

► Experimente zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft

Rolf Peiffer, Hildegard Urban-Woldron

Vorbemerkung

In diesem Beitrag werden drei Zugänge zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit in Luft vorgestellt. Die nachfolgend beschriebenen Experimente beschäftigen sich im ersten Experiment phänomenologisch mit dem Knall und seiner Reflexion zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit. Der Knall wird durch einen Twist-off Deckel erzeugt und zusammen mit dem Echo unter Verwendung eines Mikrofons aufgenommen. Im zweiten Experiment wird die Laufzeit eines Schallereignisses zwischen zwei in einem Abstand von ca. einem Meter aufgestellten Mikrofonen bestimmt. Ein drittes Experiment nutzt die stehende Welle einer Luftsäule in einem Reagenzglas aus.

Die Experimente eignen sich sowohl als Demonstrations- wie auch als Schülerexperimente und sind so konzipiert, dass sie einzeln aber auch in ihrer Gesamtheit z. B. in Form von Stationen eingesetzt werden könnten. Wenn Schülerinnen und Schüler alle drei Experimente durchführen, erhalten sie einen Einblick in die verschiedenen Möglichkeiten ein physikalisches Problem zu lösen und können ihr Vorwissen entsprechend einsetzen. Während im Experiment 1 das physikalische Konzept Reflexion eines Schallereignisses vor dem Hintergrund der Alltagserfahrungen zum Echo aktiviert wird, können die Schülerinnen und Schüler beim Experiment 2 anhand der Graphen direkt sehen, dass das Signal länger braucht, bis es beim zweiten Mikrophon eingetroffen ist. Diese beiden Experimente sind auch bereits für die Sekundarstufe I geeignet. Da das dritte Experiment auf das Konzept der stehenden Welle aufbaut, ist es in der vorgestellten Form eher nur für die Sekundarstufe II geeignet.

Um die Experimente eher offen zu halten und bei den Schülerinnen und Schülern das selbstständige Arbeiten zu unterstützen und Differenzierung zu ermöglichen, wird das Prinzip der gestuften Hilfen verwendet. Im Folgenden werden sowohl der jeweilige Versuchsaufbau und mögliche methodisch-didaktische Zugänge für alle drei genannten Experimente beschrieben als auch Vorschläge zu möglichen Aufgaben- und Problemstellungen für Schülerinnen und Schüler präsentiert. Ausführliche Versuchsbeschreibungen und technische Anleitungen sowie Hilfefärtchen können Sie unter rupeiffer@t-online.de auf Wunsch erhalten.

Zur Durchführung der Experimente werden die folgenden Materialien benötigt:

- Taschencomputer (hier TI-Nspire™)
- Messwerverfassungssystem (hier TI-LabCradle™) und 2 MCA-BTA Mikrofone
- Gerades Rohr ca. 2m lang einseitig geschlossen, Durchmesser ca. 12 cm,
- Stativmaterial zum Haltern des Rohrs und der Mikrofone,

- Twist-off Deckel (evtl. mit Resonanzkörper, z.B. Pastillendose)
- Reagenzglas und Wasser
- Lineal mit Millimetereinteilung und Maßband

Experiment 1: Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft mit dem „Echorohr“

Das Experiment beruht auf der Ermittlung des Zeitintervalls zwischen dem Aussenden eines Schallsignals und dem Eintreffen des zugehörigen Echos. Aus der Entfernung zu einer Wand, an der das Schallsignal reflektiert wird und der Zeitdauer, die zwischen dem Aussenden des Signals und dem Eintreffen des zugehörigen Echos vergeht, wird die Schallgeschwindigkeit berechnet.

