

Aufgabe 1: (Ich-Du-Wir): Als Einstiegsexperiment schlägt der Lehrer zwei a1-Stimmgabeln an. An einer der beiden Stimmgabeln sind Zusatzmassen angebracht:



a) Beschreiben Sie Ihren Höreindruck.

Ein solcher Höreindruck wird „Schwebung“ genannt.

Im Folgenden sollen die Ursachen für das Entstehen einer Schwebung untersucht werden.

b) Stellen Sie eine Hypothese auf.

c) Wir: Sammeln der Hypothesen.

d) Planen Sie Experimente, mit deren Hilfe Ihre Hypothese überprüft werden kann. Zur Verfügung stehen hierfür folgende Materialien:

- Eine a1-Stimmgabel
- Eine a1-Stimmgabel mit zwei Zusatzmassen
- App Schallanalysator (iOS, Android) oder Spaichinger Schallpegelmesser (für Windows-Notebooks) mit folgenden Fenstern:
 - Grundfrequenz
 - Oszilloskop

e) Wir: Diskussion der möglichen Überprüfungsexperimente.

f) Wir: Durchführung der Überprüfungsexperimente.

Aufgabe 2 (Ich-Du-Wir): Nun wollen wir die Ergebnisse von Aufgabe 1 verallgemeinern und vertiefen.

Hilfsmittel: App Schallanalysator oder Spaichinger Schallpegelmesser mit folgenden Fenstern:

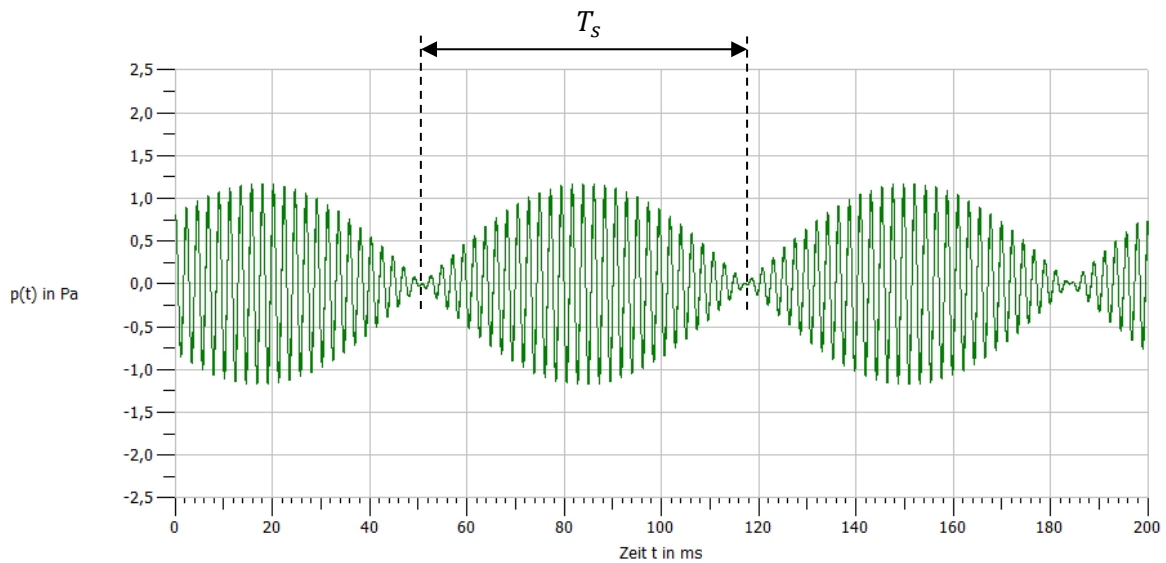
- Tongenerator im Modus „Direkt“ (Erzeugung und Überlagerung von 2 Tönen)
- Oszilloskop mit Fadenkreuz „ZZ“ zur exakten Ablesung von Zeiten

a) Überprüfen Sie die Hypothese: Werden 2 unterschiedliche Töne mit nahe beieinander liegenden Frequenzen $|f_1 - f_2| \leq 15$ Hz überlagert, so entsteht eine Schwebung.

b) Untersuchen Sie, wie die Schwebungsfrequenz f_s (Definition siehe nächste Seite) von den Frequenzen f_1 und f_2 der beiden Töne abhängt.

Für diese Teilaufgabe sind gestufte Hilfen vorhanden (siehe nächste Seite).

