

Dopplereffekt

M 22

1 Aufgabenstellung

1.1 Es ist eine akustische Schwebung herzustellen und zu vermessen.

1.2 Die Geschwindigkeit einer bewegten Schallquelle ist mit Hilfe des Dopplereffektes zu bestimmen.

1.3 Wellenlänge und Schallgeschwindigkeit sowie die Geschwindigkeit einer bewegten Schallquelle sind aus der Überlagerung der Schallfelder einer beweglichen und einer feststehenden Schallquelle zu bestimmen.

2 Physikalische Grundlagen

2.1 Werden zwei harmonische Schwingungen y_1 und y_2 mit den Kreisfrequenzen $\omega_1 = 2\pi \cdot f_1$ und $\omega_2 = 2\pi \cdot f_2$ überlagert, so entsteht eine Schwebung y :

$$\begin{aligned} y_1 &= a \cdot \sin(\omega_1 \cdot t) \\ y_2 &= a \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} y &= y_1 + y_2 \\ &= 2a \cdot \cos\left(\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t\right) \cdot \sin\left(\frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \cdot t\right) \end{aligned} \quad (2)$$

Sind f_1 und f_2 die Frequenzen der Einzelschwingungen, so ist

$$f_s = f_1 - f_2 \quad (3)$$

die Schwebungsfrequenz und

$$T_s = \frac{1}{f_s} \quad (4)$$

die Schwebungsdauer.

Wenn die Frequenzen f_1 und f_2 im hörbaren Bereich ($20 \text{ Hz} \leq f \leq 15000 \text{ Hz}$) liegen und $f_s < 20 \text{ Hz}$ ist, dann wird die akustische Schwebung vom menschlichen Ohr als **ein**

Ton mit regelmäßigen Intensitäts- bzw. Lautstärke-Schwankungen wahrgenommen.

Ist die Schwebungsfrequenz deutlich größer als 20 Hz, so sind die beiden Töne f_1 und f_2 getrennt zu hören.

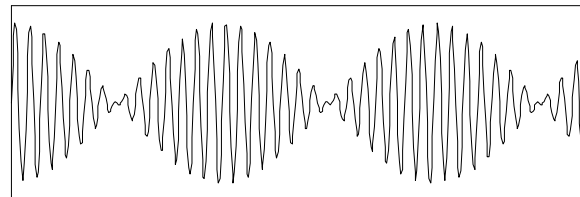


Abb. 1: Schwebung nach Gl. (2)

2.2 Bewegt sich eine Schallquelle, die einen Ton mit der Frequenz f_0 aussendet, mit der Geschwindigkeit $v > 0$ auf einen ruhenden Beobachter zu (bzw. mit der Geschwindigkeit $v < 0$ vom ruhendem Beobachter weg), so hört der Beobachter einen Ton mit der veränderten Frequenz f' (Doppler-Effekt):

$$f' = f_0 \cdot \frac{1}{1 - v/c} \quad (5)$$

Dabei ist c die Schallgeschwindigkeit.

Befindet sich die Schallquelle in Ruhe und bewegt sich der Beobachter mit der Geschwindigkeit $v > 0$ auf die Quelle zu bzw. mit $v < 0$ von der Quelle fort, so ist die veränderte Frequenz f'

$$f' = f_0 \cdot (1 + v/c) \quad (6)$$

Aus den Gleichungen (5) und (6) folgt, dass bei der Annäherung der zu hörende Ton f' höher ist als die Tonhöhe f_0 der ausgesandten Schallwelle, bei Entfernen ist der gehörte Ton tiefer ($f' < f_0$).

2.3 Senden zwei Schallquellen einen Ton derselben Frequenz f_0 aus, so interferieren beide Schallfelder miteinander. Die mit einem Mikrofon gemessene Amplitude a ist abhängig von der Differenz der Abstände r_1 und r_2 zwischen Mikrofon und Schallquelle 1 bzw.

