

Schallwellen bei der Panflöte

Eine Panflöte besteht aus einer Reihe von Bambusröhrchen, die verschiedene Längen besitzen (Material 1). Um eine Panflöte selbst zu bauen, schneidet man Bambusrohr auf die entsprechende Länge zu. Die Röhrchen werden von unten mit Wachs verschlossen und zusammengebunden.

Im Folgenden soll für die Schallgeschwindigkeit $c_s = 340 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ verwendet werden.

Aufgaben

- 1 Zunächst soll unabhängig von dem Instrument eine Schallwelle mit einer Frequenz von $f = 264 \text{ Hz}$ betrachtet werden.
 - 1.1 Entscheiden und begründen Sie, ob es sich bei Schallwellen in Luft um Longitudinalwellen oder Transversalwellen handelt.
(2 BE)
 - 1.2 Berechnen Sie die Schwingungsdauer T und die Wellenlänge λ der Schallwelle.
(4 BE)
 - 1.3 Skizzieren Sie für eine Schallwelle, die sich in x -Richtung mit der oben angegebenen Frequenz ausbreitet, ein x -Elongations-Diagramm über zwei Wellenlängen für den Zeitpunkt $t = 2T$ und ein dazu passendes t -Elongations-Diagramm am Ort $x = 0 \text{ m}$ über zwei Schwingungsperioden. Zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ ist am Ort $x = 0 \text{ m}$ die Elongation 0 m . Die Amplitude kann frei gewählt werden.
Zeichnen Sie – sofern möglich – in den Diagrammen die Größen Wellenlänge, Schwingungsdauer und Amplitude ein.
(6 BE)
- 2 Durch „Anblasen“ der einzelnen Röhrchen der Panflöte entsteht ein Ton, da die Luftmoleküle im Röhrchen zu Schwingungen angeregt werden und sich eine stehende Welle mit einem festen und einem losen Ende (Schwingungsknoten und Schwingungsbauch) ausbildet. An einem Ende befindet sich ein Schwingungsknoten, am anderen Ende ein Schwingungsbauch. Darüber hinaus gibt es bei der Grundschwingung keine Knoten und keine Bäuche. Allgemein gilt für die stehende Welle, dass der Abstand zweier benachbarter Schwingungsknoten zueinander $\frac{\lambda}{2}$ beträgt. Dies gilt in gleicher Weise für den Abstand zweier benachbarter Schwingungsbäuche zueinander.
 - 2.1 Skizzieren Sie die Grundschwingung der stehenden Welle und erläutern Sie Ihre Skizze.
(4 BE)
 - 2.2 Erläutern Sie, wie ein einzelnes Rohr einer Panflöte gestimmt, d. h. die Frequenz eingestellt werden kann.
(2 BE)

**Physik
Grundkurs****Thema und Aufgabenstellung
Vorschlag B2**

- 2.3 Der Grundton c' hat eine Frequenz von $f = 264$ Hz. Berechnen Sie unter Verwendung von Material 2 die innere Länge des Röhrchens für eine Quarte sowie für eine Quinte zu diesem Grundton.
(6 BE)
- 2.4 Durch kräftigeres „Anblasen“ (Überblasen) des Röhrchens für den Ton c' können verschiedene höhere Töne erzeugt werden, die sogenannten Obertöne. Die innere Länge des Röhrchens beträgt $l = 0,322$ m.
Erklären Sie das Zustandekommen von Obertönen und bestimmen Sie die Frequenz des ersten Obertons.
(6 BE)
- 2.5 Die Ausbreitungsgeschwindigkeit c von Schall in Luft ist von der Temperatur abhängig. Für die Schallgeschwindigkeit in trockener Luft bei einer Temperatur ϑ (gemessen in $^{\circ}\text{C}$) gilt der Zusammenhang $c = \sqrt{402,52 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot (273^{\circ}\text{C} + \vartheta)}$.
Damit auch bei veränderter Temperatur die Frequenz und damit die Tonhöhe eines Tons konstant bleibt, muss die Länge des Röhrchens durch Verschieben des Wackskügelchens angepasst werden.
Bestimmen Sie die prozentuale Veränderung der Frequenz, wenn sich die Temperatur von 23°C auf -10°C verringert. Dabei soll eine Längenänderung des Röhrchens durch die Temperaturänderung nicht berücksichtigt werden.
Zeigen Sie, dass die prozentuale Veränderung der Tonhöhe unabhängig von der Länge des Röhrchens ist.
(6 BE)
- 3 Zwei Schallquellen (S_1 und S_2) erzeugen im Abstand von $d = 1$ m den Ton c'' mit $f = 528$ Hz (Material 3). Ein Mikrofon wird dabei entlang der in Material 3 gezeichneten gestrichelten Linie in $a = 1,4$ m an den Schallquellen vorbei bewegt. Nehmen Sie an, dass die von den Schallquellen erzeugten Schallwellen gleichphasig sind.
- 3.1 Erläutern Sie unter Verwendung des Begriffs Gangunterschied, warum mit dem Mikrofon entlang seines Weges Schwankungen in der Lautstärke registriert werden können.
(4 BE)
- 3.2 Untersuchen Sie, ob an der Stelle P ein Maximum oder ein Minimum der Lautstärke vorliegt.
(5 BE)
- 3.3 Das Mikrofon wird entlang der gestrichelten Linie sehr weit nach links bewegt. Begründen Sie, dass der Gangunterschied näherungsweise dem Abstand der Schallquellen entspricht. Der Abstand der Schallquellen entspricht dem maximalen Gangunterschied. Ermitteln Sie daraus die Anzahl der Maxima, die mit dem Mikrofon insgesamt theoretisch registriert werden können.
(5 BE)

Material 1**Panflöte**

URL: https://www.vivat.de/panflote/?__shop=1&nosto=nosto-category-segment-slider (abgerufen am 12.4.2021).

Material 2**Frequenzverhältnisse verschiedener Töne zum Grundton c'**

Ton	c'	d'	e'	f'	g'	a'	h'	c''
Tonschritt	Prim	gr. Sekunde	gr. Terz	Quarte	Quinte	gr. Sexte	gr. Septime	Oktave
Frequenz	$f_0 = 264 \text{ Hz}$	$\frac{9}{8} f_0$	$\frac{5}{4} f_0$	$\frac{4}{3} f_0$	$\frac{3}{2} f_0$	$\frac{5}{3} f_0$	$\frac{15}{8} f_0$	$2 \cdot f_0$

Material 3**Zwei Schallquellen (und ein Mikrofon auf einer Linie parallel dazu)**