

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



**netzwerk
lernen**

zur Vollversion

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 durchzuführen 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.

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.

VORSCHAU

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: Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers)
 Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)

M 2 (Ab, Sv) **Boomwhackers – Messen mit der App „Phyphox“**

Benötigt: Digitales Endgerät (Tablet oder Smartphone)

M 3 (Ab, Sv) **Auswertung der gemessenen Frequenzen**

Benötigt: Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers)
 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: Ein oder zwei Sätze Klangröhren (Boomwhackers)
 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.

VORSCHAU

M 1



Hast du Töne!? – Boomwhackers

Aufgabe

Boomwhackers sind ein Gute-Laune-Instrument der musikalischen Früherziehung. Vielleicht kennen einige von Ihnen die knallbunten Röhren noch daher.



Foto links: Kerstin Reinecke, Foto rechts: South_agency/E+



Versuch 1: Töne erzeugen

Schlagen Sie den Boomwhacker gegen eine Tischkante. **Beschreiben** Sie Ihren Höreindruck.



Versuch 2: Eine weitere Methode zur Tonerzeugung

Pusten Sie vorsichtig über die offene Kante hinweg. **Beschreiben** Sie Ihren Höreindruck.

Auswertung: Tonhöhe des Boomwhackers

Jeder Boomwhacker erzeugt einen Ton der Tonleiter. **Notieren** Sie eine Vermutung darüber, wovon die Tonhöhe der Boomwhackers abhängt.

Boomwhackers – Messen mit der App „Phyphox“

M 2

Aufgaben

Mit der App „Phyphox“ besitzen Sie ein interessantes und vielfältiges Werkzeug, um Ihr Telefon oder Tablet als Messgerät einzusetzen. Die Phyphox-App wurde an der RWTH Aachen entwickelt und kann kostenfrei heruntergeladen werden. Sie werden mit der Phyphox-App die Frequenz des Boomwhackers bestimmen.

1. **Installieren** Sie Phyphox auf Ihrem Tablet oder Smartphone.
2. **Öffnen** Sie die App.
Sie sehen folgendes Menü.



Screenshot phyphox: Kerstin Reinecke

3. Im Bereich Akustik können Sie zunächst die „Audio Autokorrelation“ ausprobieren. Arbeiten Sie in Partnerarbeit.

6. Ermitteln Sie einen funktionalen Zusammenhang zwischen Länge und Frequenz, indem Sie die Werte in einem Längen-Frequenz-Diagramm gegeneinander auftragen.

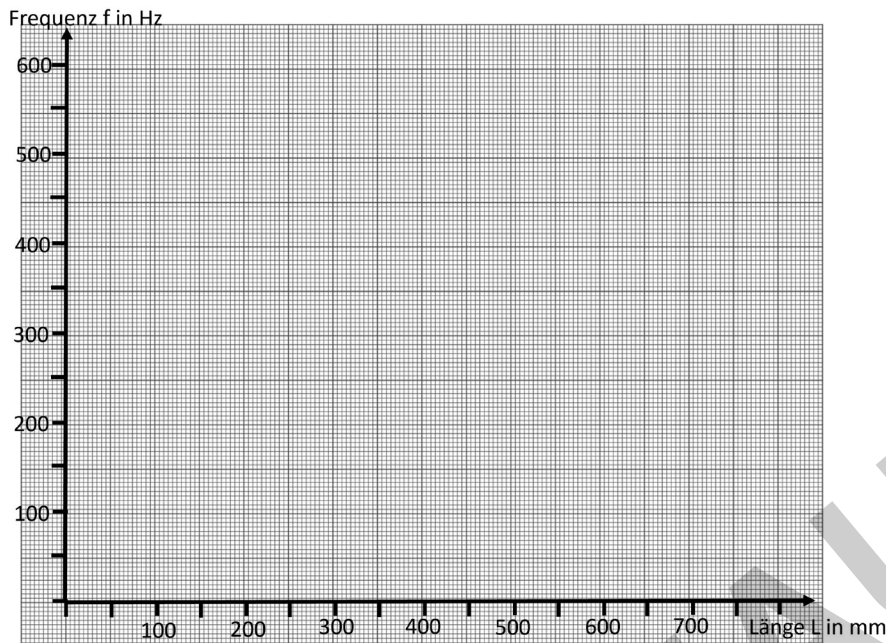


Abbildung: Kerstin Reinecke

7. Für die Formel haben Sie eine Konstante ermittelt. **Notieren** Sie die Konstante mit den korrekten Einheiten: _____

Recherchieren Sie den Wert der Schallgeschwindigkeit in Luft: _____

Vergleichen Sie diese Konstante mit der Schallgeschwindigkeit in Luft.

8. Frequenz und Geschwindigkeit einer Welle sind über den Zusammenhang $c = f \cdot \lambda$ miteinander verbunden.

Leiten Sie mit diesem Zusammenhang und der in f) erhaltenen Formel nun eine Formel **her**, die die Wellenlänge der stehenden Welle im Boomwhacker bestimmt.

Sie haben die Formel zur Berechnung der Frequenz bzw. Wellenlänge einer stehenden Welle in einer Röhre mit zwei offenen Enden ermittelt. Diese Formel lässt sich auch auf eine Seite mit zwei festen Enden anwenden. Im nächsten Schritt soll die Entstehung der stehenden Welle betrachtet werden.

Frequenz und Wellenlänge der Welle

„Mach mal nicht so eine Welle!“, den Ausspruch hat sicher jeder schon mal gehört. Aber wie macht man eigentlich eine Welle. Da gibt es die Wasserwellen, aber auch die „La-Ola“-Welle im Stadion.

Aufgaben

1. **Recherchieren** Sie die Begriffe Wellenlänge, Amplitude, Periodendauer und Frequenz in Ihrem Lehrbuch oder online (z. B. bei www.leifiphysik.de).
2. **Zeichnen** Sie an der Welle die Wellenlänge und Amplitude ein.

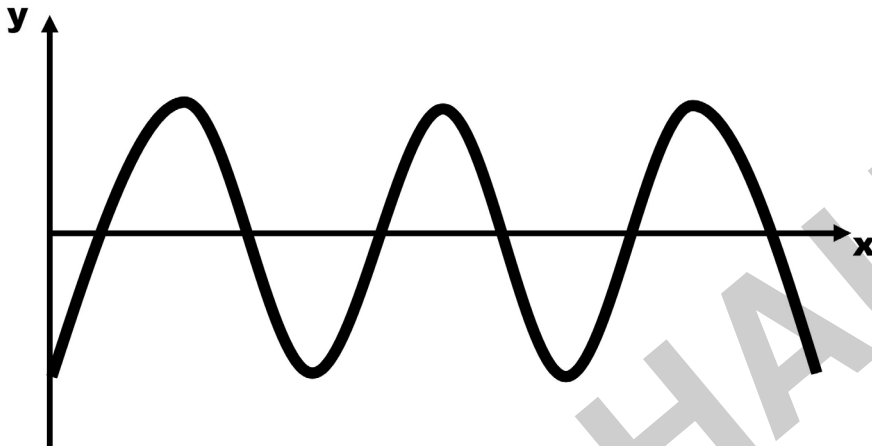


Abbildung: Kerstin Reinecke

3. Eine Welle ist die Weitergabe einer Schwingung bzw. Störung. Und diese Weitergabe ist durch einen Weg festgelegt, den die Schwingung zurücklegt, und eine Zeit, in der sie dies tut. Auch Energie wird übertragen. Die Welle besitzt eine Ausbreitungsgeschwindigkeit. **Notieren** Sie die Definitionen für Geschwindigkeit, Schnelle und Phase einer Welle.
4. **Geben** Sie Beispiele aus dem Alltag für eine Welle. **Benennen** Sie dabei die Oszillatoren.

5. **Erläutern** Sie in eigenen Worten, was bei einer Welle geschieht.

M 4

