

## 1.6 Schallgeschwindigkeit in Luft

### 1 Theoretische Grundlagen

In Gasen sind wegen der fehlenden Gestaltelastizität nur Longitudinalwellen möglich (siehe auch Versuch 1.8). Ersetzt man in der Formel für die Bestimmung der Ausbreitungsgeschwindigkeit für Longitudinalwellen das Elastizitätsmodul  $E$  in der Formel für feste Stoffe, bzw. das Kompressionsmodul  $K$  in der Formel für flüssige Stoffe durch den Druck  $p$ , so erhält man die von Newton aufgestellte Gleichung:

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

Diese Formel liefert jedoch falsche Ergebnisse. Wie Laplace zeigte, liegt der Grund für diese Abweichung in Temperaturänderungen, die bei den Verdichtungen und Verdünnungen der Longitudinalwellen in Gasen auftreten. Da die Druckänderungen in der Schallwelle so schnell vor sich gehen, dass kein Temperatenausgleich mit der Umgebung erfolgen kann (adiabatischer Prozess), gilt für die Zustandsänderungen in dem Gas die Poissonsche Beziehung

$$p \cdot V^\kappa = \text{const.} \quad (2)$$

ist das Verhältnis der spezifischen Wärmen  $c_p$  und  $c_v$ . Für diesen adiabatischen Prozess wird der Kompressionsmodul dann

$$K = \kappa \cdot p. \quad (3)$$

Daraus ergibt sich für die Schallgeschwindigkeit in Gasen die Laplacesche Gleichung

$$c = \sqrt{\kappa \cdot \frac{p}{\rho}}. \quad (4)$$

### 2 Untersuchungen an einer Schallstrecke

Kernstück der Versuchsanordnung ist eine Schallstrecke, bei der innerhalb eines Kunststoffrohres ein Lautsprecher und ein Mikrofon angebracht sind. Durch einen Seilzug ist der Abstand  $s$  des Lautsprechers gegenüber dem Mikrofon verschiebbar; die Verschiebung  $s$  ist dabei an einer außerhalb des Rohres angebrachten Skala ablesbar. Mit Hilfe weiterer elektronischer Komponenten lässt sich die Schallstrecke für zwei verschiedene Messverfahren zur Bestimmung der Schallgeschwindigkeit der Luft verwenden, nämlich für das Sing-Around-Verfahren und für die Laufzeitmessung.

### 3 Messungen nach dem Sing-Around-Verfahren

Ein Oszillator ist - ganz allgemein betrachtet - ein System, das in der Lage ist, zeitlich permanente - d.h. nicht abklingende - Schwingungen auszuführen. In der Regel besteht er aus einer Verstärkerkomponente und einem Rückkopplungsweig. In diesem Rückkopplungsweig ist üblicherweise ein frequenzbestimmendes Glied eingebaut, das dafür sorgt, dass für eine bestimmte Frequenz die Schwingbedingung erfüllt wird. In der in Abb.1 gezeigten Versuchsanordnung, die auch in der physikalischen Messtechnik mit „Sing-Around-Verfahren“ bezeichnet wird, ist nun ein solcher

elektronischer Oszillator dargestellt. Die Funktionsweise ist dabei die folgende:

Durch Betätigen der Starttaste wird durch den monostabilen Multivibrator MV 1 ein Impuls erzeugt, der nachfolgend elektronisch differenziert wird. Nach dem Abschneiden des positiven Signalanteils wird mit diesem Impuls der als Impulsformer arbeitende monostabile Multivibrator MV 2 getriggert, der seinerseits über einen Leistungsverstärker den Lautsprecher treibt.

Der vom Lautsprecher abgestrahlte rechteckförmige Schallimpuls wird vom Mikrofon aufgefangen, verstärkt und triggert wiederum den monostabilen Multivibrator MV 1. Durch diese Rückkopplung entsteht ein schwingendes System, dessen Frequenz durch die sich in der Schallstrecke zwischen Lautsprecher und Mikrofon ergebende Laufzeit bestimmt wird. Durch einen dazu geschalteten Frequenzzähler kann diese Frequenz gemessen werden. Zusätzlich zeigt das Amperemeter durch Mittelung der Impulse einen der Frequenz proportionalen Strom  $I$  an.

