**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:

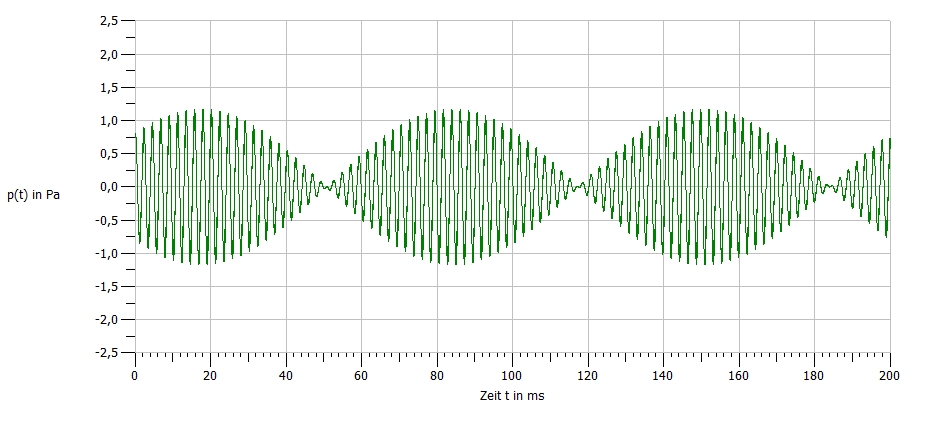
* Eine a1-Stimmgabel
* Eine a1-Stimmgabel mit zwei Zusatzmassen
* App Schallanalysator (iOS, Android) oder Spaichinger Schallpegelmesser (für Windows-Notebooks) mit folgenden Fenstern:
  + Grundfrequenz
  + Oszilloskop

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 überlagert, so entsteht eine Schwebung.
2. Untersuchen Sie, wie die Schwebungsfrequenz (Definition siehe nächste Seite) von den Frequenzen und der beiden Töne abhängt.   
   Für diese Teilaufgabe sind gestufte Hilfen vorhanden (siehe nächste Seite).

Definition Schwebungsperiodendauer und Schwebungsfrequenz :

Die Schwebungsfrequenz ist durch folgende Gleichung definiert:

**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 angehängt werden.

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

**Hilfe 4:** Eine mögliche Messwertetabelle:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 418 | 421 | 424 | 427 | 430 |
|  | 403 | 406 | 409 | 412 | 415 | 415 | 415 | 415 | 415 | 415 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**Hilfe 5:** Berechnen Sie nach der Messung die Werte für 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 und voneinander entfernt sind, desto größer ist .

**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 für die Schwebungsfrequenz 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 her.  
   Für diese Teilaufgabe sind gestufte Hilfen vorhanden.

**Gestufte Hilfen zu Aufgabe 2 b):**

**Hilfe 1:** Zur Vereinfachung können wir annehmen, dass 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

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

**Hilfe 5:** Mit den Abkürzungenund erhalten wir die Gleichung

**Hilfe 6:** Folglich ändert sich die Phasendifferenz (und damit die Gesamtamplitude) mit der konstanten Kreisfrequenz

**Hilfe 7:** Da man jeder Kreisfrequenz über die Beziehung eine Frequenz zuordnen kann, können wir auch eine Frequenz zuordnen: . Die Frequenz 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 und damit die gesuchte Beziehung für die Schwebungsfrequenz: