

Dieses Dokument wurde im Rahmen des Erasmus+ Projekts "Developing Digital Physics Laboratory Work for Distance Learning" (DigiPhysLab) erstellt. Weitere Informationen: www.jyu.fi/digiphyslab

Akustik-Experimente

Version für Studierende

20.2.2023



Co-funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union



Dieses Werk ist lizenziert unter [der Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Akustik-Experimente – Version für Studierende

Motivation

Nur wenige von uns haben schon einmal absolute Stille erlebt, weil Klänge buchstäblich überall um uns herum sind. Akustische Phänomene begleiten uns nicht nur im Alltag, sie bieten auch eine breite Palette von Anwendungen: von der medizinischen Diagnostik wie dem Doppler-Ultraschall zur Schätzung des Blutflusses bis hin zur Freude in Form von Musik. In dieser Aufgabe erhalten Sie einen besseren Einblick in einige akustische Phänomene und darin, wie diese Phänomene in der Praxis eingesetzt werden.

Vorbereitende Aufgaben vor dem Laborpraktikum

Installieren Sie die *PhyPhox*-Anwendung auf Ihrem Telefon und nehmen Sie verschiedene Sounds mit dem Audio-Spektrum-Tool aus dem Bereich Akustik auf. Machen Sie eine Aufnahme, wenn es im Raum still ist. Überlegen Sie, wie Sie die Grafiken, die Sie aus den Aufzeichnungen erhalten, interpretieren würden und welche Informationen daraus abgerufen werden können.

Benötigtes Equipment

Zwei Smartphones mit der App *PhyPhox*, Computer mit Tabellenkalkulationssoftware, Feder oder Gummiband

Experimentelle Fähigkeiten im Fokus

Planung eines Experiments, Datenerhebung und -analyse, Abschätzung und Berechnung von Unsicherheiten

Aufgabenbeschreibung

Interferenz von Schallwellen

1. Entwerfen Sie gemeinsam als Gruppe ein Experiment, in dem Sie nach Positionen im Raum suchen, an denen lokale destruktive Interferenzen von Schallwellen auftreten. Verwenden Sie dazu den *PhyPhox* „Tongenerator“ als Klangquelle.

Hinweis: Wenn Sie mit *PhyPhox* einen Ton erzeugen möchten, dessen Frequenz Sie zuvor manuell eingegeben haben, müssen Sie vor dem Abspielen zunächst auf „OK“ klicken!

Versuchen Sie, Bedingungen zu finden (Quellpositionen, Frequenz, Lautstärke, ...), unter denen es einfach ist, Minima zu finden. Finden Sie etwa 10 Minima und machen Sie ein Gruppenfoto mit Studierenden, die an diesen Positionen stehen. Diskutieren Sie die Bedingungen und Einschränkungen Ihres Experiments.

Frequenzspektrum verschiedener Klänge

Aus den Daten des zeitlichen Verlaufs der Amplitude der Schallwelle können wir durch Anwendung der Fourier-Transformation ein Frequenzspektrum erhalten, das uns zeigt, wie viele einzelne Frequenzen in diesem Klang dargestellt sind.

2. Nehmen Sie mit „Audio Spektrum“ Töne auf, die von einer Stimmgabel, zwei Musikinstrumenten, die die gleiche Note spielen (z. B. C3, C4 (mittleres C), A4 usw.) und zerkleinertem Papier erzeugt werden. Bei jeder Aufnahme machen Sie zunächst einen Screenshot des Amplitude-Zeit-Graphen (*A-t*-Diagramm) im Rohdatenabschnitt und

exportieren dann die Spektrum-Daten in eine Excel-Tabelle. Versuchen Sie während der Aufnahme so viele externe Effekte wie möglich zu eliminieren.

- a. Beschreiben und vergleichen Sie die A - t -Graphen für jede Aufnahme. Welche Unterschiede können Sie zwischen ihnen feststellen?
- b. Erstellen Sie in Excel ein Diagramm des Frequenzspektrums für jeden Ton, den Sie aufgenommen haben (Sie können Teile des Spektrums entfernen, die für Ihre Analyse nicht relevant sind). Bestimmen Sie für jeden aufgezeichneten Ton die Grundfrequenz und schätzen Sie dessen Unsicherheit.

