

SCHOOL-SCOUT.DE

Unterrichtsmaterialien in digitaler und in gedruckter Form

Auszug aus:

Mechanik: Stehende Wellen mit Boomwhackers

Das komplette Material finden Sie hier:

[School-Scout.de](https://www.school-scout.de)



ILA.24

Mechanik

Stehende Wellen mit Boomwhackers

Dr. Kerstin Kuchta



Mit Boomwhackern, Klangröhren aus der musikalischen Früherziehung, werden viele interessante bereits-Erfahrungen im Musikunterricht genutzt. In dieser Einheit soll für Einsteiger die stehende Welle und die Berechnung von Eigenfrequenzen bei stehenden Wellen zu verstehen. Dabei lernen die App Phytex zum Einsatz und das Animationsprogramm PHET, um Messungen durchzuführen und die Thematik anschaulich zu verorten.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe: 8th-11th
Dauer: 60 Minuten
Kompetenzen: 1. Entblätterung von Wellenpaketen können 2. Eigenfrequenzen berechnen können 3. Messung mit Phytex durchführen 4. Verschiedenen auswerten können 5. Proportionalität zwischen Länge beschreiben können
Thematische Bereiche: Wellen und Schwingungen, Zusammenhang Wellenlänge und Frequenz, Interferenzphänomene
Medien: Arbeitsblätter, Diagramme, digitales Endgerät (Smartphone oder Tablet), Internet, Boomwhacker 2-Sätze à 8 Röhren

II.A.24

Mechanik

Stehende Wellen mit Boomwhackers

Dr. Kerstin Reinecke



© RAABE 2024

© Foto: lamiga/iStock/Getty Images Plus

Mit Boomwhackers, Klangröhren aus der musikalischen Früherziehung, werden viele Jugendliche bereits Erfahrungen im Musikunterricht gemacht haben. In dieser Einheit hilft ihr Einsatz die stehende Welle und die Berechnung von Eigenfrequenzen bei stehenden Wellen zu erarbeiten. Daneben kommt die App Phyphox zum Einsatz und das Animationsprogramm PhET, um Messungen durchzuführen und die Thematik anschaulich zu erarbeiten.

KOMPETENZPROFIL

Klassenstufe:	Sek. II
Dauer:	6 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 2)
Kompetenzen:	1. Entstehung stehender Wellen beschreiben können; 2. Eigenfrequenzen berechnen können; 3. Messung mit Phyphox durchführen; 4. Versuchsdaten auswerten können; 5. Proportionale Zusammenhänge beschreiben können
Thematische Bereiche:	Wellen und Schwingungen, Zusammenhang Wellenlänge und Frequenz, Interferenzphänomene
Medien:	Arbeitsblätter, Diagramme, digitales Endgerät (Smartphone oder Tablet), Internet, Boomwhackers 2 Sätze à 8 Röhren

Didaktisch-methodische Hinweise

Die stehende Welle

Kenntnisse über Schwingungen und Wellen bilden das Fundament, um die in den Curricula verschiedener Bundesländer festgelegten Themen Atom, Kern- und Quantenphysik für die Lernenden verständlich unterrichten zu können.

Stehende Wellen können in verschiedenen Systemen auftreten. Ein Beispiel für eine stehende Welle eignet sich auch für den Einstieg in das Thema Wellen. Kenntnisse über Frequenz und Geschwindigkeit der Welle sind schnell vermittelt, um dann die Entstehung der stehenden Welle nachvollziehen zu können. Zentrales Ziel ist die Herleitung der Formel für die Eigenfrequenz bei zwei gleichen und zwei unterschiedlichen Enden.

Anstatt wie häufig üblich zunächst die Eigenschaften von Wellen und die Reflexion von Wellen an festen und losen Enden zu betrachten, wird in dieser Einheit von einem hörbaren Phänomen ausgegangen, der stehenden Welle in einer Klangröhre. Dies fördert die Motivation der Lernenden, da mithilfe einer leicht durchzuführenden Frequenzmessung schnell der Zusammenhang zwischen Röhrenlänge und Frequenz gefunden ist. Auch wird erfahrbar, dass die in Schwingung versetzte Luftsäule für den Ton verantwortlich ist.

