

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 Phyxox zum Einsatz und das Animationsprogramm PhET, um Messungen durchzuführen und die Theorie anschaulich zu erarbeiten.

KOMPETENZPROFIL

Klassensstufe: Physik II

Dauer: 6 Unterrichtsstunden (Minimalplan: 2)

Kompetenzen: 1. Entstehung stehender Wellen beschreiben können; 2. Eigenfrequenzen berechnen können; 3. Messung mit Phyxox 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

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 in die offene Kante hinein. **Beschreiben** Sie Ihren Höreindruck.

Auswertung: Tonhöhe des Boomwhackers

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

M 3



Auswertung der gemessenen Frequenzen

Im Arbeitsblatt „Arbeit mit Phyphox“ haben Sie gelernt, die Frequenz eines Boomwhackers mit Phyphox zu bestimmen. Nun folgt die Auswertung der gemessenen Frequenzen in Bezug auf die Längen der Klangröhren.

Aufgaben

1. **Tragen** Sie die Notenwerte und die gemessenen Frequenzen aller Gruppen **zusammen**.

Notenwert des Boomwhackers	Gemessene Frequenz in Hz	Literaturwert in Hz	Länge der Boomwhackers in m	Länge der Boomwhackers in m · Hz
C4				
D4				
E4				
F4				
G4				
A4				
H4				
C5				

2. **Recherchieren** Sie die zu den Notenwerten zugehörigen Frequenzwerte und **tragen** Sie diese in die entsprechende Spalte der Tabelle ein.
3. **Vergleichen** Sie die Literaturwerte mit Ihren gemessenen Frequenzen.

Tragen Sie nun die Längen der Röhren in Millimetern und **tragen** Sie diese Werte in die entsprechende Spalte der Tabelle ein.

5. **Beschreiben** Sie, welcher Zusammenhang zwischen Frequenz und Länge der Röhre zu erkennen ist.

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

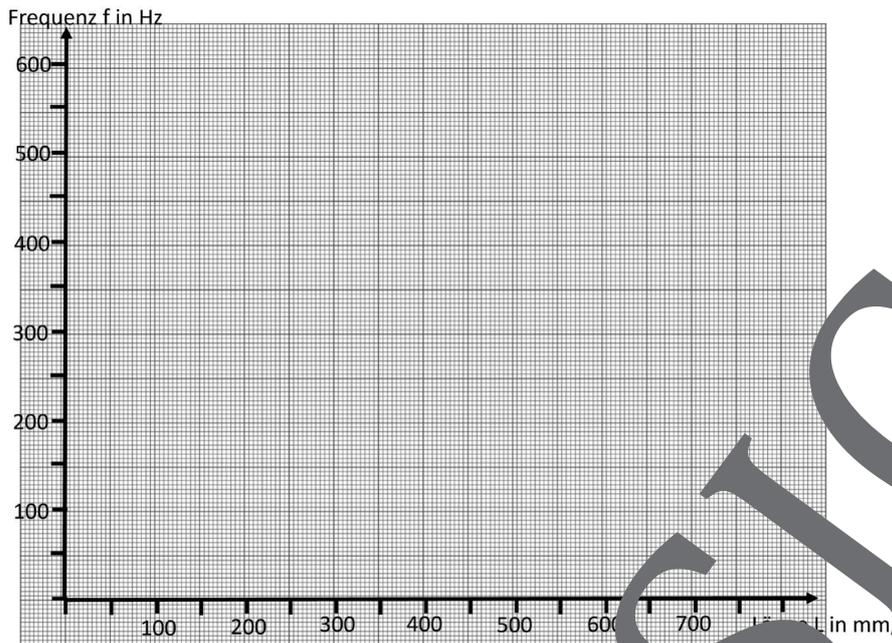


Abbildung: Kerstin Reinecke

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.

M 5



Die stehende Welle im Versuch

Schülerversuch

Nun nutzen Sie Phyphox als Tongenerator. Diese Anwendung finden Sie unter „Akustik“.



Screenshot: Kerstin Reinecke

Stellen Sie 440 Hz als Frequenz ein. Wählen Sie eine mittlere Lautstärke. Halten Sie den Lautsprecher des Telefons oder Tablets an den A4-Boomwhacker.