Hinweis: Die Unsicherheit der Frequenz hängt mit der Breite eines Peaks zusammen, um den er im Frequenzspektrum angezeigt wird. Sie kann als die Hälfte der Breite des Gipfels geschätzt werden. Oft sind die Peaks nicht symmetrisch, so dass zur Abschätzung der Frequenzunsicherheit zunächst geschätzt werden muss, wie weit der Mittelpunkt des Peaks von seinen beiden Rändern entfernt ist. Nehmen Sie die größere dieser beiden Entfernungen für die Unsicherheit. Um die Unsicherheit in Excel zu schätzen empfiehlt es sich, den Graph als ein *Punktplot mit glatten Linien und Markierungen* darstellen zu lassen. Wenn Sie den Cursor auf einen markierten Punkt im Diagramm halten, werden die Koordinaten dieses Punktes auf dem Bildschirm angezeigt. Runden Sie die Unsicherheit auf eine signifikante Stelle ab.

- c. Bestimmen Sie höhere Oberschwingungen, wo es möglich ist. Analysieren und beschreiben Sie die Beziehung zwischen der Grundfrequenz und höheren Oberschwingungen. Welche Ähnlichkeiten und/oder Unterschiede fallen Ihnen zwischen den Klängen derselben Note auf, die von verschiedenen Instrumenten gespielt werden?
3. Nehmen Sie mit „Audiospektrum“ unter dem Tab Rohdaten sich selbst und dann einen Kommilitonen/eine Kommilitonin auf, während Sie zwei verschiedene Vokale sagen. Welche Ähnlichkeiten und Unterschiede fallen Ihnen auf?

Der Doppler-Effekt

Wenn sich der Sender und der Empfänger einer Welle relativ aufeinander zubewegen oder voneinander entfernen, registriert der Empfänger eine andere Wellenfrequenz f_E als die Frequenz f_S , die der Sender aussendet. Diese Frequenzverschiebung wird als Dopplerverschiebung bezeichnet und kann mit der folgenden Gleichung ausgedrückt werden:

$$f_E = f_S \frac{v \pm v_E}{v \mp v_S} \quad (1)$$

Dabei ist die Geschwindigkeit v der Wellenausbreitung im Medium, v_E ist die Geschwindigkeit des Beobachters und v_S die Geschwindigkeit des Senders. Die oberen Vorzeichen (Kombination von Plus und Minus) werden verwendet, wenn sich Quelle und Beobachter nähern, und die unteren Vorzeichen, wenn sie sich voneinander entfernen.

Der Dopplereffekt ist ein Phänomen, das Wellen im Allgemeinen charakterisiert. In dieser Aufgabe untersuchen Sie den Dopplereffekt mit Ultraschallwellen.

4. Befestigen Sie ein Telefon an einer vertikalen Feder (oder einem Gummiband), sodass das Smartphone mit verschiedenen Amplituden oszillieren kann. Platzieren Sie ein zweites Telefon in der Schwingungsebene des ersten Telefons. Sie verwenden das erste Telefon als beweglichen Sender, der einen Ton mit konstanter Frequenz emittiert, und das andere Telefon als Frequenzdetektor.

Hinweis: Denken Sie darüber nach, wo sich das Mikrofon und der Lautsprecher an den beiden Telefonen befinden und welcher Aufbau am besten geeignet ist, um Daten über die erkannte Frequenz zu sammeln und zu analysieren.