Arbeiten mit Phyphox

In dieser Einheit verbindet sich die Sinneswahrnehmung, das Hören, mit der Messung der Frequenz mithilfe der App Phyphox. Beim Anschlagen der unterschiedlichen Klangröhren können die Lernenden den Zusammenhang zwischen der Länge der Röhre und der Tonhöhe wahrnehmen. Die Nutzung der App Phyphox ist der nächste Schritt, um von dieser Sinnesebene zu einer Messung zu gelangen. Diese App der RWTH Aachen ist ein wunderbares Werkzeug für den Unterricht. Die vorhandenen Sensoren der digitalen Endgeräte werden genutzt, um Versuche mit Audio, aber auch Bewegungen oder Druck durchführen zu können. Dabei ist sie kostenlos, ohne Werbung und die Lernenden haben nach kurzer Zeit die Handhabung im Griff. Auch im Hinblick auf den weiteren Einsatz im Unterricht ist die Einführung von Phyphox sinnvoll, so können damit auch magnetische Felder und Bewegungen vermessen werden. Phyphox kann mit Arduino verbunden werden oder es kann eine Programmierung mit Python erfolgen (siehe dazu Literaturhinweise).

Die Eigenfrequenzen der Klangröhren

Eine der großen didaktischen Klippen ist allerdings, dass es sich bei den Wellen in der Luftsäule um Longitudinalwellen (Längswellen) und nicht wie bei der als Modell eingesetzten Seilwelle um Transversalwellen (Querwellen) handelt.

Die Frequenzbestimmung mit den Boomwhackers führt nicht nur zu einer Formel, sie zeigt auf, dass die Frequenz von der Länge der Röhre abhängt. Durch den Zusammenhang von Frequenz und Wellenlänge können die Lernenden entdecken, dass die Wellenlänge von der Länge der Röhre abhängt. Den Grund dafür sollen die Lernenden im nächsten Schritt herausarbeiten: Die Schülerinnen und Schüler können die Röhren mit einem Ton der entsprechenden Frequenz zur Resonanz bringen, um die Formel zu überprüfen. Dies führt zu einer verbesserten Verknüpfung der Erkenntnis zwischen dem Zusammenhang von Frequenz und Länge. Und führt so auch zur Erklärung, warum die Röhre durch das Anschlagen den entsprechenden Ton von sich gibt. Durch das Anschlagen wird die Luftsäule mit allen möglichen Frequenzen angeregt, aber nur die Eigenfrequenz führt zur Resonanz und somit zur stehenden Welle.

Das Kundt'sche Rohr macht die Vorgänge in der Röhre sichtbar. Der Korkstaub bzw. die Styroporkügelchen zeigen die stehende Welle, wenn die Eigenfrequenz der Röhre getroffen wird. Auch können nun Obertöne thematisiert und damit die Vielfachen der Eigenfrequenz demonstriert werden. Die Entstehung der stehenden Welle durch Interferenz der hin- und rücklaufenden Welle wird in der App PhET zur Animation von stehenden Wellen genutzt. Die Lernenden können hier die Wellenmaschine simulieren und die Reflexion der Welle bei festem und losem Ende beobachten. Die Entstehung der stehenden Welle kann verfolgt und die Lage von Wellenknoten und Wellenbäuchen bestimmt werden.

Die stehende Welle bei zwei unterschiedlichen Enden

Die stehende Welle bei unterschiedlichen Enden wird durch das Aufsetzen der „Caps“ auf die Boomwhacker experimentell herbeigeführt. Die Schüler messen wieder die Frequenzen und können nun die Formel für ein offenes und ein geschlossenes Ende aufstellen. Wieder stimmt der Wert für die Schallgeschwindigkeit c in Luft bei etwa 20° und 1 bar Druck nicht mit dem Literaturwert überein. Dies wird als Überleitung zu Material **M 8** genutzt, um noch die Reflexion der Welle am offenen Ende zu untersuchen (ein Ende des Boomwhackers bleibt weiterhin offen, auch mit den Caps). Bei offenen Enden werden die Schallwellen aus der Röhre geschoben. Der größere Druck der Wellenpakete trifft auf den niedrigeren Druck der Außenluft und expandiert nach allen Seiten. Ein Unterdruck entsteht am offenen Ende der Röhre, diese Unterdruckstörung wandert in die Röhre zurück und überlagert sich mit dem entgegenkommenden Schall. Daraus folgend liegt der Beginn des Rücklaufs etwas außerhalb der Röhre. Die Hersteller verkürzen die Röhre, um die für den Ton korrekte Frequenz zu erhalten.