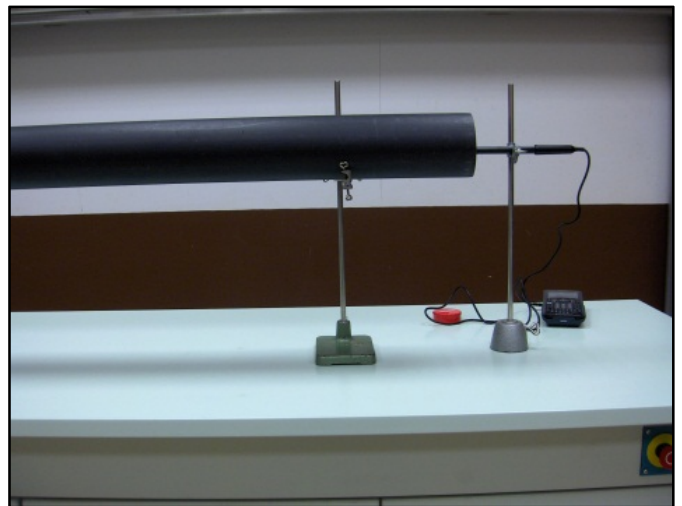


Abb. 1: Versuchsaufbau

Für den Einsatz des Experiments sind nun verschiedene Öffnungsgrade denkbar. Angefangen mit einer völlig offenen Version, wo Schülerinnen und Schüler ausgehend von der Aufgabenstellung mit einem Mikrophon und einem Rohr die Schallgeschwindigkeit in Luft zu bestimmen und sie selbst auch die Planung des gesamten Experiments entwickeln müssten, bis hin zu sehr kleinschrittigen, kochrezeptartigen Anleitungen. Zwischen diesen beiden Extremen gibt es eine große Vielfalt an Möglichkeiten, die Selbsttätigkeit der Schülerinnen und Schüler anzuregen und mit abgestuften Hilfen ihre Denk- und Lernprozesse zu unterstützen.

Nach dem Einrichten der Messeinstellungen in der TI-Nspire™ Software (Messmodus, Anzahl der Messwerte, Nullpunkteinstellung, Triggerung) kann vor dem eigentlichen Experiment (Abb. 1) folgender Vorversuch durchgeführt werden:

Vorversuch:

Das Mikrophon wird an Kanal 1 (Ch1) des LabCradles angeschlossen. Nach dem Starten der Datenerfassung erscheint die Anzeige „Warten auf Auslöseereignis“. Nun wird

in der Nähe des Mikrofons ein Knallerzeugt. In der Nähe sollten keine anderen Störgeräusche vorkommen. Auf dem Bildschirm erhält man die grafische Darstellung des Schallereignisses (Abb. 2).

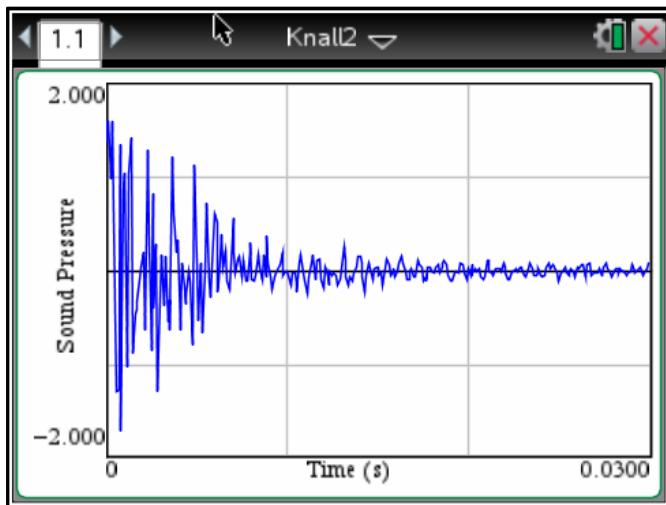


Abb. 2: Schallereignis Knall

Hauptversuch:

Nun wird das Experiment gemäß Abbildung 1 aufgebaut und durchgeführt. Dabei wird ein Mikrophon direkt vor die Öffnung des Rohrs gestellt und die Messung gestartet. Wichtig ist darauf zu achten, dass in der Nähe keine Störgeräusche vorkommen.

