

Versuch 11 Schallgeschwindigkeit in Luft

Lernziel: Fortschreitende und stehende Wellen, Totalreflexion, Phasenverschiebungen

1. Allgemeine Grundlagen

1.1 Einleitung

Eine Störung kann sich im elastischen Medium als mechanische Welle (Schall) ausbreiten. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit ist abhängig vom Ausbreitungsmedium und dessen Aggregatzustand. So unterscheidet man z.B. Körper-, Wasser -und Luftschall.

1.2 Wellen und ihre Ausbreitung

Eine Wellenausbreitung wird beobachtet, wenn schwingungsfähige Systeme, die räumlich miteinander gekoppelt sind, angeregt werden. Durch die Kopplung wird eine lokale Störung auf ein Nachbarsystem übertragen, was zu einer räumlichen Ausbreitung des Schwingungszustandes führt.

Schema:

1. Das schwingungsfähige System sei durch eine Reihe von Fadenpendeln, die durch Federn gekoppelt sind (Abb. 1a), dargestellt.

2. Schwingen die Pendel senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (hier die y -Richtung, Abb. 1b), so spricht man von einer *Transversal-* oder *Querwelle*.

3. Erregt man ein Pendel in Richtung der Ausbreitungsrichtung (hier die x -Richtung, Abb. 1c), so breitet sich die Welle als *Longitudinal-* oder *Längswelle* aus.

Die Kopplung der Teilchen im Gas (Luft) erfolgt über die Volumenelastizität, entsprechend der mechanischen Welle (Abb.1c) breitet sich eine Longitudinalwelle aus.

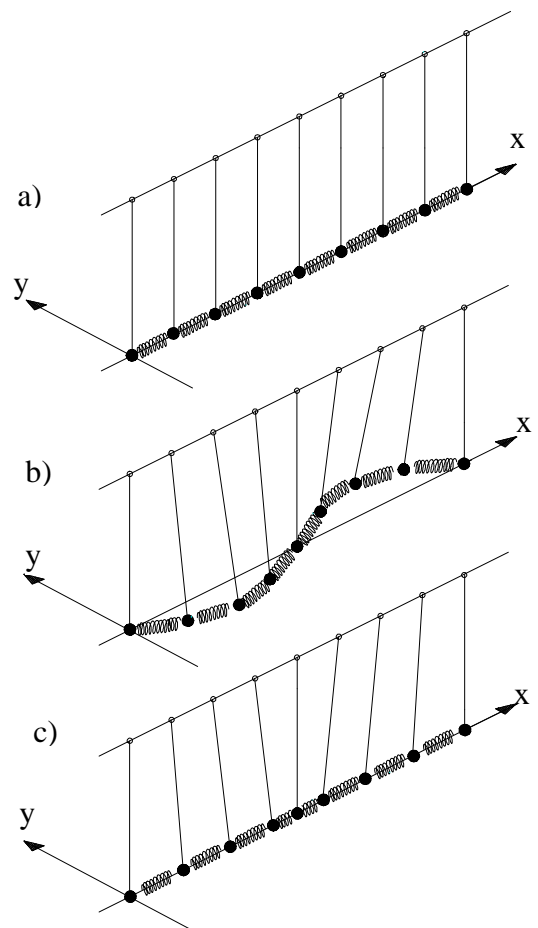


Abb. 1

2. Grundlagen, Durchführung und Auswertung

2.1 Ausbreitungsgeschwindigkeiten als Funktion der Temperatur

Eine lokale Druckstörung breitet sich im Gas mit der Schallgeschwindigkeit c ,

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad (1)$$

aus, die von der Dichte ρ und des Kompressionsmoduls K des Gases abhängt.

Der Kompressionsmodul K ist für *ideale Gase* mit dem Druck p verknüpft.

$$K = \kappa \cdot p, \quad (2)$$

wobei κ der Isentropenexponent ist. Mit Hilfe der Zustandsgleichung idealer Gase

$$p = \rho \cdot R_i \cdot T \quad (3)$$

bei dem R_i die spezielle Gaskonstante ist, erhält man durch Einsetzen die Schallgeschwindigkeit von

$$\text{Gasen zu} \quad c = \sqrt{\kappa \cdot R_i \cdot T} \quad (4)$$

Für Luft gilt: $\kappa = \text{Isentropenexponent} = 1,401$

$$R_i = \text{spezielle Gaskonstante} = 287 \frac{J}{kg \cdot K} \quad \text{wobei } 1 J = N \cdot m = 1 kg \frac{m^2}{s^2} \text{ ist.}$$

$$T = \text{Temperatur in } K$$

Die Schallgeschwindigkeit c ist also nur von der Gasart und der Temperatur abhängig.

