

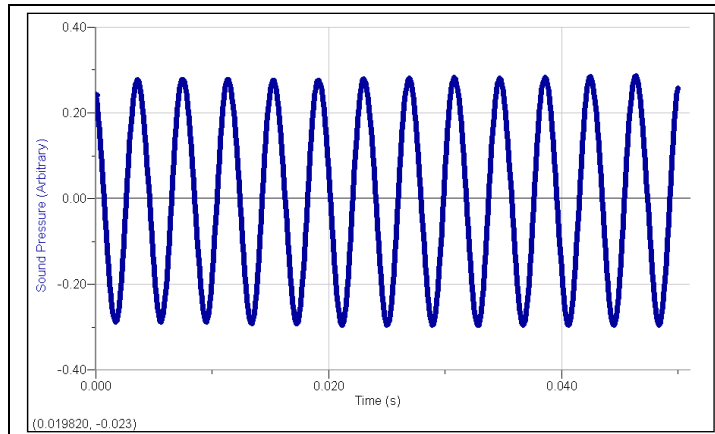
# Schallwellen und Schwebungen

Schallwellen bestehen aus aneinander gereihten Schwankungen des Luftdrucks. Die Membran eines Mikrofons nimmt diese Schwankungen auf, indem sie sich als Reaktion auf die Druckänderungen bewegt. Die Bewegung der Membran wird anschließend in ein elektrisches Signal umgewandelt. Mithilfe eines Mikrofons und einer Computerschnittstelle können Sie die Eigenschaften einfacher Töne erkunden.

Die erste Eigenschaft, die Sie messen werden, ist die *Periode*, die Zeit für einen vollständigen Durchgang. Da es sich bei der Periode um eine Zeitmessung handelt, wird sie gewöhnlich abgekürzt mit  $T$ . Der Kehrwert der Periode ( $1/T$ ) wird *Frequenz*  $f$  genannt, die Anzahl vollständiger Durchgänge pro Sekunde. Die Frequenz wird in Hertz (Hz) gemessen.  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$ .

Eine zweite Eigenschaft von Tönen ist die *Amplitude*. Ändert sich der Druck, liegt er über oder unter dem durchschnittlichen Druck im Raum. Die maximale Abweichung über oder unter dem Wechsellpunkt wird Amplitude genannt. Die Amplitude eines Tons hängt eng mit seiner Lautstärke zusammen.

Überschneiden sich zwei Schallwellen, überlagern sich ihre Druckschwankungen. Bei Schallwellen ist diese Verknüpfung additiv. Man sagt, der Schall folgt dem Prinzip der *linearen Überlagerung*. Schwebungen sind ein Beispiel für Überlagerung. Zwei Töne von annähernd gleicher Frequenz erzeugen eine ausgeprägte Schwankung der Ton-Amplitude, die Schwebung genannt wird. Dieses Phänomen können Sie mithilfe eines Mikrofons, einer Schnittstelle und eines Computers untersuchen.



## LERNZIELE

- Messen von Frequenz und Periode der Schallwellen von Stimmgabeln
- Messen der Amplitude der Schallwellen von Stimmgabeln
- Untersuchen von Schwebungen zwischen den Tönen zweier Stimmgabeln

## MATERIAL


Computer  
Vernier Computerschnittstelle  
Vernier Mikrophon

Logger *Pro*  
zwei Stimmgabeln **oder**  
ein elektronisches Keyboard



## VORBEREITENDE FRAGEN

1. Weshalb werden Instrumente gestimmt, bevor in der Gruppe gespielt wird? Auf welche Weise stimmen Musiker ihre Instrumente?
2. Angenommen, Schallwellen bestehen aus Aneinanderreihungen von Anstiegen und Abfällen des Luftdrucks. Was würde passieren, wenn der Anstieg des Luftdrucks einer Schallwelle an derselben Stelle und zur selben Zeit wie der Abfall des Luftdrucks einer anderen Schallwelle derselben Amplitude gelegen ist?


## VORGEHENSWEISE

1. Verbinden Sie das Mikrofon mit *Channel 1* der Computerschnittstelle.
2. Öffnen Sie die Datei "32 Sound Waves" im Ordner *Physik mit Vernier*. Es werden 0,005 Sekunden lang Daten erfasst, um die schnellen Druckänderungen von Schallwellen aufzuzeigen. Die vertikale Achse entspricht der Änderung des Luftdrucks, die Einheit ist frei wählbar. Drücken Sie auf  Zero, um die Funktion auf der Zeitachse zu zentrieren.

