

Messung der Schallgeschwindigkeit (Modellüberprüfung vs. Parameterbestimmung)

In diesem einfachen Versuch sollen Sie einmal die Schallgeschwindigkeit c_L in Luft und einmal die Schallgeschwindigkeit c_S in einem Metallstab mit Hilfe von 2 Mikrofonen und eines Oszilloskops ermitteln. Sie können das jeweils mit einer einfachen Laufzeitmessung realisieren.

In diesem Versuch soll Ihnen beispielhaft aber ein weiterer wesentlicher Aspekt des physikalischen Experimentierens vermittelt werden. Wenn in der realen Welt Experimente durchgeführt werden, kann dies 2 verschiedene Zielsetzungen haben:

1. **Modellüberprüfung:** Man möchte neue physikalische Zusammenhänge/Modelle herausfinden und diese überprüfen. Wenn Sie z.B. eine Theorie für ein physikalisches Modell entwickelt haben, müssen Sie in Experimenten prüfen, ob der Zusammenhang zum Modell passt. Stimmt es z.B. wirklich, dass sich der Schall mit konstanter Geschwindigkeit in Luft ausbreitet, also gilt der Zusammenhang $c_L = s/t$ (mit Laufzeit t und zurückgelegter Strecke s)? Wie können wir überprüfen, dass das nicht nur eine Näherung ist oder überhaupt nicht stimmt?
→ s. Übersicht: „Modellanpassung („Fit“) zur Modellüberprüfung“
2. **Bestimmung von Messgrößen und -unsicherheiten bei bekanntem Modell:** Bei vielen Anwendungen ist das physikalische Modell bereits ausreichend erforscht und bekannt und man möchte lediglich eine bestimmte Größe herausfinden bzw. wissen, wie zuverlässig man sie mit dieser Messung ermitteln kann. Man nimmt also das Modell als sicher zutreffend an. In unserem Beispiel wäre das: Wenn wir sicher sein können, dass $c_L = s/t$ gilt, können wir die Schallgeschwindigkeit aus Laufzeit und Strecke ermitteln und erfahren, wie zuverlässig unsere Messung ist, und unsere Unsicherheit bzw. Zuverlässigkeit ebenfalls herausfinden (s. auch Praktikumsversuch zur Lichtgeschwindigkeit).
→ s. Übersicht: „Modellanpassung („Fit“): Messunsicherheit aus festem Modell bestimmen“

In diesem Praktikumsversuch sollen Sie beide Fälle am Beispiel einer Schallgeschwindigkeitsmessung üben. Auch wenn diese Dinge bereits aus dem „Praktikum Klassische Physik I“ bekannt sein sollten, finden das alles nochmal in der „Übersicht zu Messunsicherheiten“ zusammengefasst. In der „Origin-Kurzanleitung“ finden sie Informationen, wie Sie Ihre Messungen in beiden Fällen mit Origin auswerten können.

Aufgaben zur Vorbereitung

1. Skizzieren Sie, wie Sie mit einem Oszilloskop und 2 Mikrofonen eine Schallgeschwindigkeitsmessung durchführen können. Wie würde Ihr Messablauf idealerweise aussehen?
2. Rufen Sie sich nochmal die wichtigsten Funktionen eines Oszilloskops ins Gedächtnis. Was zeigen die Achsen, welche Einstellungen gibt es? Welche Zeitskalen erwarten Sie für die Zeitmessung bei Schalllaufstrecken im Meter-Bereich? Was ist ein Trigger und wie stellt man ihn ein? Was ist ein „single shot“-Modus (auch „single“, „single seq.“)? Sie müssen im Versuch mit dem Gerät umgehen können.
3. Falls Sie die bisher gelernten Inhalte bzgl. Messunsicherheiten und den vorne genannten Themen zur Modellüberprüfung/Bestimmung von Unsicherheiten nicht mehr wissen, sehen Sie sich noch einmal die Übersicht dazu an, die zur Vorbereitung zur Verfügung steht.