Auswertung

A1 Berechnen Sie mit Hilfe der gemessenen Raumtemperatur die Schallgeschwindigkeit nach Gl.4.

2.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit der Schallwelle

Wird der Schall von einer harmonischen Schwingung hervorgerufen, so kehren in periodischen Zeitabständen (Schwingungsdauer T) gleiche Schwingungsbedingungen wieder. In Abb. 2 ist die Ortsabhängigkeit einer Schwingung dargestellt. Hier haben die Pendel gleiche Schwingungszustände in Punkt A und B. Dort haben jeweils die beiden Nachbarpendel auch den geringsten Abstand, was analog zur Schallwelle einem Druckmaximum entspricht. Den Weg, den die Welle im Zeitraum einer Schwingung zurücklegt, nennt man Wellenlänge λ . Die Schallgeschwindigkeit ist demnach der Quotient aus Wellenlänge und Periode T :

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

Mit der Frequenz $f = 1 / T$ wird die Gleichung zu

$$c = \lambda \cdot f \quad (5)$$

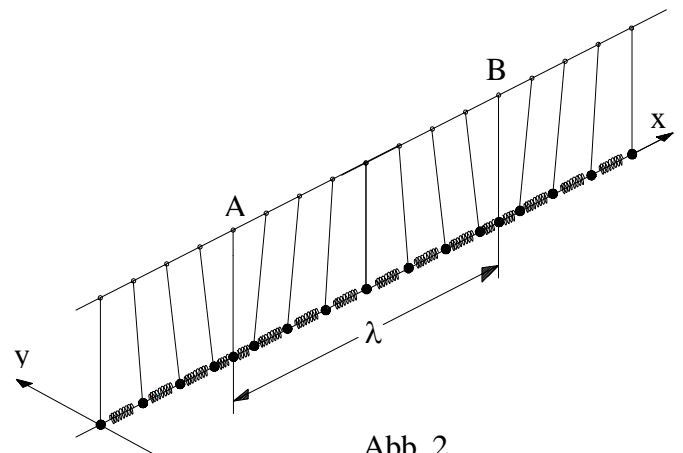


Abb. 2

2.3 Laufzeitmethode

Grundlagen

Die Schallgeschwindigkeit berechnet

sich hier:
$$c = \frac{s}{t} \quad (6)$$

Durchführung

Bauen Sie wie in Abb. 3 gezeigt, in ca.

70 cm über dem Labortisch die beiden

Mikrofone M an Stativstangen und

runden Haltezangen auf. Achten Sie

darauf, dass die Messstrecke

möglichst frei von Behinderungen ist.

Verbinden Sie die Mikrofonskabel mit

dem Digitalzähler und drücken die

zwei angekreuzten Tasten für den Mikrofoneingang. Der mittlere Drehschalter muss auf

Zeitmessung stehen. Die Messzeitfolge soll auf "man." stehen. Klatschen Sie zur Schallerzeugung

so, dass der Schall auch die Messstrecke s (ca. 0,7 m) durchläuft. Messen Sie 6-mal die Laufzeit des

Schalls.

Auswertung

A2 Bilden Sie den Mittelwert aus den Zeitmessungen und berechnen Sie die

Schallgeschwindigkeit und deren Unsicherheit zu $(\bar{c} \pm \bar{s}_c)$.

2.4 Stehende Wellen

2.4.1 Überlagerung von Wellen

Bei der Überlagerung von Wellen ist das Prinzip der ungestörten Superposition anwendbar. Es geht

davon aus, dass jede Welle sich so ausbreitet, als ob andere Wellen nicht vorhanden wären. An Orten

in denen sich die Wellen überlagern, addieren sich deren Amplituden. In Abb.4 sind zwei Ausgangs-

wellen mit den Amplituden $y_1 = y_2$ mit drei verschiedenen Phasenlagen und deren Summe y gezeigt.