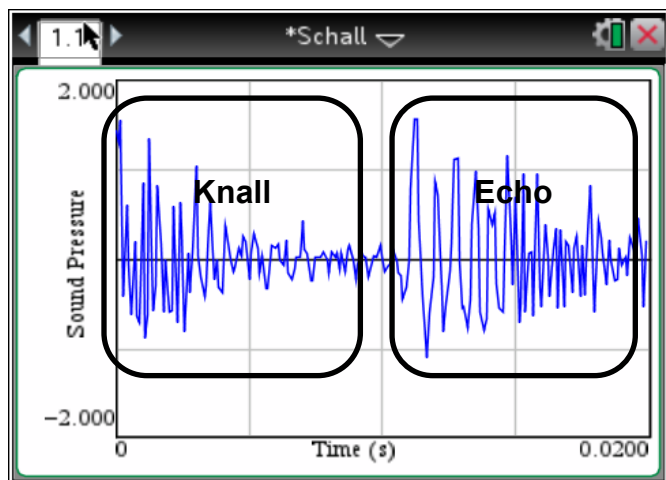


Abb. 3: Knall mit Echo

Für einen Abstand von 1.945m zwischen Mikrophon und geschlossenem Rohrende ergibt sich für den hinlaufenden und reflektierten Schall ein Weg von 3.89m. Die Zeitdauer zwischen dem ersten Peak des Knalls und dem ersten Peak seines Echos beträgt 0,0113s (Abb. 3). Damit ergibt sich eine Schallgeschwindigkeit von 344 m/s.

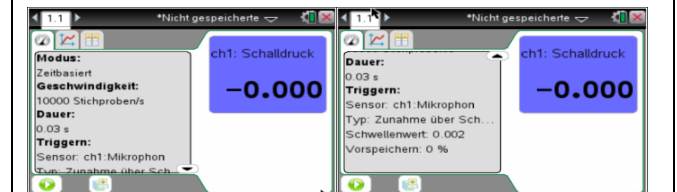
Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung „Bestimme die Schallgeschwindigkeit in Luft mit dem Echorohr“ können die folgenden drei gestuften Hilfekärtchen zum Einsatz kommen: Hilfe 1 bezieht sich auf die Einstellungen der Messwerterfassung und enthält praktisch nur technische Hinweise zur Bearbeitung der Aufgabe. Die zweite Hilfekarte leitet die Schülerinnen und Schüler an, die Zusammenhänge

zwischen den gemessenen und gesuchten Größen zu erkennen. Die dritte Hilfekarte gibt Hinweise zur Ermittlung der Zeit, die zwischen dem Aussenden des Knalls und dem Eintreffen des Echos beim Mikrophon vergeht.

HILFE 1: Einstellungen

Siehe auch: Datenerfassung mit der TI-Nspire™ Technologie

Dauer im Vorversuch 0.03s,
im Hauptversuch 0.02 s bzw. 0.01s.



HILFE 2: Physikalische Grundlagen

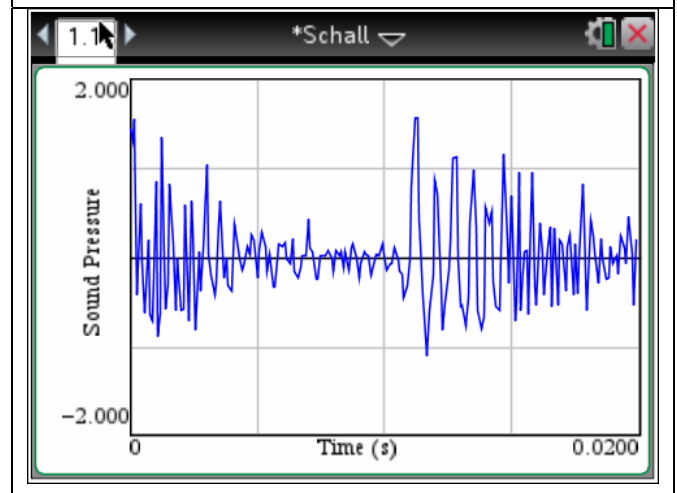
Der Schall bewegt sich gleichförmig.

$$s = c \cdot t$$

HILFE 3: Bestimmung der Laufzeit

a) Die Laufzeit t kann z. B. aus dem zeitlichen Abstand der beiden ersten Maxima von Knall und Echo bestimmt werden. Hier: 0.0113 s

Der zurückgelegte Weg s des Knalls ist die doppelte Rohrlänge.



Experiment 2: Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft mit zwei Mikrofonen

Man stellt zwei Mikrofone mit gleicher Ausrichtung in einem Abstand von ca. 1m hintereinander auf (Abb. 4). Das der Schallquelle zugewandte Mikrophon schließt man an Kanal 1 (Ch1) an, welches den Trigger auslöst, und das andere Mikrophon an Kanal 2 (Ch2). Achten Sie darauf, dass in der Nähe keine Störgeräusche vorkommen, ebenso sollten keine Reflexionen des Knalls an Wänden etc. vorkommen. Starten Sie nun den Versuch durch Drücken des Startbuttons. Es erscheint die Anzeige „Warten auf das Auslöseereignis“.