Mikrofon und Schallquelle 2:

$$a = a_1 + a_2 \quad \text{für} \quad r_1 - r_2 = n \cdot \lambda$$

$$a = a_1 - a_2 \quad \text{für} \quad r_1 - r_2 = \frac{2n+1}{2} \cdot \lambda \quad (7)$$

(a_1 und a_2 sind die Amplituden der beiden Schallquellen allein, λ die Wellenlänge und n eine ganze Zahl.)

Ist eine Schallquelle feststehend und die zweite wird auf das Mikrofon zu bzw. von ihm weg bewegt, so registriert man Maxima im Abstand $\Delta r = n \cdot \lambda$. Bewegt sich die zweite Schallquelle mit der Geschwindigkeit v , so registriert man eine Schwebung aus der Frequenz f_0 und der entsprechend Gleichung (5) Doppler-verschobenen Frequenz f' .

3 Versuchsaufbau

3.0 Geräte:

- 2 Sine Wave Generator HM 8032
- 2 Lautsprecher
- Speicheroszilloskop (siehe Anhang)
- Zählgerät (Frequenzmesser)
- Ultraschallgenerator 40 kHz
- 2 Ultraschallwandler
- Messmikrofon
- Stoppuhr
- 2 m lange Schiene mit Längenskale
- elektrisch angetriebener Messwagen
- Verbindungsleitungen
- BNC-T-Stück
- Adapter BNC/Banane
- Stativmaterial
- eventuell: eigener Foto oder Smartphone

3.1 Die Lautsprecher werden an den 50 Ω -Ausgängen der beiden Generatoren betrieben. Zur Aufnahme des Messsignals dient ein Spezialmikrofon. Das Zählgerät misst die Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde und speichert bis zu 1000 Messwerte. Das Oszilloskop dient zur Kontrolle des Messsignals. Zur Dokumentation der Messergebnisse kann das Oszilloskopbild mit dem eigenen Foto oder Handy fotografiert werden.

3.2 Zur Bestimmung der Geschwindigkeit v des Messwagens mit Hilfe des Dopplereffektes wird Ultraschall verwendet. Ein Ultraschallwandler, der von dem 40 kHz-Generator angesteuert wird, wird auf den Messwagen gestellt. Um die mechanische Beeinflussung des Wagens durch die Zuleitung weitgehend zu vermeiden, ist diese über ein Stativ von oben herab zu führen. Das Messmikrofon wird am Ende der 2 m langen Schiene aufgestellt.

3.3 Für die Bestimmung von Wellenlänge und Schallgeschwindigkeit wird der zweite Ultraschallwandler ortsfest aufgestellt und parallel zum ersten am selben Generator betrieben.

4 Versuchsdurchführung

4.0 Machen Sie sich zuerst mit der Funktionsweise und Bedienung von Digitalzähler, NF-Generator und Oszilloskop vertraut. Lesen Sie zur Vorbereitung die „Kurzanleitung zum Oszilloskop“ im Anhang.

4.1 Zur Erzeugung der akustischen Schwebung sind die beiden Lautsprecher an die Generatoren anzuschließen. Das Messmikrofon wird an den Zähler (Eingang B) und m. H. des BNC-T-Stückes gleichzeitig an den Oszillographen angeschlossen. Es wird durch Drücken der Taste eingeschaltet und schaltet sich nach ca. 40 min automatisch aus.

An beiden Generatoren wird eine Frequenz von etwa 400 Hz eingestellt (f_1). Lautstärke, Verstärkung des Mikrofons und Triggerschwelle des Zählers sind so einzustellen, dass die Frequenz problemlos gemessen werden kann. Das gemessene Signal wird auf dem Oszilloskop kontrolliert, es ist darauf zu achten, dass das Mikrofon nicht übersteuert wird (zu erkennen an der verzerrten Sinuskurve). Beide Lautsprecher sollten etwa gleich laut sein bzw. auf dem Oszilloskop ein Signal gleicher Amplitude erzeugen.