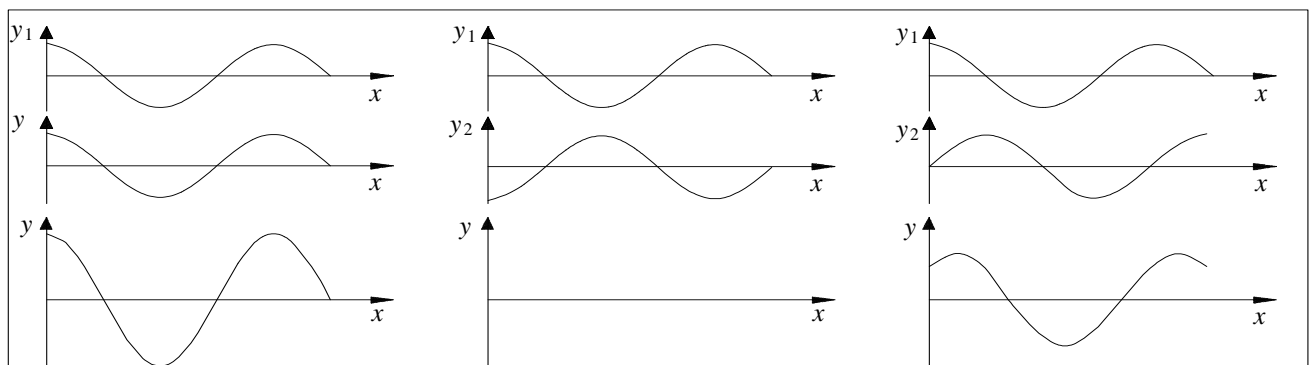


Abb. 4

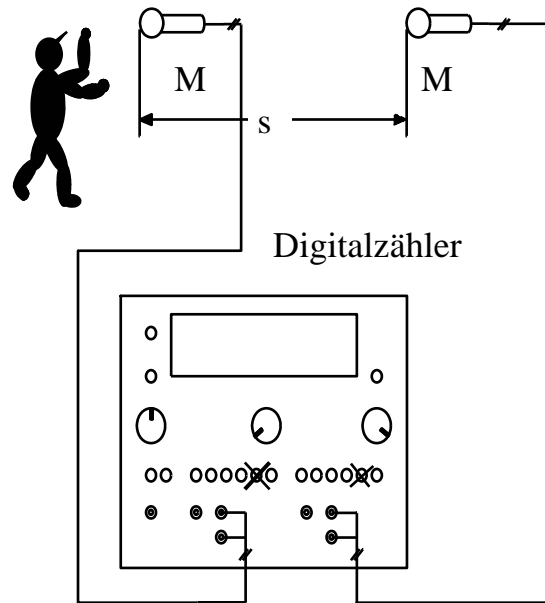


Abb. 3

Im linken Teilbild haben die Ausgangswellen keine Phasenverschiebung ($\varphi = 0$) zueinander, im mittleren Bild haben die Wellen eine Phasenverschiebung $\varphi = \pi$. Auf der rechten Seite hat die erste zur zweiten Welle eine Phasenverschiebung $\varphi = 3/2 \pi$.

2.4.2 Stehende Wellen

Laufen zwei Wellen mit der gleichen Frequenz und Amplitude aufeinander zu, so liegen, die in Abb. 5 gezeigten Verhältnisse vor. Hier sind die beiden Ausgangswellen (gestrichelt) und deren resultierende Summe (dicke durchgezogene Linie) in Zeitabständen von einer achteil Periodendauer dargestellt. An den Orten 3, 9 und 15 hat die resultierende Welle zu jedem Zeitpunkt die Amplitude 0. An den Orten 0, 6 und 12 liegt abwechselnd ein Maximum bzw. ein Minimum vor. Es hat sich also eine stehende Welle gebildet. Eine stehende Welle tritt auch auf, wenn man eine Welle am Punkt 0 aussendet und am Punkt 12 einen Reflektor aufstellt, der die Welle um 180° phasenverschoben reflektiert.

