander Halten der Sonden treten die unzuordbaren Peaks nicht auf.
- Positionierung der Probe bei Messung:



2.2 Drehung des Blocks

	s in cm	t in cm μs
Longitudinalwelle	$c \pm 0,1 \text{ cm}$	52,0
Transversalwelle	$c \pm 0,1 \text{ cm}$	82,1

	eingelagte Kante s in cm	t in μs	Graz Winkel α
Longitudinalwelle	$\sin \alpha \cdot c$	52,0	$(14 \pm \frac{3}{\sqrt{6}})^\circ$
Transversalwelle	c	85,1	

VT

Abb. 10: Laborbuch, Seite 3

Tabellenverzeichnis

1	Vergleich mit Literaturwerten	9
2	Zurückgelegte Strecke mit Laufzeit und Messmodus	13
3	Berechnete Geschwindigkeiten aus den jeweiligen Messreihen	14
4	Mit dem Differenzenquotienten berechnete Geschwindigkeiten aus den jeweiligen Messreihen	14

Abbildungsverzeichnis

1	Versuchsaufbau für die Longitudinalwelle	2
2	Versuchsaufbau für die Transversalwelle	3
3	Durch Absolutwerte bestimmte Werte für v_L	4
4	Durch Differenzenquotienten bestimmte Werte für v_L	5
5	Durch Differenzenquotienten bestimmte Werte für v_L und der bestimmte Mittelwert mit Unsicherheiten	6
6	Zeit t gegen die Strecke s mit linearer Regression	7
7	Zeit t gegen die Strecke s	15
8	Laborbuch, Seite 1	16
9	Laborbuch, Seite 2	17
10	Laborbuch, Seite 3	18