Nun ist die Frequenz eines Generators ein

wenig zu verändern (f_2), bis eine deutlich hörbare und mit der Stoppuhr messbare Schwebung entsteht. Die Differenz $f_2 - f_1$ darf dabei nur wenige Hz betragen! Die Schwebungsdauer T_S sowie die beiden Frequenzen f_1 und f_2 sind mit der Stoppuhr bzw. mit dem Zählgerät mehrmals zu messen. Für eine vernünftige Messgenauigkeit muss die Dauer einer größeren Anzahl von Schwebungen gemessen werden!

4.2 Zur Bestimmung der Geschwindigkeit v der bewegten Schallquelle wird ein Ultraschallwandler auf den Messwagen gestellt und mit dem Ausgang des 40kHz-Generators verbunden. Das Mikrofon wird am Ende der Schiene positioniert. Die Generatorfrequenz (sie kann etwas variiert werden) wird so eingestellt, dass das Messsignal maximal wird. Verstärkung des Mikrofons und Triggerschwelle des Zählers werden so eingestellt, dass die Frequenz in den verschiedenen Abständen der Schallquelle vom Mikrofon sicher messbar ist. Die Grundfrequenz f_0 und die Frequenz f bei maximaler Geschwindigkeit sind bei Fahrt in beide Richtungen jeweils 5 mal zu bestimmen.

4.3 Zur Messung der Wellenlänge wird der zweite Ultraschallwandler parallel zum ersten an den Generator angeschlossen. Das Signal wird auf dem Oszilloskop beobachtet. Die Schallquellen sind so aufzustellen, dass ihre gemessenen Intensitäten am Mikrofon annähernd gleich groß sind. Die Frequenz f_0 und Anzahl der Maxima bei Verschiebung des Messwagens von Hand um eine größere Wegstrecke (mind. 30 cm) ist zu messen.

Die Geschwindigkeit des Messwagens wird nun ermittelt, indem eine Schwebung aus den Frequenzen der bewegten und der feststehenden Ultraschallquelle vermessen wird. Dazu wird das Oszilloskop in den Digitalmode geschaltet (Taste STORE ON) und die Zeitbasis auf einen geeigneten Wert (etwa 20 ms/cm) eingestellt. Für die eigentliche Messung mit dem Oszilloskop (nach Justierung des Signals) gibt es 2 Möglichkeiten:

1) Verwendung der Betriebsart SINGLE. Die Messung wird von Hand ausgelöst, wenn der Messwagen etwa seine maximale Geschwindigkeit erreicht hat.

2) Verwendung des STOR. MODE ROLLING (Standard ist REFRESH). Hiermit kann man die laufende Messung beobachten und im richtigen Moment mit der Taste HLT anhalten.

Am Oszillograph wird die Schwebungsdauer T_S bestimmt (Tip: Dauer mehrerer Schwebungen messen, Cursor verwenden). Die Messung ist je 5 mal für die Fahrt in beide Richtungen durchzuführen.

5 Auswertung

5.1 Die Schwebungsdauer T_S wird nach den Gleichungen (3) und (4) anhand der gemessenen Werte für die Frequenzen f_1 und f_2 berechnet und mit den direkt gemessenen Werten verglichen.

5.2 Die Geschwindigkeiten sind nach (5) zu berechnen, für beide Fahrtrichtungen sind die Mittelwerte anzugeben. Bei der Berechnung wird die in 5.3 ermittelte Schallgeschwindigkeit verwendet.

5.3 Die Wellenlänge λ und die Schallgeschwindigkeit c sind zu berechnen, c ist mit Literaturwerten zu vergleichen. Aus den Schwebungsdauern sind m. H. der Gleichungen (3-5) die Geschwindigkeiten zu berechnen, für beide Fahrtrichtungen sind die Mittelwerte anzugeben.

6 Literatur

Dieter Meschede: Gerthsen Physik, Springer, Berlin u.a., 2010

Bergmann-Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik Bd.1 Mechanik, Akustik, Wärme. de Gruyter, Berlin u.a., 2008

7 Kontrollfragen

7.1 Was ist Schall?

7.2 Wie kommt eine Schwebung zustande?

7.3 Was bedeutet Interferenz von Wellen?

7.4 Leiten Sie die Gln. (5) und (6) her!