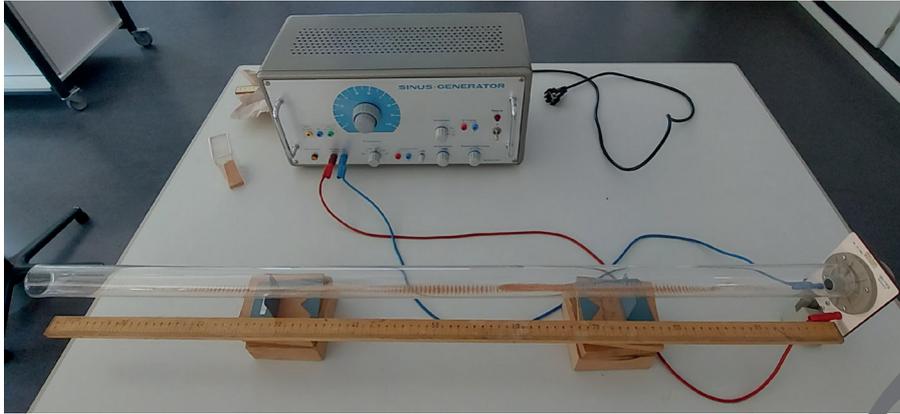
Notieren Sie Ihre Beobachtung.

Stellen Sie auch 800 Hz und 1320 Hz ein und halten Sie den Lautsprecher wieder an den A4-Boomwhacker.

Notieren Sie Ihre Beobachtung.

Das Kundt'sche Rohr

Eine Möglichkeit, die Vorgänge im Inneren des Boomwhackers sichtbar zu machen, ist das Kundt'sche Rohr. Dazu wird Korkmehl in ein Glasrohr gegeben und in einer dünnen Schicht gleichmäßig verteilt. Ein Lautsprecher, der mit einem Sinusgenerator verbunden ist, wird vor die eine Öffnung des Rohrs mittig aufgestellt. Das andere Ende des Rohrs bleibt offen oder wird mit einem Stopfen verschlossen.



Abbildungen: Kerstin Reinecke

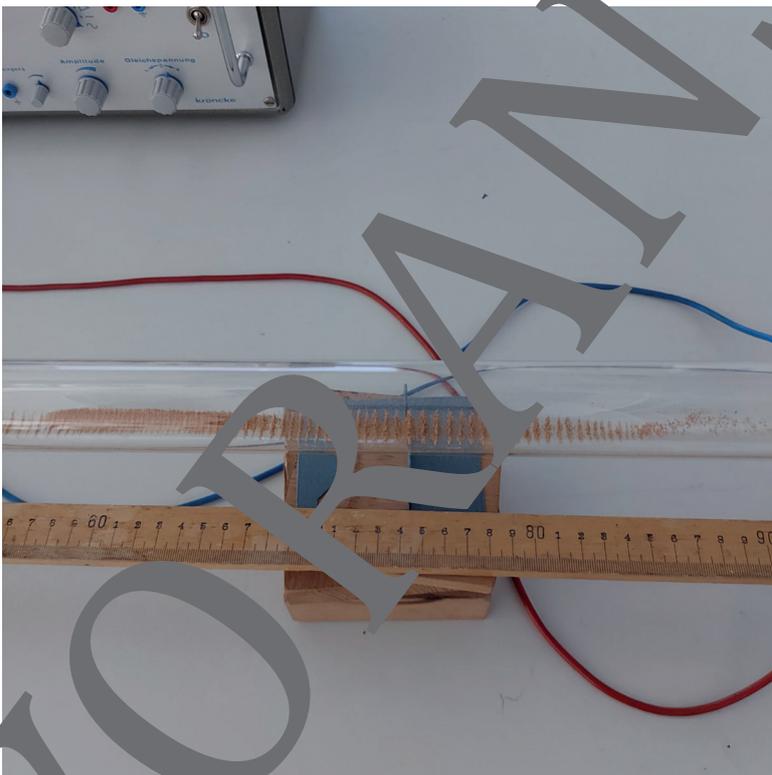
Das Video zeigt das Verhalten von Styroporkügelchen in einem solchen Kundt'schen Rohr:

<https://raabe.click/physik/boomhackers-01>



Aufgaben

1. **Bestimmen** Sie aus den Abbildungen die Wellenlänge der stehenden Wellen im Kundt'schen Rohr.



2. **Bestimmen** Sie mithilfe der in Material M 3 erhaltenen Formel die verwendete Frequenz des Longitudinalschalls. **Verwenden** Sie den Literaturwert der Schallgeschwindigkeit bei Standardbedingungen.

3. **Recherchieren** Sie die Entstehung der „Rippel“, die sich innerhalb der Wellenbäuche erkennen lassen.

