

Die Orgel im Physikunterricht

Materialien für Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufen I & II

Instrument
des Jahres 2021
Orgel



Unterrichtseinheit Orgel

Klassenstufe: 7 bis 12

Fach: Physik, NaWi

Themen und Inhalte:

- Wie klingt welches Instrument?
- Die Orgel stellt sich vor!
- Der Ton macht die Musik
- Orgelpfeifen und wer sie hören kann.
- Wenn Töne ins Schwanken geraten.
- Woher kommt der Ton?
- Baue dein eigenes Pfeifenregister!
- Die Elbphilharmonie-Orgel: Eine der größten Orgeln der Welt (Ü)
- Jeder Ton braucht seine Zeit (Ü)

Zeitbedarf: 90 bis 120 min +



LANDESMUSIKRAT
BERLIN
musik für alle



Landesmusikrat
BADEN-WÜRTTEMBERG e.V.



Hinweise zur Durchführung

- Du benötigst ein Endgerät (Smartphone, Tablet, Laptop, PC) sowie Kopfhörer.
- Versuche alle Aufgabenstellungen der heutigen Stunde so weit es geht **selbstständig** (allein oder im Team) zu bearbeiten. Solltest du dennoch Schwierigkeiten haben, nutze die Hilfen!
- Nutzung der Hilfen: Die **Hilfen** sollten **nur genutzt werden**, wenn du **überhaupt nicht weiterkommst**. Wenn du die Hilfen nutzen musst, beginne immer mit Hilfe 1.
- Versuche die Aufgaben **in der vorgegeben Reihenfolge** zu bearbeiten, es sei denn deine Lehrerin oder dein Lehrer gibt eine andere Reihenfolge vor.
- Notiere deine **Ergebnisse auf einem Blatt Papier** oder in einem Text-Dokument (abspeichern nicht vergessen).
- Solltest du **schneller fertig** werden, dann kannst du die Aufgaben bearbeiten, die mit folgendem Symbol gekennzeichnet sind: 

Bearbeitung zu Hause:

Für die Nutzung aller Funktionen der PDF-Datei, muss das Dokument im Acrobat Reader oder in einer anderen Adobe Acrobat-Version geöffnet werden. Sollten die Buttons (Hilfe, Link etc.) nicht funktionieren, findest du eine Tabelle mit allen Links am Ende des Dokuments und QR-Codes direkt bei den Aufgaben.

Bearbeitung in der Klasse:

Für die Nutzung aller Funktionen der PDF-Datei, muss das Dokument im Acrobat Reader oder in einer anderen Adobe Acrobat-Version geöffnet werden. Sollten die Buttons (Hilfe, Link etc.) nicht funktionieren, findest du eine Tabelle mit allen Links am Ende des Dokuments und QR-Codes direkt bei den Aufgaben. Du findest die Hilfen auch am Tisch deiner Lehrerin oder deines Lehrers.

Farbkodierung:

- allgemeine Informationen 
- im Lernkontext ankommen, Vorstellungen entwickeln 
- neues Wissen erwerben; Lernprodukt anfertigen und diskutieren 
- üben und sicherer werden 

Symbole:

- Text 
- Hinweis 
- Endgerät (Smartphone, Tablet, Laptop, PC) benötigt 
- Aufgaben zur Vertiefung (für besonders Schnelle) 
- Lernprodukt anfertigen 



Aufgabe 1: Wie klingt welches Instrument?

Unter dem QR-Code oder folgendem Link findest du Klangbeispiele und Fotos von Musikinstrumenten:

- a) Ordne den Klangbeispielen die entsprechenden Bilder zu.
- b)  Benenne die Instrumente, die auf den Bildern zu sehen sind! Fertige dazu eine Liste an.

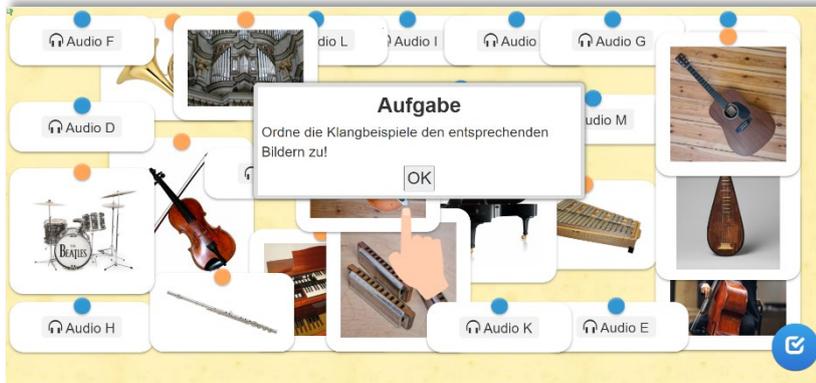


Abb. 1: Screenshot der Zuordnungsaufgabe



Du kannst deine Lösung überprüfen, indem du auf den blauen Button (mit dem weißen Häkchen) drückst, der rechts unten auf deinem Bildschirm zu sehen ist!



