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

Akustik-Experimente

Version für Lehrende

20.2.2023



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

Akustische Experimente – Version für Lehrende

Aufgabenübersicht

* Thematik: Akustik, Interferenz, Frequenzspektrum, Dopplereffekt
* Zielgruppe: Physik-Lehramtsstudierende und Studierende mit Physik als Nebenfach z.B. Medizinstudierende.
* Zeitrahmen: 2,5 Stunden für die Durchführung der Aufgabe und das Verfassen des Berichts.
* Es wird empfohlen, paarweise zu arbeiten.

Ziel dieser Aufgabe ist es, die Studierenden an verschiedene akustische Phänomene heranzuführen und ihnen Anregungen zu geben, wie sie experimentell gezeigt werden können. Die Aufgabe gliedert sich in drei Teile. Im ersten Teil untersuchen die Studierenden die Interferenz von Schallwellen, im zweiten Teil das Frequenzspektrum verschiedener Klänge und im dritten Teil den Dopplereffekt.

Benötigte Ausrüstung

* Zwei Smartphones mit installiertem *PhyPhox* (verfügbar für *Android-* und *Apple-*Geräte)
* Computer mit Datenanalysesoftware (z.B. *Excel*)
* Elastische Feder mit niedriger Federkonstante
* Halterung für die Feder
* Ggf. weitere Schallquellen, z.B. Stimmgabeln, Musikinstrumente, etc. (oder alternativ Youtube-Videos)

Die elastische Feder sollte ausreichend lang gewählt werden, damit das an der Feder befestigte Smartphone mit mehreren verschiedenen Amplituden schwingen kann. Es wird nicht empfohlen, Federn mit einer hohen Federkonstante zu verwenden, da die Studierenden ihre Smartphones beschädigen könnten. Stellen Sie sicher, dass die Studierenden ihre Smartphones ausreichend sicher angebracht haben, bevor sie mit der Durchführung des Experiments beginnen. In unserem Labor benutzten einige der Studierenden ein Loch zum Aufladen an der Handyhülle, um das Handy an der Feder zu befestigen. Andere banden ihr Smartphone mit einer Schnur an die Feder.

Die Aufgabe kann leicht an ein Fernunterrichtsszenario angepasst werden. Die Studierenden können anstelle einer Feder ebenfalls ein elastisches Band verwenden.

Vorbereitung vor dem Versuch

Bevor mit dem Versuch begonnen wird, sollten die Studierenden *PhyPhox* auf ihren Smartphones installieren und damit verschiedene Geräusche aufzeichnen. Es wird den Studierenden von Nutzen sein, herauszufinden, welche Arten von Daten sie von der App erhalten können.

Teil Eins – Interferenz von Schall

Die Studierenden können mit ihrem Gehör oder mit der *PhyPhox-*App nach lokalen Minima suchen. Wir empfehlen, zuerst mit dem Gehör zu suchen, woraufhin die Studierenden ihre Beobachtungen mit Messdaten aus der App vergleichen können.

Während dieser Aufgabe können Sie den Studierenden mit den folgenden Fragen Orientierung geben:

1. Woran haben Sie sich orientiert, als Sie die Bedingungen (Quellenposition, Lautstärke, Frequenz) ausgewählt haben, unter denen Sie das Experiment durchführen möchten?
2. Unter welchen Ihrer ausprobierten Bedingungen war es am einfachsten, Interferenzminima zu hören? Versuchen Sie zu erklären, warum.

Wenn sich die Studierenden in einem Physiklehramtsstudium befinden, können Sie sie fragen, wie sie dieses Experiment im Klassenzimmer mit ihren Schülern und Schülerinnen durchführen würden.

***Erfahrungen aus unserem Praktikum***

Die Studierenden platzierten die Schallquellen auf Höhe der Ohren und erzeugten zwei gleiche Töne. Es war einfacher, die Minima für höhere Frequenzen (über 2 000 Hz) zu erkennen. Wir fanden die Erklärung, dass das menschliche Ohr am empfindlichsten auf den Frequenzbereich von etwa 2 000 Hz bis 5 000 Hz reagiert. Die Studierenden diskutierten auch, dass sehr hochfrequente Töne nicht für Experimente im Klassenzimmer geeignet wären, weil sie vor allem über einen längeren Zeitraum störend sind.

Zweiter Teil – Frequenzspektrum verschiedener Klänge

In diesem Teil der Aufgabe müssen die Studierenden mit *PhyPhox* den Klang einer Stimmgabel, den Klang eines Musikinstruments, welches eine bestimmte Note spielt, dann den Klang eines anderen Musikinstruments, das dieselbe Note spielt, und schließlich den Klang von Knitterpapier aufnehmen. Da den Studierenden möglicherweise keine Musikinstrumente zur Verfügung stehen, können sie dazu angehalten werden, Videos der gespielten Noten auf YouTube zu suchen. Aufgenommene Geräusche werden dann inder *PhyPhox-*App und *Excel* (oder einer anderen Datenanalysesoftware) analysiert.