Aufgaben am Versuchstag

Aufgabe 1: Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft im Praktikumsraum oder auf dem Flur bei bekanntem Modell

- Überlegen Sie sich, wie Sie Ihre Messung am besten durchführen und tun Sie dies. Verwenden Sie dafür die LD-Didactic-Mikrofone.
- Werten Sie Ihre Messung mit Origin graphisch durch einen Fit an Ihr physikalisches Modell aus. Wichtig: Sie verwenden nun den Fit mit „reduziertem Chi-Quadrat“!
- Bestimmen Sie die Messunsicherheiten aus dem Fit. Wie zuverlässig ist Ihr Ergebnis für die Schallgeschwindigkeit? Optimieren Sie Ihre Messung. Welche zusätzlich zu messenden Messpunkte können die Genauigkeit/Zuverlässigkeit Ihrer Messung verbessern? Führen Sie dies durch und vergleichen Sie.
- Welches sind die Hauptgründe für die verbleibenden Unsicherheiten Ihrer Messung? Unter welchen Bedingungen könnten Sie das Ergebnis noch zuverlässiger machen?

Aufgabe 2: Modellüberprüfung für Schallgeschwindigkeit in Stäben

Sie sollen nun ein Modell für die Schallgeschwindigkeit c_s in einem Stab der Länge L angeben und überprüfen. Ihr Messaufbau sieht grob skizziert so aus wie in Abb. 1. Sie klopfen mit einem Teststab eine Seite eines Stabes an und lösen somit eine Schallwelle aus. Ein Mikrofon am anderen Ende registriert diese Schallwelle. Die Laufzeiten des Schallimpulses können Sie wieder mit dem Oszilloskop messen. Bedenken Sie: Der Schallimpuls wird am Stabende reflektiert.

- Nehmen Sie nun eine Messreihe der vorhandenen verschieden langen Edelstahlstäbe mit dem Mikrofonsystem von 3B Scientific auf und bestimmen Sie sehr sorgfältig Ihre Messunsicherheiten! Eine Anleitung, wie Sie die Geräte anschließen, finden Sie in den Bedienungsanleitungen des Herstellers.

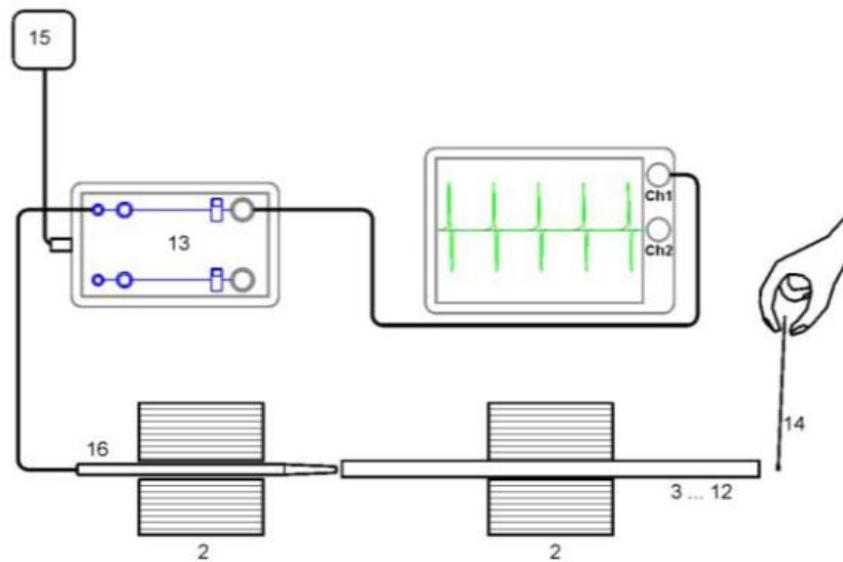


Abb. 1: Messprinzip zur Messung der Schallgeschwindigkeit in Stäben (2: Auflagematten, 16: Mikrofon, 13: Verstärkerbox, 15: Netzteil); Abb. von 3BScientific

- Werten Sie Ihre Messung mit Origin aus, benutzen Sie das Modell, das Sie sich überlegt haben. Denken Sie daran, die Funktion „Fit mit reduziertem Chi-Quadrat“ auszuschalten, die beim Start von Origin standardmäßig aktiviert ist.
- Ermitteln Sie aus dem Fit die Größe χ_{min}^2/n_F (mit n_F = Freiheitsgrad) – wie gut passt Ihr Modell zu Ihren Messergebnissen? Betrachten Sie auch die Residuen. Außerdem: Wie bewerten Sie Ihr Ergebnis, halten Sie es für sinnvoll?