Aufgabe 2: Die Orgel stellt sich vor!

Unter dem QR-Code oder folgendem Link findest du ein Kreuzworträtsel zum Thema Orgel:
Löse es.

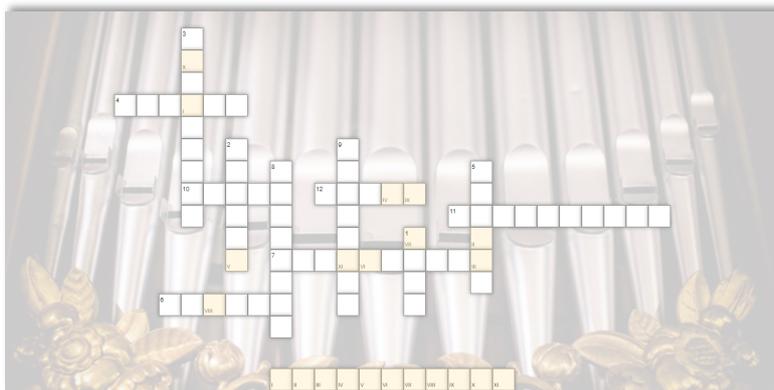


Abb. 2: Screenshot des Kreuzworträtsels

Lösungswort: _ _ _ _ _



Solltest du bisher noch nicht so viel über die Orgel wissen, dann lies vorher den Text (T1) durch und schaue dir das Video (V1) an:





T1

Die Orgel - Königin der Musikinstrumente!

Die Orgel zählt zu den größten Instrumenten, die es gibt. Manchmal ist sie so ‚klein‘ wie ein Klavier, z. B. wenn sie in kleineren Kirchen steht. Manchmal ist sie aber auch so groß wie ein mehrstöckiges Haus. Die größte spielbare Orgel der Welt steht in einem Kaufhaus in Philadelphia (USA). Ihre Aufbauten gehen über sieben Stockwerke und sie wiegt 287 Tonnen (siehe Abbildung 3).



Abb. 3: Wannamaker Orgel im Macy's Kaufhaus in Philadelphia

Eine Orgel wird über Tasten gespielt und die Töne werden erzeugt, sobald Luft durch die Orgelpfeifen strömt. Diese Luft nennt man Orgelwind oder einfach Wind. Er wird mit einem Blasebalg erzeugt. Früher musste man dazu hinter der Orgel mit den Füßen einen Blasebalg treten. Moderne und modernisierte Orgeln haben elektrische Windmaschinen.

Bedient wird die Orgel über einen Spieltisch (siehe Abbildung 4), der bei größeren Orgeln mehrere Tastaturen (sogenannte Manuale) besitzen kann, mit denen jeweils bestimmte Orgelpfeifen gespielt werden können. Zusätzlich gibt es noch Pedale. Durch das Drücken einer Taste oder eines Pedals, wird ein Ventil geöffnet, das den Wind in die jeweilige Pfeife lässt. Eine Orgel besitzt sehr viele Pfeifen. Pfeifen die ähnlich klingen, das heißt eine bestimmte ‚Klangfarbe‘ haben, nennt man Register. Die



Abb. 4: Hauptspieltisch im Passauer Stephansdom

Orgelspielerin oder der Orgelspieler kann über Knöpfe und Hebel am Spieltisch aussuchen, welche Register (also welche Pfeifen) gespielt werden sollen. So kann der Klang der Orgel ganz einfach verändert werden.



Abb. 5: Pfeifenreinigung in der Hamburger Elbphilharmonie

In Deutschland gibt es heute etwa 50.000 Orgeln, von denen sich die meisten in Kirchen oder Konzertsälen befinden. Seltener kommt es vor, dass man Orgeln in (alten) Kinos oder in Kaufhäusern findet.