Während der Aufgabe können Sie den Studierenden eine Anleitung in Form der folgenden Fragen geben:

1. Welche Unterschiede und Ähnlichkeiten haben Sie zwischen den $A-t$ (Amplitude-Zeit) Graphen der verschiedenen Klänge gefunden?
2. Welchen Teil des Frequenzspektrums werden Sie für Ihre Analyse verwenden?
3. Für welche Klänge konnten Sie den Grundton und die Obertöne bestimmen?
4. Wie haben Sie das Verhältnis zwischen dem Grundton und den Obertönen gefunden?
5. Welche Ähnlichkeiten und Unterschiede haben Sie zwischen den gleichen Noten bemerkt, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt wurden?
6. Wie erklären Sie, warum die gleiche Note, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt wird, nicht gleich klingt?

***Datenerhebung und -analyse***

*PhyPhox* im Audio-Spektrum-Modus sammelt alle Daten, die die Studierenden benötigen, um diesen Aufgabenteil durchzuführen. Die Diagramme von der Amplitude über der Zeit können direkt in der App analysiert werden.

Abbildung 2. A-t-Diagramm; Gitarre Note C4 – periodische Funktion

Abbildung 1. A-t-Diagramm; Stimmgabel – sinusförmige Funktion

Die Studierenden sollen die Daten des Frequenzspektrums auf einen Computer exportieren und in *Excel* (oder einer anderen Datenanalysesoftware) analysieren, da es nicht möglich ist, quantitative Analysen in der App durchzuführen. Die Studierenden können die Frequenzspektren der verschiedenen Klänge als Diagramm aufzeichnen, indem sie den Aufgabenanweisungen folgen.

*Abbildung 3. Frequenzspektrum der C4-Note, die auf einem Klavier gespielt wird.*

*Abbildung 4. Frequenzspektrum der C4-Note, die auf* *einer Gitarre gespielt wird.*

***Aus unserem Labor***

Die Studierenden einigten sich auf eine Aufnahmereihenfolge, damit die Geräusche einer Gruppe nicht die Aufnahmen einer anderen Gruppe stört. Die Studierenden selbst sollten daran denken, zu versuchen, die Hintergrundgeräusche zu reduzieren. Wenn es notwendig ist, sollten Sie die Studierenden davor warnen.

Einige der Studierenden hatten Schwierigkeiten zu bestimmen, welchen Teil des Spektrums sie aus der Analyse entfernen sollten. Die Anzeige aller möglichen Frequenzen in der Grafik führt zu einer schlechten Visualisierung des Experiments, so dass den Studierenden geraten wird, Frequenzen zu eliminieren, die für ihre Analyse nicht relevant sind. Einige der Studierenden haben jedoch auch einen Teil des Spektrums entfernt, in dem Obertöne auftreten. Besprechen Sie mit Ihren Studierenden, wie bestimmt worden ist, welchen Teil des Spektrums sie aus ihrer Analyse entfernen können. Bei der Aufgabenauswertung wiesen viele Studierende darauf hin, dass sie nicht wüssten, warum die gleichen Noten, die auf verschiedenen Instrumenten gespielt werden, unterschiedlich klingen und dass diese Analyse für sie besonders interessant war.

Einige Studierende hatten Schwierigkeiten, die Unsicherheit der Grundfrequenz abzuschätzen. Obwohl die Anweisungen das Verfahren im Detail erklären, schätzten mehrere Studierende die Unsicherheit auf die Hälfte der Höhe des Maximums statt auf die Hälfte der Breite des Maximums.

Die Studierenden hatten Spaß während der Aufgabe, in der sie sich selbst und einen Kommilitonen aufnahmen, der 2 verschiedene Vokale sagte. Zu dieser Aufgabe kann erwähnt werden, dass Logopäden manchmal eine Visualisierung der Schallwellen der menschlichen Sprache verwenden, um den Menschen zu helfen, ihren Fortschritt in der Aussprache zu visualisieren.

Dritter Teil – Doppler-Effekt

In diesem Teil der Aufgabe senden die Studierenden einen hochfrequenten Ton von einem harmonisch schwingenden Smartphone aus und nehmen die Informationen über die Frequenz mit einem anderen stationären Smartphone auf. In dem Experiment wird die Ultraschall-Frequenz verwendet, da die Doppler-Frequenzverschiebung proportional zum Wert der emittierten Frequenz ist. Wenn die emittierte Frequenz y hoch ist, ist der Unterschied zwischen der emittierten und der detektierten Frequenz y auch dann spürbar, wenn sich die Schallquelle langsam bewegt. Darüber hinaus hören die Studierenden keine abgegebenen Geräusche, die irritieren können, insbesondere wenn mehrere Gruppen von Studierenden die Aufgabe gleichzeitig ausführen. Auf der anderen Seite wird es nicht empfohlen, Frequenzen größer als 20 kHz zu verwenden, da die Smartphones nicht in der Lage sind, diese angemessen zu übertragen.