- a. Skizzieren Sie, wie das *f-t-Diagramm* für die Frequenzen aussehen soll, die das Empfängertelefon misst, während das Sendertelefon oszilliert.
- b. Lassen Sie einen Frequenzton von 18 oder 19 kHz von dem Telefon aussenden, das an der Feder befestigt ist. Versuchen Sie, eine möglichst eindimensionale Schwingung zu erzeugen. Messanweisungen finden Sie in den Hinweisen unterhalb der Aufgabe. Exportieren Sie die gesammelten *f-t-Daten* nach Excel. Wiederholen Sie die Messung für zwei weitere Schwingungsamplituden. Sie müssen nicht die Amplituden der Smartphone-Schwingungen messen, sondern lediglich notieren, welche Messung der höchsten und welche der niedrigsten Amplitude entspricht.
 1. **Hinweis:** Sie können den zeitlichen Verlauf der Frequenz mit dem „Audio Spektrum“ messen. Wenn Sie zum Reiter „Verlauf“ gehen, wird Ihnen ein Frequenzspitze-Zeit-Diagramm angezeigt. Wenn Sie auf dieses Diagramm tippen, können Sie die Schaltfläche „Mehr Werkzeuge“ auswählen. Dort finden Sie die Option „Diesen Datensatz exportieren“, wo Sie dann die *f-t-Daten* als „Excel“-Datei exportieren können.
 2. **Hinweis:** Bevor Sie mit jeder Messung beginnen, müssen Sie in den Einstellungen **8 192** als Anzahl der Messwerte auswählen. Unsere Telefone sind so begrenzt, dass, wenn eine große Anzahl von Frequenzen in kurzer Zeit gesammelt und analysiert werden müssen, die Auflösung dieser Frequenzen niedrig ist. Andererseits benötigt das Telefon mehr Zeit, um die Daten zu analysieren, wenn eine hohe Auflösung gewählt wird, sodass mit hoher Wahrscheinlichkeit einige wichtige Frequenzen während der Messung übersprungen werden. Wir wählen also die mittlere Anzahl an Messwerten als bestes Verhältnis von Auflösung und Messrate. Überlegen Sie, wie lange Ihre Messung dauern sollte, um die besten Ergebnisse zu erzielen.
- c. Erstellen Sie für jede Messung ein Frequenz-Zeit-Diagramm in Excel. Sie können dabei auch Teile des Diagramms ausschließen, wenn diese für Ihre Analyse nicht relevant sind. Stimmen die Graphen mit Ihren Vorhersagen überein?
5. Bestimmen Sie die maximale Frequenz f_{max} und die minimale Frequenz f_{min} für jede Amplitude. In welcher Position und unter welchen Bedingungen während der Schwingung

werden diese Frequenzen gemessen? Falls alle lokalen Minima und Maxima in Ihrem Diagramm nicht gleich sind: Was könnte der Grund dafür sein?

6. Leiten Sie den Ausdruck für die Geschwindigkeit des Telefons in der Gleichgewichtsposition her, indem Sie Gleichung (1) und f_{max} oder f_{min} verwenden.
7. Berechnen Sie die Geschwindigkeit (und die damit verbundene Unsicherheit) des Telefons in der Gleichgewichtsposition für drei verschiedene Amplituden. Nehmen Sie die Schallgeschwindigkeit in der Luft bei einer Temperatur von 20°C als $v = 343 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ an. Entsprechen Ihre Ergebnisse Ihren Erwartungen?

Anmerkung: Berechnen Sie die Unsicherheit der Geschwindigkeit des Telefons als kombinierte Standardunsicherheit der indirekten Messung. Die Unsicherheit der Schallgeschwindigkeit in der Luft und der emittierten Frequenz ist wesentlich kleiner als die Unsicherheit der minimalen und maximalen Frequenz, so dass diese Größen als Konstanten betrachtet werden können. Bestimmen Sie die Unsicherheit der detektierten Frequenz aus der Auflösung des Messgerätes, die 6 Hz beträgt.

Zusatzaufgabe:

Wählen Sie eine Amplitude, für die Sie die Geschwindigkeit des Telefons in der Gleichgewichtsposition bestimmen, wenn das oszillierende Telefon Frequenzen empfängt und das stationäre Telefon den Ton aussendet. Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem Ergebnis, das Sie erhalten, wenn das oszillierende Telefon der Sender ist. Diskutieren Sie Ihre Ergebnisse.

Bewertung

Sie können Ihre Antworten direkt in dieses Dokument hineinschreiben.

Beachten Sie: Schreiben Sie alle Ergebnisse und alle aus diesen Ergebnissen folgenden Schlussfolgerungen auf. Vergessen Sie nicht, die Graphen hinzuzufügen, die Ihre Ergebnisse darstellen. Diskutieren Sie die Limitationen jedes Experiments und beschreiben Sie, sofern zutreffend, die Schwierigkeiten, die bei Ihnen aufgetreten sind.