Erzeugen Sie nun in der Nähe des vorderen Mikrofons einen Knall. Dabei müssen sich die beiden Mikrofone und die Schallquelle in einer geraden Linie befinden. Die Messung wird graphisch angezeigt, leider in nur einem Diagramm. Zur Auswertung empfiehlt eine Anzeige in zwei Diagrammen (Abb. 5).



Abb. 4: Versuchsaufbau

Zur Laufzeitbestimmung des Knalls geht man z.B. mit dem Cursor auf den ersten Peak (nach oben oder nach unten) im oberen Diagramm, misst den zugehörigen Zeitpunkt (hier 0.0002 s), dasselbe im unteren Diagramm ebenfalls für denselben Peak (hier 0.0031 s). Die Differenz ergibt die Laufzeit des Knalls. Mit dem hier benutzten Abstand der beiden Mikrofone von 1 m erhält man für die Schallgeschwindigkeit $c = 344,8 \text{ m/s}$.

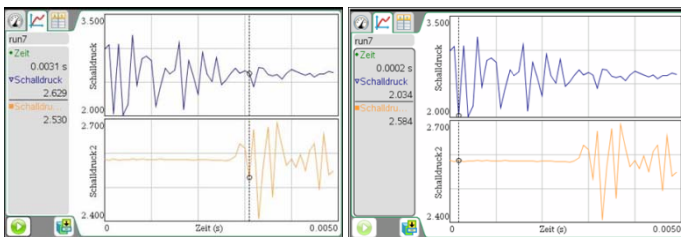


Abb. 5: Schallsignale

Experiment 3: Messung der Schallgeschwindigkeit in Luft mit einem Reagenzglas



Abb. 6: Experiment 3

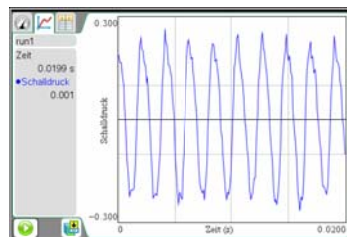


Abb. 7: Ton beim Anblasen der Luft

Durch kräftiges Blasen über die Öffnung eines Reagenzglases (Abb. 6) entsteht ein Ton, dessen Höhe von der Länge der schwingenden Luftsäule abhängt. Die Länge der schwingenden Luftsäule kann durch Einfüllen von Wasser in das Reagenzglas variiert werden. Mit einem Mikrofon wird die Schwingung erfasst und kann als Schwingungsbild auf dem Bildschirm dargestellt werden. Aus der grafischen Darstellung lässt sich durch Ermitteln der Anzahl der Schwingungen in einem bestimmten Zeitintervall die Dauer für eine einzige Schwingung ermittelt werden (Abb. 7). Aus dem Zusammenhang Wellenlänge $\lambda = c \cdot T$ und der Kenntnis, dass es sich bei der schwingenden Luftsäule um eine stehende Welle, die durch eine Reflexion am festen Ende entsteht handelt, ergibt sich folgende Lösungsstrategie: Am oberen offenen Ende des Reagenzglases befindet sich ein Schwingungsbauch, am Ort der Reflexion befindet sich ein Schwingungsbauch. Daher entspricht die Länge der schwingenden Luftsäule gerade einer viertel Wellenlänge. Aus der Kenntnis der Wellenlänge und der Schwingungsdauer wird mit der Formel $\lambda = c \cdot T$ schließlich die Schallgeschwindigkeit berechnet. Für die Messdaten in Abbildung 6 erhält man für eine Länge der Luftsäule von 0,177m durch Abzählen der Schwingungen auf dem Grafen 9.3 Schwingungen innerhalb von 0.02s. Für die Schallgeschwindigkeit ergibt sich daher:

$$c = \frac{0.177\text{m} \cdot 4 \cdot 9.3}{0.02\text{s}} = 329.2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Anmerkung: Das gleiche Experiment kann auch unter der Fragestellung „Ermitteln Sie den Zusammenhang zwischen Tonhöhe (Frequenz) und der Länge der Luftsäule“ ausgewertet werden.

Autor:

Rolf Peiffer, Bad Zwesten (A)

rupeiffer@t-online.de

Hildegard Urban-Woldron, Wien (A)

hildegard.urban-woldron@univie.ac.at