M 6



Die Entstehung der stehenden Welle

Treffen Wellen aufeinander, so überlagern sich die Bewegungen der Oszillatoren. Die Auslenkung der Oszillatoren addieren sich dabei. Bei der Überlagerung von zwei Wellenbergen oder zwei Wellentälern steckt in dieser Überlagerung dann nur die Elongationsenergie, keine Bewegungsenergie mehr. Die Oszillatoren sind in diesem Moment an ihrer größten Auslenkung. Diese Elongationsenergie wird aber wieder an die Oszillatoren zu beiden Seiten hin abgegeben, die dann wieder sowohl Elongationsenergie als auch Bewegungsenergie besitzen. Bei der Überlagerung von Wellenberg und Wellental besitzen die Oszillatoren maximale Bewegungsenergie, besitzt aber keine Elongationsenergie mehr vor. Diese Bewegungsenergie wird auch wieder zu beiden Seiten hin abgegeben, die Schwinger links und rechts haben dann wieder Bewegungs- und Elongationsenergie.

Die Überlagerung gleichartiger Wellen bezeichnet man als **Interferenz**. Wie die sich ergebende Welle aussieht, hängt von der Verschiebung der sich überlagernden Wellen ab, also vom Phasenunterschied. Diesen Wegunterschied nennt man Gangunterschied.

Bei der Überlagerung kann es zu zwei besonderen Fällen von Interferenz kommen: der konstruktiven und der destruktiven Interferenz.

Konstruktive Interferenz

Der Gangunterschied ist ein ganzzahliges Vielfache der Wellenlänge.

$$\delta = k \cdot \lambda$$

Destruktive Interferenz

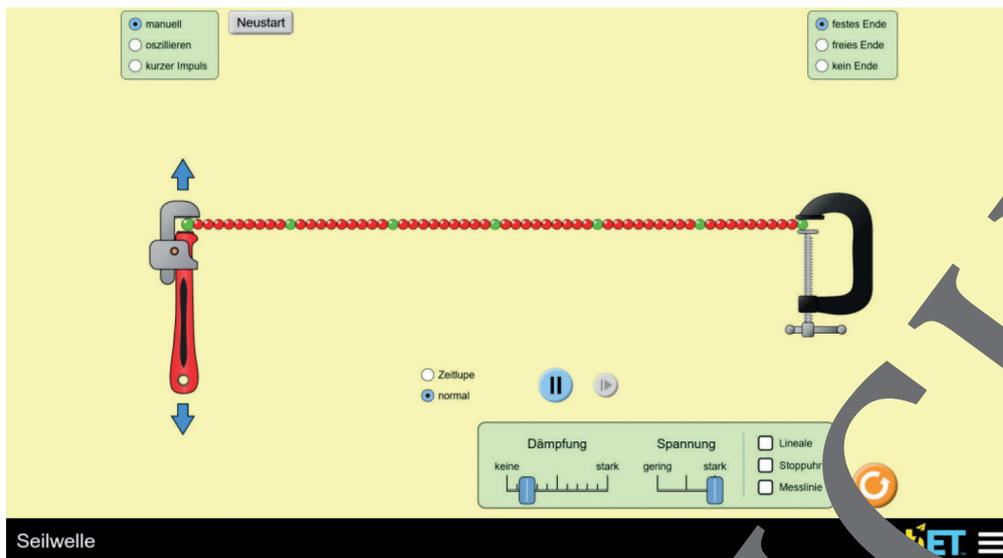
Der Gangunterschied ist eine halbe Wellenlänge oder ungerade Vielfache der Wellenlänge.

$$\delta = (2 \cdot k - 1) \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Aufgaben