Im Jahr 2017 hat die UNESCO die Tradition von Orgelbau und Orgelmusik sogar zum Kulturerbe der Menschheit erklärt. In Deutschland wurde die Orgel im Jahr 2021 zum Musikinstrument des Jahres erklärt. Neben den klassischen Pfeifenorgeln gibt es auch noch weitere Orgeltypen, wie die Drehorgel (Leierkasten), die Dampforgel, die Flaschenorgel, elektronische Orgeln (bspw. Hammond-Orgel oder Lichttonorgel) und viele weitere.

Text 1 vorlesen lassen:  

Aufgabe 3: Der Ton macht die Musik!

Orgelpfeifen können sehr groß aber auch winzig klein sein. Jede Pfeife kann genau einen Ton erzeugen. Für jede Tonhöhe gibt es deshalb eine entsprechende Pfeife. Die Zusammenhänge zwischen der Höhe des erzeugten Tons und der Länge einer Orgelpfeife werden in Text 2 näher beschrieben. In Abbildung 6 sind verschiedene Pfeifenlängen für verschiedene Tonhöhen (der Note c) dargestellt.

- In Abbildung 6 ist auch eine Person schematisch dargestellt. Die Durchschnittsgröße in Deutschland liegt bei 1,73 m (♂1,66 m, ♀1,80 m). Schätze ab, wie groß die abgebildeten Pfeifen sind.
- Das Fuß (engl. foot) ist eine Einheit, die heute nur noch selten in Gebrauch ist. Recherchiere den Wert für 1 Fuß (1 ft = 1') und berechne die Längen der Orgelpfeifen in Metern (Abb. 6).

Ein kurzer Ausflug in die Akustik

Die Bezeichnung eines Tons sagt noch nichts über seine tatsächliche Tonhöhe - also die Frequenz mit der die Luft in einer Orgelpfeife (hier: offene Labialpfeife) zum Schwingen angeregt wird - aus. So hat das 'große C' eine Frequenz (f) von 65,406 Hertz (Hz). Die dazu benötigte Pfeife hat eine Länge von 8 Fuß (8'). Die Pfeife für das 'kleine c' (130,813 Hz) hingegen hat eine Länge von 4 Fuß. Die Länge wird ab der Öffnung (Labium) - rote gestrichelte Linie - berechnet.

In der Abbildung rechts (Abb. 6) sind verschiedene Pfeifenlängen schematisch dargestellt. Darüber befinden sich 'ganze Noten' für verschiedene Tonhöhen - immer im Abstand einer Oktave. Über die Lautstärke gibt uns die Note jedoch keine Auskunft.

Wie laut eine Orgelpfeife einen Ton erzeugen kann, hängt von verschiedenen Faktoren bei der Konstruktion (z. B. Material und Form) und von der Luftströmung in der Orgel (Orgelwind) ab.

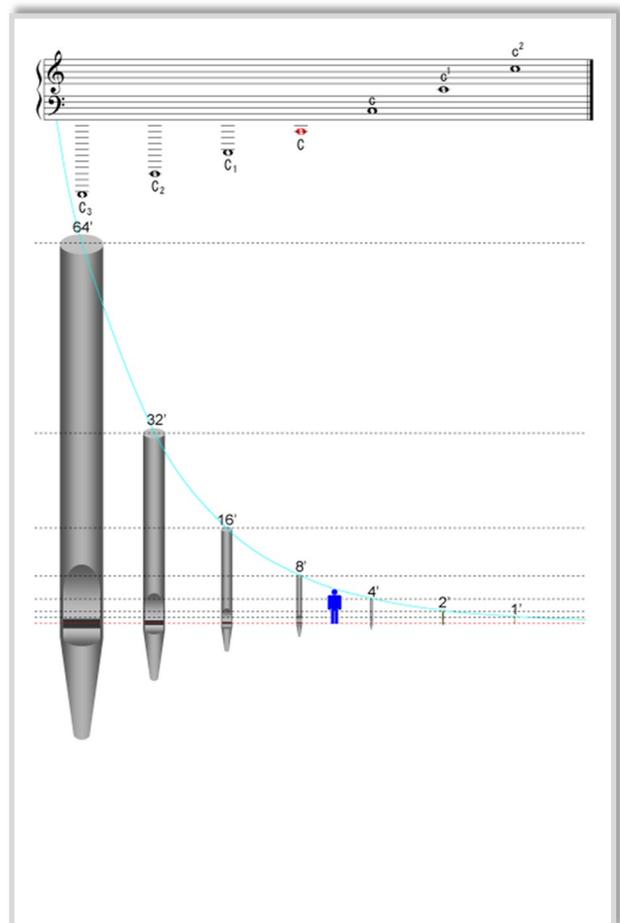


Abb. 6: Pfeifenlängen für die Note C in Fuß

- Welchen Zusammenhang erkennst du zwischen der Länge einer Orgelpfeife und ihrer Tonhöhe? Formuliere einen Merksatz.
- Berechne für jede dargestellte Orgelpfeife die entsprechende Frequenz.