Vorschläge für Ihre Unterrichtsgestaltung

Der Boomwhacker erzeugt auf denkbar einfache Weise einen Klang. Mit dem Werkzeug Phyphox ist eine Möglichkeit geschaffen, ohne großen technischen oder finanziellen Aufwand die Frequenz des Klangs der einzelnen Röhre schnell zu bestimmen. Phyphox ist für den Anwender übersichtlich gestaltet und kostenlos sowie werbefrei.

Für einen motivierenden Einstieg bietet sich neben dem Versuch die Tonleiter oder eine Melodie mit den Boomwhackers zu spielen, das Vorführen von Videos mit orchestraler Umsetzung der Klangröhren an (siehe Links in der Mediathek). Material **M 1** leitet eine erste Untersuchung der Boomwhacker an.

Dann erarbeiten sich die Lernenden mithilfe von Material **M 2** und **M 3** selbstständig den Zusammenhang und die Formel für die Eigenfrequenz bei zwei gleichen Enden. Dazu müssen proportionale und antiproportionale Zusammenhänge bekannt sein.

Das arbeitsteilige Arbeiten ermöglicht es, die gesamte Tonleiter in kurzer Zeit durchmessen zu lassen. Je nach Gruppengröße kann in Einzel- oder Partnerarbeit die Bestimmung der Frequenz erfolgen. Bei größeren Gruppen ist ein zweiter Tonleitersatz Klangröhren sinnvoll. Die Messungen der gleichtönenden Röhren können in der Sammelphase gemittelt werden. Die Partnerarbeit ist erfahrungsgemäß sinnvoll, da dann eine Person die Röhre anschlagen kann, während die zweite Person Phyphox bedient. Dadurch ist eine Aktivierung aller Lernenden zu erzielen, da jeder eine Aufgabe hat.

Die Formel für die Frequenz der stehenden Welle wird aus dem proportionalen Zusammenhang zwischen Frequenz des Tons und Länge des Boomwhackers ermittelt. Die Geschwindigkeit des Schalls steckt in der gefundenen Konstanten.

Die Lernenden werden feststellen, dass die von ihnen ermittelte Schallgeschwindigkeit nicht dem Literaturwert für Luft bei Standardbedingungen entspricht. Die Auflösung zu dieser Diskrepanz erfolgt am Ende der Unterrichtseinheit.

Nach der Ermittlung der Formel zur Eigenfrequenz erfolgt in den Materialien **M 4** bis **M 6** die Vermittlung der Entstehung der stehenden Welle und ihrer Eigenschaften. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten eigenständig, indem Video- und Online-Ressourcen (PhET: Interaktive Simulationen für Wissenschaft und Mathematik) genutzt werden.

Um die Formel der Eigenfrequenz für zwei unterschiedliche Enden einzuführen, werden wieder die Klangröhren genutzt (Material **M 7**). Damit wird auch der erste Teil der Einheit wieder aufgegriffen und die Lernenden können nach dem bereits einmal gegangenen Weg in **M 1** bis **M 3** die Auswertung durchführen und die Erkenntnisse festigen.

Material **M 8** bietet die Möglichkeit, die Diskrepanz zwischen dem Literaturwert der Schallgeschwindigkeit und der in den Versuchen errechneten Schallgeschwindigkeit zu erklären. Dies ist aber optional.

Abgerundet wird die Einheit durch eine Schülerpräsentation der gefundenen Ergebnisse. Dazu findet sich in **M 9** eine Methodenkarte mit Stichpunkten zu einer gelungenen Präsentation und eine Aufgabenstellung.

Voraussetzungen in der Lerngruppe

Voraussetzung für diese Unterrichtsreihe sollte ein bereits vorhandenes Grundverständnis der Phänomene Schwingungen und Wellen sein. Die Grundbegriffe, die in dieser Einheit verwendet werden, wie z. B. „Oszillator“ usw., sollten bereits definiert bzw. eingeführt worden sein und der Unterschied zwischen Schwingungen und Wellen sollte ebenfalls bekannt sein.