Definition Schwebungsperiodendauer T_s und Schwebungsfrequenz f_s :



Die Schwebungsfrequenz f_s ist durch folgende Gleichung definiert:

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

Gestufte Hilfen zu Aufgabe 2 b):

Hilfe 1: Legen Sie zunächst eine geeignete Messwertetabelle an.

Hilfe 2: In die Messwertetabelle müssen die Größen, die variiert werden, und die Größe, die gemessen wird, eingetragen werden. Schließlich sollte noch eine Zeile bzw. Spalte für die gesuchte Größe f_s angehängt werden.

Hilfe 3: In diesem Fall werden die Größen f_1 und f_2 nacheinander variiert und die Schwebungsperiodendauer T_s gemessen. T_s kann mithilfe des Fadenkreuzes „ZZ“ im Oszilloskopfenster bestimmt werden.

Hilfe 4: Eine mögliche Messwertetabelle:

f_1 in Hz	400	400	400	400	400	418	421	424	427	430
f_2 in Hz	403	406	409	412	415	415	415	415	415	415
T_s in s										
$f_s = \frac{1}{T_s}$ in Hz										

Hilfe 5: Berechnen Sie nach der Messung die Werte für f_s und tragen Sie diese in die Tabelle ein.

Hilfe 6: Formulieren Sie zunächst einen Je-desto-Satz für die gesuchte Abhängigkeit.

Hilfe 7: Je weiter f_1 und f_2 voneinander entfernt sind, desto größer ist f_s .

Hilfe 8: Bestimmen Sie nun mithilfe der Messwerte eine Gleichung für die Schwebungsfrequenz.

Aufgabe 3 (Ich-Du-Wir): In Aufgabe 2 haben wir induktiv die Gleichung $f_s = |f_1 - f_2|$ für die Schwebungsfrequenz f_s gefunden. In dieser Aufgabe möchten wir Schwebungen mithilfe des Zeigerdiagramms besser verstehen.

Hilfsmittel: GeoGebra-Datei <https://www.geogebra.org/m/uzg7jgcc> (Überlagerung von Schwingungen)

- Erklären Sie mithilfe des Zeigerdiagramms die Entstehung einer Schwebung.
- Schwere Zusatzaufgabe:** Leiten Sie deduktiv mithilfe des Zeigerdiagramms die Gleichung $f_s = |f_1 - f_2|$ her.
Für diese Teilaufgabe sind gestufte Hilfen vorhanden.

Gestufte Hilfen zu Aufgabe 2 b):

Hilfe 1: Zur Vereinfachung können wir annehmen, dass $f_1 > f_2$ ist.

Hilfe 2: Für die Änderung der Gesamtamplitude ist der sich ständig ändernde Winkel zwischen den beiden Zeigern verantwortlich.

Hilfe 3: Der Winkel zwischen den Zeigern ist gerade die Phasendifferenz $\Delta\varphi(t) = \varphi_1(t) - \varphi_2(t)$.

Hilfe 4: Einsetzen der bekannten Gleichungen für die Phasenwinkel ergibt:

$$\Delta\varphi(t) = \varphi_1(t) - \varphi_2(t) = \omega_1 \cdot t + \varphi_{01} - (\omega_2 \cdot t + \varphi_{02}) = \omega_1 \cdot t - \omega_2 \cdot t + \varphi_{01} - \varphi_{02}$$

Hilfe 5: Mit den Abkürzungen $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$ und $\Delta\varphi = \varphi_{01} - \varphi_{02}$ erhalten wir die Gleichung $\Delta\varphi(t) = \Delta\omega \cdot t + \Delta\varphi$

Hilfe 6: Folglich ändert sich die Phasendifferenz (und damit die Gesamtamplitude) mit der konstanten Kreisfrequenz $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = 2\pi f_1 - 2\pi f_2 = 2\pi(f_1 - f_2)$.

Hilfe 7: Da man jeder Kreisfrequenz über die Beziehung $\omega = 2\pi f$ eine Frequenz zuordnen kann, können wir auch $\Delta\omega$ eine Frequenz f_s zuordnen: $\Delta\omega = 2\pi f_s$. Die Frequenz f_s ist gerade die Schwebungsfrequenz, da sie beschreibt, mit welcher Frequenz sich der Winkel zwischen den beiden Zeigern (und damit die Gesamtamplitude) verändert.

Hilfe 8: Setzt man schließlich die Gleichung aus Hilfe 6 in die Gleichung aus Hilfe 7 ein, so erhält man $2\pi(f_1 - f_2) = \Delta\omega = 2\pi f_s$ und damit die gesuchte Beziehung für die Schwebungsfrequenz:

$$(f_1 - f_2) = f_s$$