Text 2 vorlesen lassen: 



T2

Aufgabe 4: Orgelpfeifen und wer sie hören kann.

Der Hörbereich von Menschen und Tieren ist sehr unterschiedlich. In Abbildung 7 findest du eine Übersicht.

- Untersuche anhand eines Tongenerators, ob du die in Abbildung 6 dargestellten Orgelpfeifen hören kannst.
- Untersuche ob eine 'Kirchenmaus' alle Orgelpfeifen aus Abbildung 6 hören kann.
- Angenommen man möchte eine Orgelpfeife bauen, die nur Wachsmotten hören können. Berechne welche Länge die Pfeife maximal haben darf! Begründe dein Vorgehen.

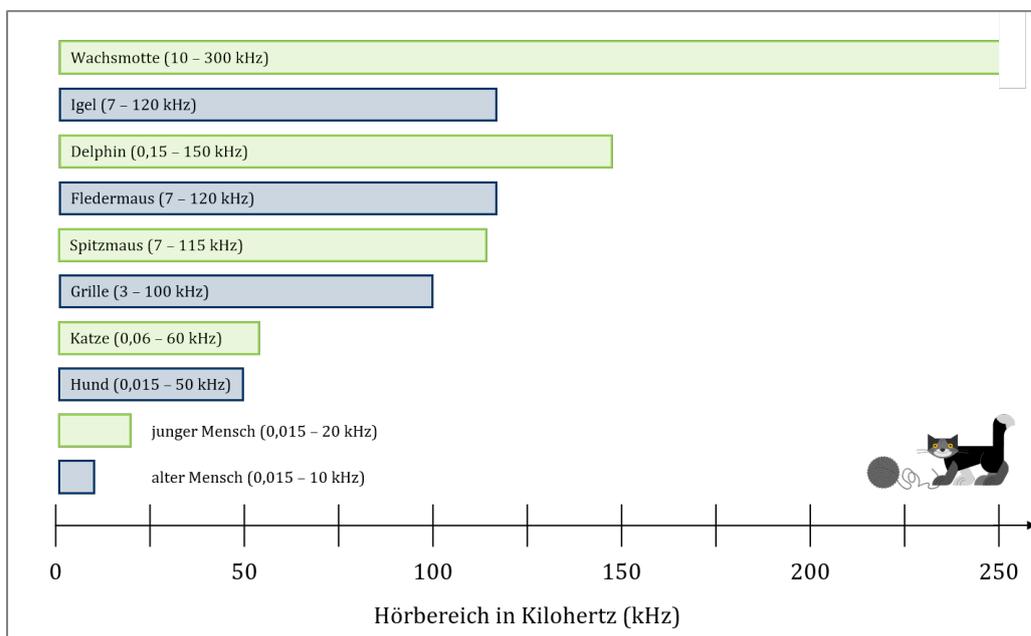


Abb. 7: Hörbereiche verschiedener Lebewesen

Aufgabe 5: Wenn Töne ins Schwanken geraten.

Öffne in zwei unterschiedlichen Fenstern (deines Browsers) ein weiteres Mal den Tongenerator aus Aufgabe 3. Stelle zunächst für beide Fenster dieselbe Frequenz ein. Sie sollte für dich gut hörbar sein! Lass die eingestellte Frequenz an einem der Tongeneratoren gleich und beginne beim anderen die Frequenz in kleinen Schritten zu variieren!

- Formuliere eine Hypothese für das bevorstehende Experiment.
- Beschreibe deinen Höreindruck (je mehr die Frequenzen voneinander abweichen).
- Recherchiere selbstständig zum Thema 'akustische Schwebung'. Formuliere anschließend eine Erklärung für deine Beobachtung aus Aufgabe ii) in deinen eigenen Worten.
- Inwiefern spielt die akustische Schwebung beim Stimmen eines Instruments (z. B. einer Orgelpfeife) eine Rolle? Erläutere das Vorgehen unter Nutzung deiner neuen Erkenntnisse.