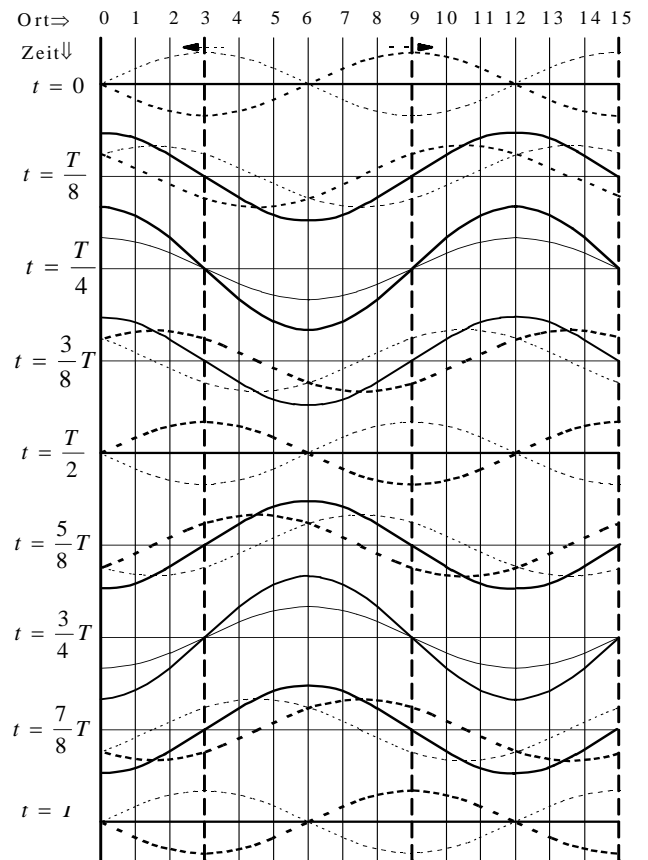


Abb. 5

2.4.3 Schallwellen an Grenzflächen

An Grenzflächen zweier Medien mit unterschiedlicher Schallkennimpedanz

$$Z = \rho \cdot c \quad (7)$$

wird die Schallwelle teilweise reflektiert. An schallharten Grenzflächen, z.B. beim Übergang von Luft auf Beton, wird die Schallwelle nahezu total reflektiert.

Eine Schallreflexion tritt ebenfalls auf, wenn die Welle auf eine schallweichere Grenzfläche trifft. Zwischen der auftreffenden und der reflektierten Welle tritt eine Phasenverschiebung von 180 Grad auf. Diese Vorgänge lassen sich sehr gut am Kundtschen Rohr betrachten.

2.4.4 Kundtsches Rohr

Füllt man in ein Glasrohr eine feine Spur von Korkmehl ein und verteilt dies über die Rohrlänge, dann kann man Resonanzerscheinungen einer

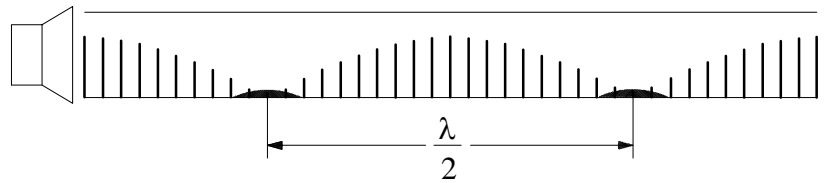


Abb. 6

Schallwelle durch die Bewegung des Korkmehls gut beobachten. Wird die Frequenz so variiert, bis die Korkteilchen sich bewegen, dann herrscht bei maximaler Bewegung Resonanz (Abb. 6). Hierbei bildet sich am Lautsprecher und am Ende des offenen Rohres ein Bewegungsmaximum (Bauch). Im Bewegungsminima (Knoten) bleibt das Korkmehl liegen.

Im zweiten Versuchsteil wird das Rohr mit einem Stempel und damit schallhart abgeschlossen (Abb.7). Hier bildet sich am Rohrende ein Bewegungsminimum (Knoten) aus. Es sind für eine

Stempelstellung die verschiedenen Frequenzen zu finden, bei der Resonanz auftritt.

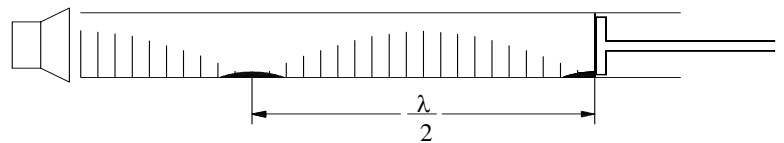


Abb. 7

2.4.4.1 Durchführung offenes Rohr

Für 4 verschiedene Frequenzen im Bereich von 100 - 1100 Hz nehmen Sie für den Resonanzfall Messwerte auf. Schütten Sie ca. 2 cm³ Korkmehl in das Glasrohr. Halten Sie dann beide Rohrenden mit der Hand zu und verteilen Sie die Menge gleichmäßig über die Rohrlänge. Legen Sie dann das Rohr auf die Holzklötze und bauen wie in Abb. 6 gezeigt den Versuchsaufbau auf. Stellen Sie unter das offene Ende des Rohrs eine Schale, damit das Korkmehl aufgefangen wird. Achten Sie darauf, dass sich am Ende des Rohrs ein Bewegungsmaximum ausbildet. Die Verdrahtung des Lautsprechers nehmen Sie bitte nach dem auf dem Labortisch liegenden Schaltplan vor. Beginnen Sie dann bei der Frequenz von 100 Hz und drehen die Frequenz hoch bis Resonanz auftritt. Drehen Sie die Lautstärke ganz zurück und überlegen Sie sich an Hand des Staubbildes, wie viel der Wellenlänge sich im Rohr ausgebildet hat. Halten Sie sämtliche Messwerte in einer Tabelle fest. Notieren sie auch, dass die Welle 2 cm hinter der Lautsprecherabdeckung beginnt.

