



## Versuchsanleitung

# Longitudinale Schallwellen

Nummer: 09  
Kompiliert am: 29. März 2023  
Letzte Änderung: 29.03.2023  
Beschreibung: Longitudinale Schallwellen gibt es in allen Medien. In diesem Versuch erlernen Sie zunächst den Umgang mit einem Digitaloszilloskop zur Frequenzanalyse und bestimmen dann die Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Gasen und Metallen.  
Webseite: <https://www.uni-ulm.de/nawi/institut-fuer-quantenoptik/ag-prof-jelezko/lehre/grundpraktikum-physik-physwiphys-la-phys/>

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einführung</b>	<b>2</b>
<b>2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung</b>	<b>2</b>
2.1 Theorie . . . . .	2
2.2 Beispiele aus Natur und Alltag . . . . .	2
<b>3 Versuchsdurchführung</b>	<b>2</b>
3.1 Vorversuch: Umgang mit dem digitalen Oszilloskop . . . . .	2
3.2 Schallgeschwindigkeit in Gasen . . . . .	3
3.3 Schallgeschwindigkeit in Metallen . . . . .	3
3.4 Häufige Fehler . . . . .	3
<b>4 Versuchszubehör</b>	<b>4</b>
<b>5 Hinweise zur Ausarbeitung</b>	<b>4</b>
5.1 Versuchsspezifisch . . . . .	4
5.2 Allgemein . . . . .	5
<b>Literatur</b>	<b>6</b>

# 1 Einführung

Longitudinale Schallwellen breiten sich sowohl in Gasen als auch in Festkörpern aus. Es handelt sich dabei um eine sich räumlich und zeitlich ausbreitende Störung in einem Medium wechselwirkender Bestandteile. Die notwendige rücktreibende Kraft beruht in Gasen auf dem Druckausgleich (Kompressionsmodul) und in Festkörpern auf den elastischen Eigenschaften des Materials (E-Modul, Poisson-Zahl). In diesem Versuch bestimmen Sie durch Erzeugung stehender Wellen die Schallgeschwindigkeit verschiedener Gase und Metalle.

## 2 Stichpunkte zur Versuchsvorbereitung

### 2.1 Theorie

- Wellenlehre allgemein (Definition einer Welle, Zusammenhang mit Schwingungen, Voraussetzungen)
- Wellenlänge, Wellenzahl, Phasenfläche, Phasen- und Gruppengeschwindigkeit [Dem15]
- Allgemeine Herleitung der Wellengleichung [Dem15]
- Longitudinale und transversale Wellen
- Herleitung der Schallgeschwindigkeit mechanischer Wellen im elastischen Festkörper [Dem15]
- Auswirkung der Materialeigenschaften auf die Schallgeschwindigkeit
- Herleitung der Schallgeschwindigkeit in Gasen [Dem15]
- Zustandsgleichung idealer Gase, Adiabatengleichung [Dem15, Mes06]
- Überlagerung von Wellen, stehende Wellen, Randbedingungen, Knoten, Bäuche [Dem15]
- Quincke'sches Resonanzrohr [Dem15]
- Weitere Literatur: [Wal06]

### 2.2 Beispiele aus Natur und Alltag

- Allgemein Akustik
- Resonanzaufladung von Verbrennungsmotoren
- Ultraschall-Levitation
- Geologie: Reflexionsseismik ( $P$ -Wellen)

## 3 Versuchsdurchführung

### 3.1 Vorversuch: Umgang mit dem digitalen Oszilloskop

1. Messen Sie mit dem Digitaloszilloskop drei verschiedene Wechselspannungen zwischen 500 Hz und 4 kHz, die Sie mit dem Frequenzgenerator erzeugen. Bestimmen Sie dazu die Frequenzen im  $y, t$ - wie auch im  $FFT$ -Betriebsmodus. Versuchen Sie durch verschiedene Einstellungen und Messmethoden die Genauigkeit Ihrer Messungen zu verbessern. Stellen Sie Ihre Ergebnisse in einer Tabelle dar und diskutieren Sie die Qualität der einzelnen Methoden.
2. Wiederholen Sie Teil 1 mit einem Lautsprecher als Quelle und einem Mikrofon als Empfänger. Verändern die dazwischengeschalteten Geräte etwas an der gemessenen Frequenz? Ändert sich die Form des Signals?

### 3.2 Schallgeschwindigkeit in Gasen

1. Erzeugen Sie mit dem Funktionsgenerator und Lautsprecher Schallwellen in Luft im Frequenzbereich zwischen 1000 Hz und 4000 Hz (mindestens 7 verschiedene Frequenzen bei ähnlichen Frequenzabständen). Verschieben Sie den Stempel mit eingebautem Mikrofon im Rohr und bestimmen Sie mit dem Digitaloszilloskop über die Amplitude die Positionen des Stempels, bei denen Resonanz im Luftrohr auftritt. Notieren Sie dazu die Position des ersten und letzten Maximums sowie die Anzahl auftretender Maxima. Notieren Sie außerdem die Raumtemperatur. Berechnen Sie aus Ihren Messungen die Schallgeschwindigkeit in Luft (Regression). Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit auf die gemessene Raumtemperatur korrigierten Literaturwerten bzw. dem theoretischen Wert unter Verwendung des Adiabatenexponenten und der molaren Masse.
2. Wiederholen Sie den vorherigen Versuchsteil mit einer  $\text{CO}_2$ -Füllung im Rohr. Finden Sie eine geeignete Füllmethode (Füllgeschwindigkeit), um möglichst gute Ergebnisse zu erhalten.