Während der Aufgabe können Sie den Studierenden eine Anleitung in Form der folgenden Fragen geben:

1. Wie haben Sie Ihre Smartphones in diesem Experiment positioniert? Warum?
2. Wie soll das $f-t-$Diagramm für die erfassten Frequenzen aussehen? Erläutern Sie Ihre Erwartungen.
3. Wie haben Sie den Frequenzbereich ausgewählt, den Sie in dem Diagramm dargestellt haben? In welchem Frequenzbereich erwarten Sie, die detektierten Frequenzen zu finden?
4. In welcher Position befindet sich das als Quelle genutzte Smartphone, wenn die aufgenommene Frequenz maximal ist, und in welcher Position, wenn sie minimal ist? In welcher Position befindet sich das Smartphone, wenn es keinen Unterschied zwischen den emittierten und deteketierten Frequenzen gibt?
5. Wie können Sie den Doppler-Effekt nutzen, um die Geschwindigkeit Ihres Telefons in der Gleichgewichtsposition zu bestimmen?
6. Wenn nicht alle lokalen Minima/Maxima der detektierten Frequenz gleich sind, was könnte der Grund dafür sein?
7. Was sind die Grenzen dieses Experiments?

***Datenerhebung und -analyse***

Die Studierenden sollten ihre Smartphones so platzieren, dass die Lautsprecher und Mikrofone beider Telefone einander gegenüberliegen. Die Schwingungen des Telefons sollten so eindimensional wie möglich sein. Die *PhyPhox-*App im Audio-Spektrum-Modus sammelt alle Daten, die die Studierenden benötigen, um diesen Teil der Aufgabe auszuführen. Bevor die Studierenden mit den Messungen beginnen, ist es wichtig, dass sie die Methode der Datenverarbeitung in *PhyPhox* gemäß den Aufgabenanweisungen wählen. Die Messanweisungen werden ausführlich erklärt und es ist wichtig, dass die Studierenden sie sorgfältig lesen, bevor sie mit dem Experiment beginnen.

Abbildung 5. Ein Beispiel für ein Diagramm der aufgenommenen Frequenz gegenüber der Zeit für zwei verschiedene Amplituden der Telefonschwingung.

***Aus unserem Labor***

Die Studierenden haben das $f-t-$Diagramm erfolgreich vorhergesagt, aber sie hatten erneut Probleme mit der Anzeige der gesammelten Daten in einem Diagramm.  *PhyPhox* (in dem in der Anleitung beschriebenen Arbeitsmodus) sammelt zu jeder Zeit nur die Frequenz der höchsten Intensität, die in diesem Experiment die von dem als Quelle genutzten Smartphone emittierte Frequenz sein sollte. Die meisten Studierenden nahmen jedoch auch einige der viel niedrigeren Hintergrundgeräuschfrequenzen in ihren Messungen auf. In diesem Fall erhalten die Studierenden, wenn sie alle gesammelten Daten grafisch darstellen, eine Grafik (Beispiel; Abbildung 6), die eine schlechte Visualisierung dessen darstellt, was im Experiment passiert. Aus einer solchen Grafik schlossen die Studierenden entweder, dass sie das Experiment falsch durchgeführt hatten, oder, dass der Versuchsaufbau nicht funktionierte. Die Erfassung tieferer Frequenzen erfolgte meist zu Beginn oder am Ende der Messung, ist aber an jedem Teil der Messung möglich.

*Abbildung 6. Ein Beispiel für die* $f-t$ *Grafik, aus der die aufgenommenen niedrigen Frequenzen nicht entfernt wurden.*

Es galt mit den Studierenden zu diskutieren, in welchem Frequenzbereich detektierte Frequenzen realistisch sind, warum niedrigere Frequenzen gemessen wurden, und warum diese bei der Datenanalyse entfernt werden müssen. Während diese Schwierigkeit durch die Reduzierung der Hintergrundgeräusche vermieden werden kann, halten wir es für nützlich, mit den Studierenden zu diskutieren, unter welchen Umständen einige Daten aus der Datenanalyse entfernt werden können.

Die Studierenden selbst diskutierten, wie Schwingungen in mehr als einer Dimension die Geschwindigkeit des Telefons in der Gleichgewichtsposition beeinflussen können. Deswegen und aufgrund der Einschränkungen des Telefons als Messinstrument kamen sie zu dem Schluss, dass die aufgenommenen Minima und Maxima nicht gleich sind.

Ein signifikanter Teil der Studierenden las die Messanweisungen vor der Durchführung des Experiments nicht sorgfältig durch, so dass sie erst im zweiten oder dritten Versuch erfolgreich Daten sammelten. Raten Sie den Studierenden, die Anweisungen sorgfältig zu lesen.

Dokumentation

Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen schreiben ihre Antworten direkt in das Aufgabendokument und schicken das Word/PDF-Dokument an die Kursleitung. Die Studierenden müssen daran erinnert werden, alle Ergebnisse und Grafiken beizufügen und ihre Beobachtungen, Erklärungen und Schlussfolgerungen aufzuschreiben, wenn sie darum gebeten werden.