### Teil I Einfache Wellenformen

3. Erzeugen Sie mit einer Stimmgabel oder einem Keyboard einen Ton. Halten Sie das Mikrofon nah an das Instrument und drücken Sie auf  Collect. Die Daten sollten sinusförmig dargestellt werden, ähnlich wie das Beispiel auf der ersten Seite. Wenn Sie eine Stimmgabel verwenden, schlagen Sie diese gegen ein weiches Objekt, wie einen Gummihammer oder eine Schuhsohle aus Gummi. Schlagen sie die Stimmgabel gegen ein hartes Objekt, können Sie sie beschädigen. Schlagen Sie die Stimmgabel zu fest oder zu sanft, könnte die Funktion zu holprig werden. Versuchen Sie es in diesem Fall noch einmal.
4. Beachten Sie das Aussehen des Graphen. Zählen und notieren Sie die Anzahl vollständiger Perioden, die nach der ersten Spitze in Ihren Daten angezeigt werden.
5. Drücken Sie auf den Knopf zur Untersuchung . Markieren Sie mit dem Mauszeiger den Bereich zwischen der ersten und der letzten Spitze der Sinusschwingung. Lesen Sie das dazwischen liegende Zeitintervall  $\Delta t$  ab und teilen Sie es durch die Anzahl der Perioden, um die Länge einer Periode zu bestimmen.
6. Berechnen Sie die Frequenz der Stimmgabel in Hertz und notieren Sie diese in der Datentabelle.
7. Bestimmen Sie auf ähnliche Weise die Amplitude der Funktion. Ziehen Sie den Mauszeiger von oben nach unten über den Graphen, von der Spitze bis zum tiefsten Punkt. Lesen Sie die Differenz der y-Werte ab, die als  $\Delta y$  angezeigt wird.
8. Die Amplitude ist die Hälfte der Differenz  $\Delta y$ . Notieren Sie den Wert in der Datentabelle.
9. Zeichnen Sie den Graphen ab oder drucken Sie ihn aus.
10. Speichern Sie Ihre Daten über *Store Latest Run* im Menü *Experiment* ab. Blenden Sie den Lauf *Run 1* über *Hide Data Set* im Menü *Data* aus.
11. Wiederholen Sie die Schritte 3–9 mit der zweiten Frequenz. Speichern Sie diesen Lauf als *Run 2* ab und blenden Sie ihn anschließend aus.

**Teil II Schwebungen**

12. Zwei reine Töne mit unterschiedlichen Frequenzen, die gleichzeitig ertönen, erzeugen ein Phänomen, das Schwebung genannt wird. Manchmal verstärken sich die Wellen gegenseitig, manchmal dämpfen sie sich gegenseitig. Dies geschieht aufgrund der festen Frequenz jedes Tons in regelmäßigem Abstand. Zur Untersuchung von Schwebungen schlagen Sie entweder die Stimmgabeln oder die Tasten des Keyboards simultan an und lauschen dem verknüpften Ton. Sind die Schwebungen langsam genug, sollten Sie eine Schwankung in der Intensität hören können. Sind die Schwebungen schnell, ist ein einzelner, hart klingender Ton zu hören.
13. Erfassen Sie Daten, während zwei Töne erklingen. Sie sollten eine zeitliche Schwankung der Ton-Amplitude erkennen. Verwenden Sie unterschiedlich gestimmte Stimmgabeln, schlagen Sie diese gleich hart an und halten Sie diese in gleichem Abstand zum Mikrofon. Erhalten Sie eine deutliche Wellenform, speichern Sie diese über *Store Latest Run* aus dem Menü *Experiment* als *Run 3* ab.
14. Das Schwingungsmuster wird komplex sein, mit einer langsameren Änderung der Amplitude über einer schnellen Änderung. Ignorieren Sie die schnellere Änderung und konzentrieren Sie sich auf das Gesamtmuster. Zählen Sie die Anzahl der Amplituden-Maxima und notieren Sie diese in der Datentabelle.
15. Drücken Sie auf den Knopf zur Untersuchung . Finden Sie mithilfe der Maus wie zuvor das Zeitintervall für die vollständigen Schwebungen. Teilen Sie die Differenz  $\Delta t$  durch die Anzahl der Perioden, um das Zeitintervall der Schwebung (in s) zu bestimmen. Berechnen Sie aus dem Zeitintervall die *Schwebungsfrequenz* in Hz. Notieren Sie diese Werte in der Datentabelle.