Auswertung offenes Rohr

A3 Berechnen Sie für die jeweiligen Frequenzen die Schallgeschwindigkeit.

2.4.4.2 Durchführung geschlossenes Rohr

Verfahren Sie ähnlich wie beim offenen Rohr, schieben aber den Stempel ca. 2 cm in das Rohr (siehe Abb. 7). Lassen Sie zwischen Lautsprecher und Glasrohr einen Abstand von ca. 4 mm. Entfernen Sie nach dem Versuch das Korkmehl aus dem Rohr und schütten Sie es zurück in den Vorratsbehälter.

Auswertung

A4 Berechnen Sie die jeweiligen Schallgeschwindigkeiten und einmal deren Unsicherheit.

2.5 Wellenlängenbestimmung von Ultraschall mit Lissajousfiguren

Der Versuchsaufbau ergibt sich aus der

Abb. 9. Der Sender S wird über zwei Bananenstecker an den Generator (rotes Kabel an LO, schwarzes an GND) angeschlossen. An die gleichen Buchsen wird parallel mit einem BNC zu Bananenstecker Kabel eine Verbindung mit dem A-Eingang des Oszilloskop hergestellt. Der Empfänger E besitzt einen BNC-Anschluss, der an den Eingang B des Oszilloskop angeschlossen wird. Stellen

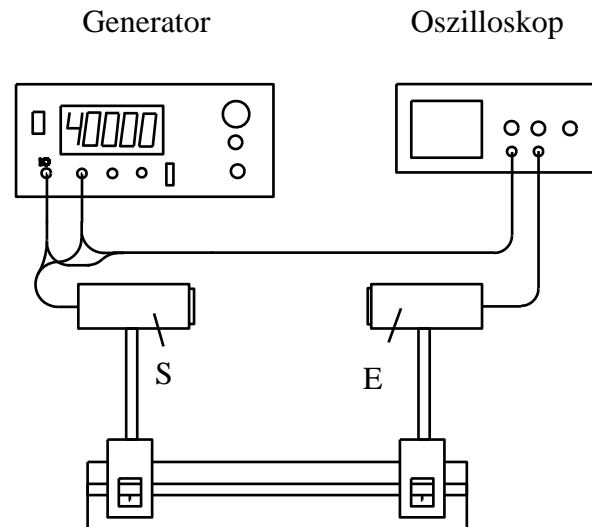


Abb. 9

sie am Generator die Frequenz im Bereich 40 kHz so ein, dass die Empfängerspannung maximal wird. Man schaut sich nun bei einer Zeitablenkung (Time/div) von $10 \mu\text{s}/\text{cm}$ die zwei Wellenzüge an. Durch Umschalten der Zeitablenkung auf die Stellung (x via A) wird aus $x(t)$ und $y(t)$ die sogenannte Lissajousfigur $y(x)$ erzeugt. Wenn beide Signale $x(t)$, $y(t)$ keine Phasenverschiebung (d.h. $\varphi = 0$) zueinander haben, dann ergibt sich für $y(x)$ eine Gerade. Durch Verschiebung des Senders (oder des Empfängers) geht die Gerade erst in eine Ellipse, dann in eine anders geneigte Gerade über. Die Phasenverschiebung zwischen diesen beiden Positionen beträgt 180° und entspricht damit dem Gangunterschied $\lambda/2$. Um eine höhere Messgenauigkeit zu erzielen, messen Sie nicht nur eine Wellenlänge λ sondern eine Strecke l die sich aus $n \cdot \lambda$ zusammensetzt. Die Größe n sollte bei ca. 25 liegen.

Auswertung

A5 Berechnen Sie die Schallgeschwindigkeit und deren Unsicherheit.

A6 Erstellen Sie eine tabellarische Zusammenfassung der Schallgeschwindigkeiten mit einer Ergebnisdiskussion.