Weiterführende Medien

Lehrwerke

- ▶ Tipler, Paul A.; Mosca, G.: Physik – Für Wissenschaftler und Ingenieure. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg 2003. S. 464–476, S. 482, 483, S. 502–517.
Ein Physiklehrwerk für Studierende im Bachelor mit Nebenfach Physik. Sehr übersichtliche Darstellung der Themen mit vielen Anwendungsbeispielen und Aufgaben, auch mit Lösungen.
- ▶ Bader, Franz u. a.: Physik 11/12. Schroedel. Braunschweig 2010. S. 116–139.
Der Klassiker unter den Oberstufen-Physikbüchern mit allen notwendigen Informationen zu den Themen übersichtlich dargestellt.

Zeitschriften

- ▶ Stampfer, Christoph u. a.: Das Labor im Miniformat. Physik Journal (2023) (8/9), S. 75–78.
Der vielfältige Einsatz und die Erweiterungsmöglichkeiten von Phyphox werden beschrieben.

Internetadressen

- ▶ www.youtube.com/watch?v=5i0_SGV4J3w
In diesem Video werden die Boomwhackers als Instrumente für Popmusik eingesetzt (Bohemian Rhapsody).
- ▶ www.youtube.com/watch?v=BI36X0XnKWo
In diesem Video werden die Boomwhackers als Orchesterinstrumente eingesetzt (Nussknacker-Suite).
- ▶ <https://phet.colorado.edu/de/simulations/wave-on-a-string>
Hier findet sich die Animation zur stehenden Welle von PhET.
- ▶ www.boomtreff.de/2-einfache-kinderlieder-fuer-boomwhackers-in-c-dur/
Diese Website bietet eine große Auswahl an Noten für Boomwhacker. Dabei gibt es sehr unterschiedliche Schwierigkeitsgrade.
- ▶ <https://www.youtube.com/watch?v=rV-HvcjjCU4>
Ein Video des Kundt'schen Rohrs mit Styroporkügelchen anstelle des Korkmehls.

[Letzter Abruf der Internetadressen: 28.02.2024]

Auf einen Blick

Ab = Arbeitsblatt, Tx = Infotext, LEK = Lernerfolgskontrolle, Sv = Schülerversuch

1.–2. Stunde

Thema:	Klangerzeugung mit den Boomwhackers
M 1 (Ab, Sv)	Hast du Töne!? – Boomwhackers
Benötigt:	<input type="checkbox"/> Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers) <input type="checkbox"/> Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)
M 2 (Ab, Sv)	Boomwhackers – Messen mit der App „Phyphox“
Benötigt:	<input type="checkbox"/> Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)
M 3 (Ab, Sv)	Auswertung der gemessenen Frequenzen
Benötigt:	<input type="checkbox"/> Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers) <input type="checkbox"/> Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)

3.–4. Stunde

Thema:	Die Entstehung der stehenden Welle
M 4 (Ab)	Frequenz und Wellenlänge der Welle
M 5 (Ab)	Die stehende Welle im Versuch
M 6 (Ab)	Die Entstehung der stehenden Welle

5.–6. Stunde

Thema:	Stehende Wellen bei unterschiedlichen Enden, Obertönen
M 7 (Sv)	Frequenz bei einem geschlossenen und einem offenen Ende
Benötigt:	<input type="checkbox"/> Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers) <input type="checkbox"/> Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)
M 8 (Ab)	Warum ist der Boomwhacker zu kurz?
M 9 (LEK)	Präsentation der Ergebnisse – Methodenkarte

Minimalplan

Kern dieser Unterrichtseinheit ist das Erstellen der Formeln für die Frequenzen bei gleichen bzw. unterschiedlichen Enden der Rohre. Daher können bei Zeitmangel auch nur die Materialien **M 1–M 3** bearbeitet und die Veränderung beim Aufsetzen der Caps beobachtet werden. Die Formel für zwei unterschiedliche Enden kann dann in einem Unterrichtsgespräch eingeführt werden. Die Aufgabe zur Entstehung der stehenden Welle kann verkürzt werden auf die Darstellung der Grundschwingung oder Oberschwingungen in Material **M 6**. Die Erläuterung zur Diskrepanz zwischen errechneter Schallgeschwindigkeit und dem Literaturwert in **M 8** ist optional.