**DATEN-TABELLE**

**Teil I Einfache Wellenformen**

Stimmgabel oder Keyboard	Anzahl der Perioden	$\Delta t$ (s)	Schwingungszeit (s)	berechnete Frequenz (Hz)

Stimmgabel oder Keyboard	Amplitude (V)

Stimmgabel oder Keyboard	Parameter A (V)	Parameter B ( $s^{-1}$ )	$f = B/2\pi$ (Hz)

## Teil II Schwebungen

Anzahl der Perioden	$\Delta t$ (s)	Schwebung (s)	berechnete Schwebungsfrequenz (Hz)


## ANALYSE

### Teil I Einfache Wellenformen

1. In der folgenden Analyse werden Sie sehen, wie Ihre Daten zu dem Modell einer Sinusfunktion passen. Die Bewegung der Teilchen in dem Medium, das eine periodische Welle transportiert, kann durch eine sinusförmige Funktion modelliert werden. In Ihrem Physikbuch steht ein Ausdruck wie dieser:

$$y = A \sin(2\pi f t)$$

Im Fall von Tönen verweist eine longitudinale Welle auf die Änderung des Luftdrucks, der die Welle ausmacht.  $A$  ist die Amplitude der Welle (ein Maß für die Lautstärke) und  $f$  ist die Frequenz. Die Zeit wird repräsentiert durch  $t$  und die Sinusfunktion benötigt den Faktor  $2\pi$ , wenn sie im Bogenmaß ausgedrückt wird.

Logger *Pro* passt die Funktion  $y = A * \sin(B*t + C) + D$  an die experimentellen Daten an.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  und  $D$  sind Parameter (Zahlen), die Logger *Pro* nach einer Anpassung ausgibt. Diese Funktion ist komplizierter als die im Buch, aber die grundsätzliche Sinusform ist dieselbe. Wenn man die Ausdrücke vergleicht und mit der Version im Buch beginnt, entspricht die Amplitude  $A$  dem Parameter  $A$  und  $2\pi f$  entspricht dem Parameter  $B$ . Die Zeit wird repräsentiert durch  $t$ , der horizontalen Achse in Logger *Pro*. Die neuen Parameter  $C$  und  $D$  verschieben die angepasste Funktion nach links oder rechts beziehungsweise oben oder unten und sind für eine gute Anpassung nötig. Für dieses Experiment sind nur die Parameter  $A$  und  $B$  wichtig. Mithilfe des numerischen Wertes  $B$  können Sie über  $B = 2\pi f$  die Frequenz  $f$  bestimmen. Wählen Sie *Show Data Set* aus dem Menü *Data* und wählen Sie *Run 1* aus, um die Funktion des ersten Tons einzubelnden. Lassen Sie die anderen Läufe ausgeblendet. Drücken Sie auf den Knopf zur Kurvenanpassung  und wählen Sie *Run 1* aus der Liste. Wählen Sie "A\*sin(B\*t +C) + D.(Sine)" aus der Liste der Modelle. Drücken Sie zur Durchführung der Anpassung auf .

Drücken Sie auf , um zum Graphen zurück zu kehren. Das Modell und die zugehörigen Parameter erscheinen in einem Fenster in der linken oberen Ecke des Graphen. Notieren Sie die Parameter  $A$  und  $B$  des Modells in der Datentabelle.

2. Verwenden Sie die Anpassungsinformationen zur Bestimmung der Frequenz  $f$ , da  $B$  in der Kurvenanpassung  $2\pi f$  entspricht. Notieren Sie den Wert in der Datentabelle. Vergleichen Sie die Frequenz mit der zuvor berechneten. Von welcher erwarten Sie, dass sie genauer ist und weshalb?
3. Vergleichen Sie den Parameter  $A$  mit der Amplitude der Funktion. Blenden Sie *Run 1* aus und *Run 2* ein, um zur Funktion des zweiten Tons zu kommen. Wiederholen Sie die Schritte 1–4 für *Run 2*.

### Teil II Schwebungen

4. Gibt es eine Möglichkeit, wie die beiden individuellen Frequenzen verknüpft werden können, um die Schwebungsfrequenz, die Sie zuvor gemessen haben, zu erhalten? Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit einem Physikbuch.