Aufgabe 6: Woher kommt der Ton?

Tonerzeugung: Grundlagen

Du kennst sicherlich den Ton, der erzeugt wird, wenn man in eine (nicht mehr ganz volle) Flasche pustet. (Wenn nicht: Fülle eine leere Flasche mit etwas Wasser. Puste nun über die Öffnung und versuche einen Ton zu erzeugen).

Durch das Pusten über die Flaschenöffnung werden Luftwirbel erzeugt. Diese Wirbel bewegen die Luft in der Flasche auf und ab – sie beginnt zu schwingen. Diese Schwingungen werden an die umgebende Luft übertragen und breiten sich als Schallwellen in alle Richtungen aus. Die Erzeugung von Schall erfolgt bei einer Blockflöte oder einer Orgelpfeife ähnlich wie bei der Flasche.

Sobald die Schallwelle auf unser Ohr (genauer auf unser Trommelfell) trifft, hören wir den Ton.

Text 3 vorlesen lassen: 

Tonerzeugung (Vertiefung): Die Orgelpfeife

Auch in einer Orgelpfeife wird Luft zugeführt (Orgelwind). Wenn der Luftstrom auf das Labium trifft entstehen Luftwirbel, die wiederum die Luft in der Pfeife zum Schwingen anregen.

Diese Schwingung breitet sich in der Pfeife aus und wird (u. a.) an den Enden zurückgeworfen (reflektiert). Dabei stellt sich durch Überlagerung, nach einer bestimmten Zeit (Ansprechzeit), für jede Orgelpfeife eine Schwingung mit einer ganz bestimmten Frequenz¹ ein. Die Frequenz (und damit die Höhe des Tons) wird durch die Länge der Pfeife bestimmt. Somit kann jeder Orgelpfeife eine konkrete Frequenz zugewiesen werden.

¹Frequenz (f): Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Einheit: 1 Hertz (Hz) [= 1 Schwingung pro Sekunde]

Text 4 vorlesen lassen: 

- In Aufgabe 1 hast du dich bereits mit verschiedenen Instrumenten beschäftigt. Vergleiche wie bei unterschiedlichen Instrumenten die Töne erzeugt werden und beschreibe die Gemeinsamkeiten.
- “Wenn nichts schwingt, hört man auch nichts!” Stimmt das? Lies Text 3 und kommentiere die Aussage.
- Durch Überlagerung verschiedener Schwingungen (Interferenz) wird in jeder Pfeife ein Ton mit einer bestimmten Frequenz erzeugt (Abb. 8: Resultierende Schwingung ist schwarz dargestellt). Skizziere die Resultierende und die beiden ursprünglichen Sinusschwingungen bei einer Phasenverschiebung von 180° und 360° .

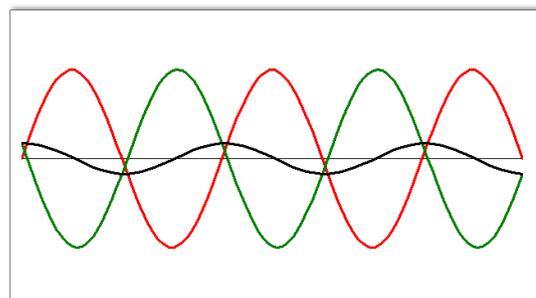


Abb. 8: Phasenverschiebung von 170°

Aufgabe 7: Baue dein eigenes Pfeifenregister.

- a) Erkläre, wie in einer Orgel verschieden hohe Töne erzeugt werden! Lies Text 5 und formuliere einen "Je-Desto-Merksatz".
- b) "Die Orgel ersetzt ein ganzes Orchester!" Lies Text 5 und erkläre was mit diesem Satz gemeint ist.
- c) Baue ein Register mit Gegenständen aus dem Haushalt und stimme die einzelnen "Pfeifen". Stelle dein Modell im Anschluss vor und erkläre deine Vorgehensweise.
- d) Spiele ein einfaches Lied.

Tonerzeugung: Tonhöhe und Klang

In einer Orgel findest du Pfeifen in verschiedenen Formen (siehe Abb. 9). Jede Bauform klingt ein bisschen anders, zum Beispiel wie eine Flöte oder wie eine Trompete. Die Bauform bestimmt den Klang. Eine Orgel vereint damit verschiedene Instrumente in einem.