### 3.3 Schallgeschwindigkeit in Metallen

1. Messen Sie die Länge eines mittig eingespannten Metallstabes. Erzeugen Sie longitudinale Schallwellen im Stab durch Anschlagen mit einem Kunststoffstab und achten Sie dabei auf reproduzierbare Bedingungen. Bestimmen Sie die auftretenden Resonanzen mit dem Oszilloskop im  $FFT$ -Modus. Ordnen Sie Ihre Messergebnisse den erwarteten (theoretisch errechneten) Schwingungsmoden zu und bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit im Stab (Regression). Welche Eigenschwingungen treten im Experiment auf? Auf welches Stabmodell lässt sich daraus schließen? Um welches Material handelt es sich bei dem Stab? Ordnen Sie dazu Ihrem Ergebnis für die Schallgeschwindigkeit  $c_s \approx \sqrt{\frac{E}{\rho}}$  geeignete Metalle mit ihren Werten für  $E$  und  $\rho$  aus der Literatur zu (diese Näherung gilt, wenn der Stabdurchmesser klein gegen die Wellenlänge ist; sonst gälte  $c_s = \sqrt{\frac{E}{\rho} \sqrt{\frac{1-\nu}{1-\nu-2\nu^2}}}$ ).
2. Wiederholen Sie Versuchsteil 1 mit einem bei  $1/4$  und  $3/4$  der Länge eingespannten Metallrohr und vergleichen Sie wieder erwartete und beobachtete Schwingungsmoden.

### 3.4 Häufige Fehler

- Fehler nicht notiert
- Kreisfrequenz in  $s^{-1}$  angegeben, nicht in Hz

## 4 Versuchszubehör

- Versuchsteil Resonanzrohr:
  - Glasrohr mit Halterung und Millimeterpapier
  - Stempel zur Längenänderung der Luftsäule im Glasrohr
  - Frequenzgenerator
  - Lautsprecher
  - Mikrofon mit Verstärker
  - Digitaloszilloskop
  - Thermometer
  - CO<sub>2</sub>-Gasflasche
- Versuchsteil Wellen in Metallen:
  - Metallstab
  - Metallrohr
  - Mikrofon mit Verstärker
  - Digitaloszilloskop
  - Kunststoffstab zur Anregung
  - 2 Halterungen

## 5 Hinweise zur Ausarbeitung

### 5.1 Versuchsspezifisch

- Vorversuch zum Digitaloszilloskop
  - Direkte Messung der Frequenz: kleine Skizze des Aufbaus, Tabelle mit den Ergebnissen, Diskussion der beiden Methoden zur Bestimmung der Frequenz (Vor- und Nachteile)
  - Messung der Frequenz über Lautsprecher und Mikrofon: kleine Skizze des Aufbaus, Tabelle mit den Ergebnissen, Diskussion der beiden Methoden zur Bestimmung der Frequenz (Vor- und Nachteile)
  - Diskussion der Unterschiede zwischen direkter Messung und Messung über Lautsprecher und Mikrofon

- Schallgeschwindigkeit in Gasen
  - Kleine Skizze des Aufbaus (Quincke'sches Resonanzrohr) mit Erklärung
  - Diagramm der gemessenen Frequenzen  $f$  gegen  $\frac{n}{2L}$  mit linearer Regression zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft
  - Diagramm der gemessenen Frequenzen  $f$  gegen  $\frac{n}{2L}$  mit linearer Regression zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in  $\text{CO}_2$
  - Zwei Tabellen jeweils mit den für die lineare Regression benötigten Frequenzen und den Werten  $\frac{n}{2L}$  mit jeweiligem Fehler
  - Angabe und Diskussion der Ergebnisse/Schallgeschwindigkeiten und Vergleich mit Literaturwerten
- Schallgeschwindigkeit in Metallen
  - Kleine Skizze zum Versuchsaufbau mit Erklärung
  - Diagramm mit einer Auftragung der gemessenen Frequenzen  $f$  gegen die dazugehörige Ordnung  $n$  mit linearer Regression zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit
  - Eine Tabelle mit den für die Auftragung benötigten Werten
  - Angabe und Diskussion der Ergebnisse/Schallgeschwindigkeiten und Vergleich mit Literaturwerten

## 5.2 Allgemein

- Kopie des Laborbuchs anhängen
- Fehlerbalken in den Schaubildern
- Fehler des Mittelwerts richtig berechnen und Ergebnisse richtig runden (siehe Anleitung Limmer und/oder Folien zu unserem Statistik-Workshop)
- Gute Skizzen und Abbildungen verwendet (z.B. deutsche Beschriftung, Skizzen entsprechen den Erläuterungen, ...); Skizzen dürfen gerne selbst angefertigt werden
- Vergleich mit Literaturwerten
- Diskussion und/oder Wertung der Ergebnisse

## Literatur

- [Dem15] DEMTRÖDER, Wolfgang: *Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme*. 7. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2015
- [Mes06] MESCHEDE, Dieter: *Gerthsen Physik*. 23. Auflage. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2006
- [Wal06] WALCHER, Wilhelm: *Praktikum der Physik*. 9. Auflage. Wiesbaden : Teubner Verlag, 2006