## ERWEITERUNGEN

1. Die Schwebung, die Sie in *Run 3* erhalten haben, resultierte aus einer Überlagerung von Schallwellen von zwei Stimmgabeln. Wie lassen sich Ihre gespeicherten Daten mit einer einfachen Addition der Funktionen der einzelnen Stimmgabeln vergleichen? Wenn sich die Schallwellen in der Luft durch lineare Addition verknüpfen, dann sollte die algebraische Summe der Daten der einzelnen Funktionen den Daten der Schwebung ähneln. Nachfolgend wird die Durchführung der Addition erklärt:
  - a. Blenden Sie nur *Run 3* ein (die Funktion der aktuellen Schwebung).
  - b. Wählen Sie *New Calculated Column* aus dem Menü *Data*. Benennen Sie die Spalte mit "Summe".
  - c. Klicken Sie einfach in das Gleichungsfeld, um den Mauszeiger dort zu platzieren. Wählen Sie *Run1:Sound Pressure* aus dem Menü *Variables (Columns)*, tippen Sie das Additionssymbol "+" ein und wählen Sie *Run2:Sound Pressure* aus dem Menü *Variables (Columns)*. Die resultierende Gleichung lautet "Run1:Sound Pressure"+ "Run2:Sound Pressure".
  - d. Klicken Sie auf *Done*. Verneinen Sie, wenn *Logger Pro* nach der Auswahl eines bestimmten Datensatzes fragt.
  - e. Es wird in jedem Datensatz eine neue Spalte für die Summe der beiden Funktionen erstellt.
  - f. Ziehen Sie die Überschrift der Spalte von *Run 3* aus dem Bereich der Tabellen in den Bereich der y-Achse, um die Summen-Spalte zu plotten.
  - g. Drücken Sie auf die Bezeichnung der y-Achse, um den Dialog für die y-Achse anzuzeigen und machen Sie nur bei der Summenspalte von *Run 3* einen Haken. Drücken Sie auf . Sie sehen nun die mathematische Summe von *Run 1* und *Run 2*. Ändern Sie gegebenenfalls den Maßstab des Graphen. Zeigen Sie nun den Dialog der Beschriftung der y-Achse an, um die tatsächlichen Daten der Schwebung anzeigen zu lassen (es ist schwierig, beide Diagramme gleichzeitig auf dem Bildschirm anzuzeigen, schauen Sie sie deshalb nacheinander an). Wie ähnelt die Summe den tatsächlichen Daten? Wie unterscheiden sie sich? Unterstützen die Graphen das Modell der additiven Überlagerung von Schallwellen? Was wäre, wenn die Überlagerungsregel multiplikativ wäre? Würde sich der Graph dadurch ändern?
2. Es gibt kommerzielle Produkte, die *Active Noise Cancellers* (ANC, aktive Lärmkompensatoren) genannt werden. Diese bestehen aus Kopfhörern, Mikrofonen und Elektronik. Sie sind für die Nutzung in lauten Umgebungen gedacht, in denen der Benutzer immer noch hören können muss (beispielsweise im Funkverkehr). Die Kopfhörer reduzieren Geräusche weit über die einfache akustische Isolation hinaus. Wie könnte solch ein Produkt funktionieren?

3. Die trigonometrische Addition

$$\sin x + \sin y = 2 \sin\left(\frac{x+y}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{x-y}{2}\right)$$

eignet sich zur Modellierung von Schwebungen. Zeigen Sie, wie die von Ihnen gemessene Schwebungsfrequenz mithilfe zweier sinusförmiger Wellen mit den Frequenzen  $f_1$  und  $f_2$ , deren Druckschwankungen beschrieben werden durch  $\sin(2\pi f_1 t)$  und  $\sin(2\pi f_2 t)$ , vorausgesagt werden kann.

4. Die meiste Aufmerksamkeit wird bei Schwebungen dem Muster der Gesamtintensität geschenkt, das wir hören können. Bestimmen Sie mithilfe der Analyse-Werkzeuge die Frequenz der Schwankung, die innerhalb des Musters liegt. Wie hängt die Frequenz mit den einzelnen Frequenzen zusammen, die die Schwebung generiert haben?
5. Untersuchen Sie das Muster, das Sie erhalten, wenn Sie zwei benachbarte Noten auf einem Keyboard spielen. Wie ändert es sich, wenn die Noten immer weiter auseinander