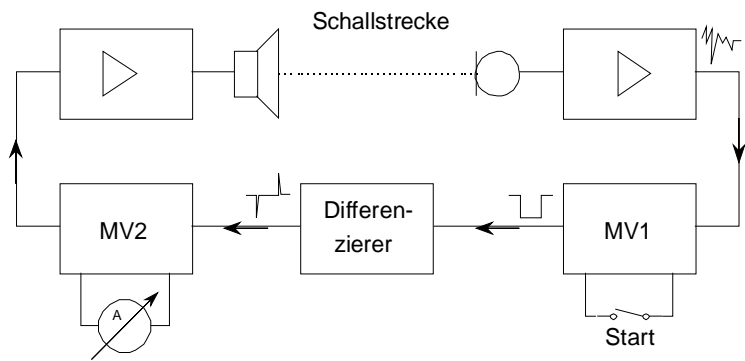


Abbildung 1: Sing-Around

#### Aufgaben:

- 3.1 Stellen Sie verschiedene Längen  $s$  der Schallstrecke ein und messen Sie die sich dabei einstellenden Frequenzen  $f$  der Schwingungen.
- 3.2 Berechnen Sie aus den Frequenzen die dazugehörigen Periodendauern  $T$ , die ja die Laufzeiten bedeuten, und stellen Sie diese Laufzeiten in Abhängigkeit der Verschiebung  $s$  grafisch dar. Bestimmen Sie dann aus der Steigung der Geraden die Schallgeschwindigkeit.
- 3.3 Wie groß sind die Einzelfehler der Messung (Abschätzung)? Tragen Sie die Fehlerbalken in das Diagramm ein. Bestimmen Sie anhand dieser Fehlerbalken aus der Grafik die Fehler der Schallgeschwindigkeitsmessung.

## 4 Laufzeitmessung

Mit Hilfe eines Doppelweggleichrichters und eines nachgeschalteten Schmitt-Triggers werden Rechteckimpulse mit einer Frequenz von 100 Hz erzeugt. Diese werden über einen Leistungsverstärker an den Lautsprecher gegeben und erzeugen so Schallimpulse, die die Schallstrecke durchlaufen.

Mit Hilfe eines Zweistrahl-Oszilloskops lassen sich (siehe Abb. 2) der ausgesendete und der durch die Laufzeit des Schalls verzögert eintreffende, empfangene Impuls gleichzeitig auf dem Bildschirm darstellen. Aus der zeitlichen Differenz kann die Laufzeit  $t$  bestimmt werden. Durch Reflexionen innerhalb der Schallstrecke können dabei Signalstörungen auftreten. Für die Messung der Zeitdifferenz zwischen den beiden Impulsen ist es zweckmäßig, die ansteigenden Flanken zu benutzen.

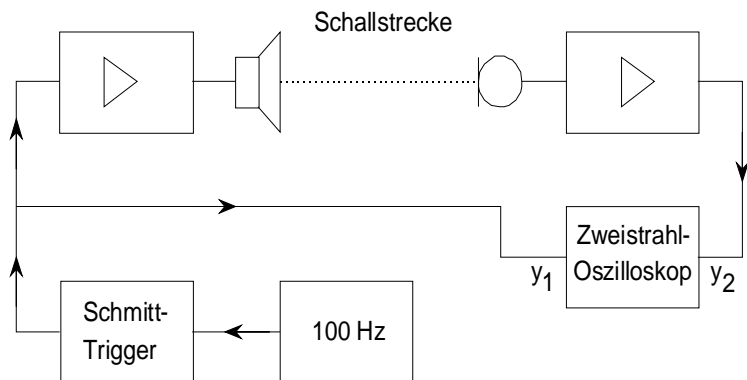


Abbildung 2: Laufzeitmessung

Für die Messung der Zeitdifferenz zwischen den beiden Impulsen ist es zweckmäßig, die ansteigenden Flanken zu benutzen.

### Aufgaben

- 4.1 Messen Sie für verschiedene Schallstrecken die Laufzeiten.
- 4.2 Tragen Sie die Laufzeiten in Abhängigkeit von den Längen der Schallstrecke grafisch auf. Bestimmen Sie die Schallgeschwindigkeit aus der Steigungen der Geraden.
- 4.3 Wie groß sind die Einzelfehler der Messung (Abschätzung)? Tragen Sie die Fehlerbalken in das Diagramm ein. Bestimmen Sie anhand dieser Fehlerbalken aus der Grafik die Fehler der Schallgeschwindigkeitsmessung.

### Literatur

Bergmann, Schäfer:	Lehrbuch der Experimentalphysik Band 1 ( Mechanik, Akustik, Wärme)
Meschede:	Gerthsen Physik
Hering, Martin, Stohrer:	Physik für Ingenieure
Walcher:	Praktikum der Physik, Kap. 2.8

### Geräte

Messstrecke (Rohr mit Mikrophon, verschiebbarem Lautsprecher und Längenskala), Ansteuerelektronik für Messstrecke (Beschreibung s.o.), Frequenzzähler