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

1. Beschreiben Sie Ihren Höreindruck.

Ein solcher Höreindruck wird „Schwebung“ genannt.
Im Folgenden sollen die Ursachen für das Entstehen einer Schwebung untersucht werden.

1. Stellen Sie eine Hypothese auf.
2. Wir: Sammeln der Hypothesen.
3. 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
1. Wir: Diskussion der möglichen Überprüfungsexperimente.
2. 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
1. Überprüfen Sie die Hypothese: Werden 2 unterschiedliche Töne mit nahe beieinander liegenden Frequenzen $\left|f\_{1}-f\_{2}\right|\leq 15 Hz $überlagert, so entsteht eine Schwebung.
2. 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 $f\_{s}$:

$$T\_{s}$$

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 $f\_{s}=\left|f\_{1}-f\_{2}\right|$ 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)

1. Erklären Sie mithilfe des Zeigerdiagramms die Entstehung einer Schwebung.
2. **Schwere Zusatzaufgabe:** Leiten Sie deduktiv mithilfe des Zeigerdiagramms die Gleichung $f\_{s}=\left|f\_{1}-f\_{2}\right|$ 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 $∆φ\left(t\right)=φ\_{1}\left(t\right)-φ\_{2}\left(t\right).$

**Hilfe 4:** Einsetzen der bekannten Gleichungen für die Phasenwinkel ergibt:
 $∆φ\left(t\right)=φ\_{1}\left(t\right)-φ\_{2}\left(t\right)=ω\_{1}∙t+φ\_{01}- (ω\_{2}∙t+φ\_{02})= ω\_{1}∙t- ω\_{2}∙t+φ\_{01}- φ\_{02}$

**Hilfe 5:** Mit den Abkürzungen$∆ω= ω\_{1}-ω\_{2} $und $∆φ= φ\_{01}- φ\_{02}$ erhalten wir die Gleichung
$$∆φ\left(t\right)=∆ω∙t+∆φ$$

**Hilfe 6:** Folglich ändert sich die Phasendifferenz (und damit die Gesamtamplitude) mit der konstanten Kreisfrequenz $∆ω=$ $ω\_{1}-ω\_{2}=2πf\_{1}-2πf\_{2}=2π\left(f\_{1}-f\_{2}\right).$

**Hilfe 7:** Da man jeder Kreisfrequenz über die Beziehung $ω=2πf$eine Frequenz zuordnen kann, können wir auch $∆ω$ eine Frequenz $f\_{s}$ zuordnen: $∆ω=2πf\_{s}$. 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 $2π\left(f\_{1}-f\_{2}\right)=∆ω=2πf\_{s}$ und damit die gesuchte Beziehung für die Schwebungsfrequenz:
 $\left(f\_{1}-f\_{2}\right)=f\_{s}$