Jede einzelne Orgelpfeife kann genau einen Ton erzeugen, zum Beispiel die Note C. Damit aber ein Lied mit einem bestimmten Klang gespielt werden kann, werden viele Pfeifen derselben Bauform benötigt - für jede Note eine. In der Orgel nennt man Pfeifen derselben Bauform Register.

In Abbildung 6 siehst du verschiedene Pfeifenlängen für die Note C. Das extrem tiefe C_3 wird von der Pfeife ganz links erzeugt. Das sehr hohe C^2 von der Pfeife ganz rechts. Zum Größenvergleich ist auch ein Mensch schematisch dargestellt. Die Durchschnittsgröße in Deutschland beträgt 1,73 m (♀ 1,66 m, ♂ 1,80 m).

Text 5 vorlesen lassen: 

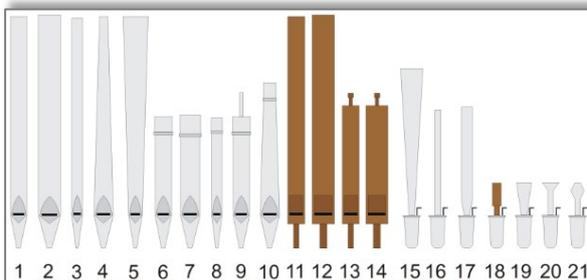


Abb. 9: Bauformen verschiedener Orgelpfeifen

1-10: Labialpfeifen aus Metall

- 1: Prinzipal
- 2: Offenflöte
- 3: Gambe
- 4: Spitzflöte
- 5: Trichterflöte
- 6: Gedackt
- 7: Gedacktflöte
- 8: Quintade
- 9: Rohrflöte
- 10: Spitzgedackt

11-14: Labialpfeifen aus Holz

- 11: Prinzipal
- 12: Offenflöte
- 13: Gedackt
- 14: Gedacktflöte

15-21: Lingualpfeifen

- 15: Trompete
- 16: Krummhorn
- 17: Dulzian
- 18: Holzregal
- 19: Trompetenregal
- 20: Trichterregal
- 21: Doppelkegelregal

Aufgabe Ü1: Die Elbphilharmonie-Orgel: Eine der größten Orgeln der Welt.

Elbphilharmonie: Unglaubliche Akustik und eine der größten Orgeln der Welt

„Die Elbphilharmonie-Orgel ist eine wahre Wucht: Sie besitzt 69 Register und wiegt rund 25 Tonnen. Sie ragt 14 m in vier in den Zuschauerraum integrierten Ebenen in die Höhe. Die Orgelpfeifen sind mal so klein, dass sie auf einen Fingernagel passen, und mal so groß, dass sie eine Hauswand überragen. Die größte Pfeife [...] erzeugt einen Ton mit nur 16 Schwingungen pro Sekunde. Da die untere Hörschwelle bei ungefähr 20 Schwingungen liegt, kann man diese Töne mehr fühlen als hören [...]. Die kleinste Pfeife [...] erzeugt einen Ton mit 15600 Schwingungen pro Sekunde. Das liegt dicht an der oberen Hörgrenze. Das bedeutet: Diese Orgel erzeugt nicht nur ein unglaubliches Klangbild, sie lässt sich auch spüren und fühlen.“

(Quelle: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/gebauedetechnik/elbphilharmonie-unglaubliche-akustik-groessten-orgeln-welt/>, Zugriff: 09.02.2021)

Text 6 vorlesen lassen: ⏪»