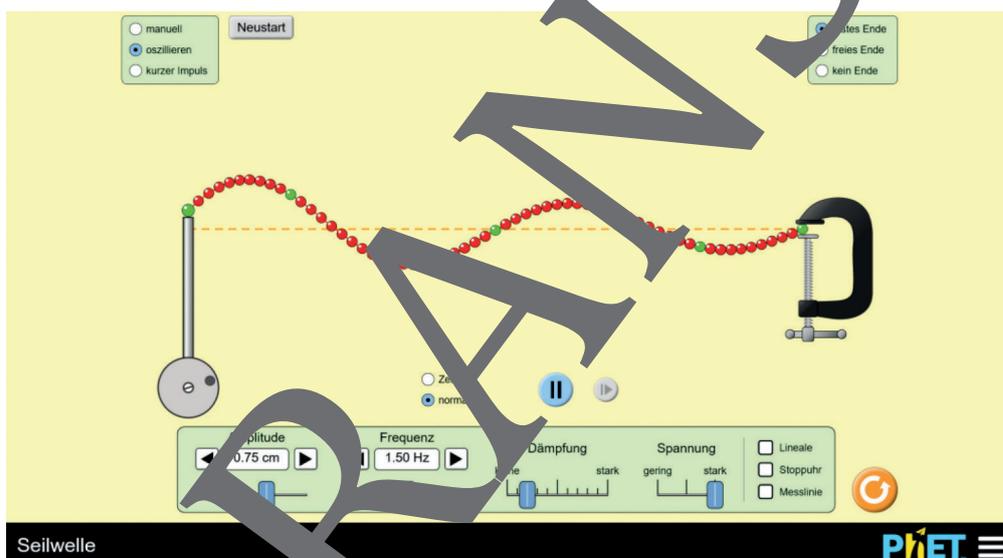
1. **Öffnen** Sie die Animation: <http://raabitsck/physik/boomwhackers-02>
2. **Starten** Sie die Animation durch das Klicken auf die „Play“-Taste. Sie sehen zunächst die Seilwelle zum Quellenbewegen mit festem Ende. **Erzeugen** Sie durch Auf- und Abbewegen der Rohrwange eine Welle. **Notieren** Sie Ihre Beobachtung, vor allem an der Schraubzwinge.





Screenshot: Kerstin Reinecke

3. **Stellen** Sie die Animation nun auf freies Ende ein. Erzeugen Sie wieder eine Welle. Notieren Sie nun Ihre Beobachtung an der Schraubzwinge.
4. **Klicken** Sie nun im Kasten links oben „oszillieren“ an. Notieren Sie Ihre Beobachtungen.



Screenshot: Kerstin Reinecke

5. **Verstellen** Sie nun die Frequenz am Schieberegler unten. **Notieren** Sie Ihre Beobachtungen für unterschiedliche Frequenzen.
6. **Verstellen** Sie den Schieberegler, bis Sie eine stehende Welle finden. **Notieren** Sie den Wert der Frequenz. Versuchen Sie weitere Frequenzen zu finden, bei denen Sie eine stehende Welle sehen, und **notieren** Sie diese Frequenzen.

Frequenz bei einem geschlossenen und einem offenen Ende

M 7



Versuch 1: Töne erzeugen

Setzen Sie die schwarzen Kappen auf ein Ende der Boomwhackers. Schlagen Sie die Röhre an eine Tischkante. Beschreiben Sie Ihren Höreindruck.

Aufgaben

1. Tragen Sie nun die Notenwerte und die gemessenen Frequenzen aller Gruppen zusammen in die Tabelle ein.

Notenwert des Boomwhackers	Gemessene Frequenz in Hz	Literaturwert in Hz	Länge des Boomwhackers in m	Wellenlänge λ in m	Frequenz f in Hz
C4					
D4					
E4					
F4					
G4					
A4					
H4					
C5					

2. Recherchieren Sie die zu den Notenwerten zugehörigen Frequenzwerte und tragen diese in die entsprechende Spalte der Tabelle ein.
3. Vergleichen Sie die Literaturwerte mit Ihren gemessenen Frequenzen.

4. Messen Sie die Längen der Röhren in Millimetern und tragen diese Werte in die entsprechende Spalte der Tabelle ein.
5. Beschreiben Sie, welcher Zusammenhang zwischen Frequenz und Länge der Röhre zu erkennen ist.

Mehr Materialien für Ihren Unterricht mit RAAbits Online

Unterricht abwechslungsreicher, aktueller sowie nach Lehrplan gestalten – und dabei Zeit sparen.
Fertig ausgearbeitet für über 20 verschiedene Fächer, von der Grundschule bis zum Abitur: Mit RAAbits Online stehen redaktionell geprüfte, hochwertige Materialien zur Verfügung, die sofort einsetz- und editierbar sind.

- ✓ Zugriff auf bis zu **400 Unterrichtseinheiten** pro Fach
- ✓ Didaktisch-methodisch und **fachlich geprüfte Unterrichtseinheiten**
- ✓ Materialien als **PDF oder Word** herunterladen und individuell anpassen
- ✓ Interaktive und multimediale Lerneinheiten
- ✓ Fortlaufend **neues Material** zu aktuellen Themen



Testen Sie RAAbits Online
14 Tage lang kostenlos!

www.raabits.de