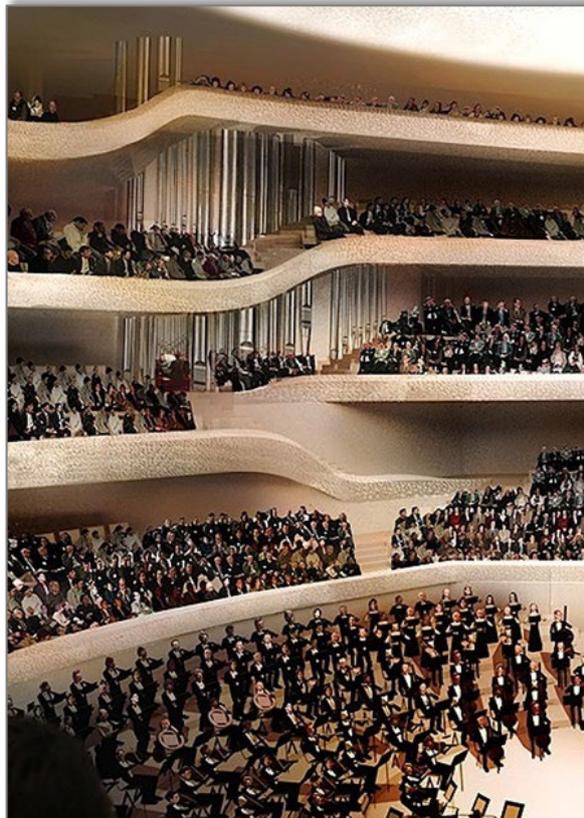


Abb. 10: Teil der Orgelpfeifen im Großen Saal der Elbphilharmonie

- Bestimme die Länge der kleinsten und der größten Pfeife der Elbphilharmonie-Orgel (siehe T6). Nutze zur Berechnung die Formel für offene Labialpfeifen ($L=c/2f$; $c = 343 \text{ m/s}$ [Schallgeschwindigkeit in Luft bei 20°C]).
- Damit Orgelpfeifen fest verankert und gut angespielt werden können, sind sie immer etwas länger als es für die Klangerzeugung notwendig ist (Pfeifenfuß). Mit der folgenden Formel lässt sich die wahre Pfeifenlänge bestimmen: $L=(c/2f)\cdot k$. Dabei berechnet sich der Korrekturfaktor k wie folgt $k=(5/3)$. Bestimme den Durchmesser (d) der größten Pfeife aus Aufgabe 3.
- Führe für beide Berechnungen eine Abschätzung der Einheiten durch!

Aufgabe Ü2: Jeder Ton braucht seine Zeit.

- Bei manchen Orgeln liegen Spieltisch und Pfeifen weit auseinander. Berechne die Zeitdifferenz im Sommer (25°C) zwischen der Klangerzeugung in den Pfeifen und dem Höreindruck bei den Organistinnen und Organisten (Latenz), wenn Spieltisch und Orgel in einer großen Kirche 50 m auseinander liegen.
- Welche Entfernung müsste im Winter (bei 5°C) zwischen Spieltisch und Orgel liegen, damit der Höreindruck bei den Organistinnen und Organisten genauso wie im Sommer ist? Berechne die Entfernung.

Zusammenfassung

Was hast du heute dazugelernt? Fasse es in Stichpunkten zusammen.

Feedback

Wie schätzt du die Aufgaben ein?

	Stimmt	Halb halb	Stimmt nicht
Ich habe das meiste verstanden.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich hätte noch mehr Zeit gebraucht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Die Aufgaben waren zu schwer für mich.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Für mich waren es zu viele Aufgaben.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mir haben die Aufgaben Spaß gemacht.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ich möchte noch mehr über das Thema wissen.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Wenn du Hinweise oder Anmerkungen zu den Aufgaben hast, dann melde dich gerne bei deiner Lehrerin oder deinem Lehrer.

Links

Aufgabe 1

Link <https://learningapps.org/watch?v=pocz5ityz1>

Aufgabe 2

Link <https://learningapps.org/view6776182>

Video 1 https://www.youtube.com/watch?v=Cz4Mmli_rq

Aufgabe 3c

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRt0f5Lq9AZHjaY_GdAO_VCRn2A4-p9kzfKENT8rULyPwV50y72i0xeicairNV6K5Cdb8edH_kMqZRM/pub

Aufgabe 3d

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvT24APIHi9-HYac0Cdhp0I7_AC2wTj5YBp7Jm9-0g7NFhVWwIHUghl2zK-NIYoJh6K8cnJW7qBig1-m/pub

Hilfe 3 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRRa6E0xKmyb_VbxV6LnhqOMqf3e8rnACfyN8CVv00hJ4_-9cpD1PmS653dISIEy0AbIAnJ4JLciZvF/pub

Aufgabe 4

Link <https://www.gieson.com/Library/projects/utilities/tonegen/>

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvOvB60oOgFUSOYE_fx_fIHdtWahOUbs3NTT2v7ZnEFUa-2JfIGSyalGMf-fC8oU9p3A0mp08APV/pub

Aufgabe 5

Link <https://www.schule-bw.de/faecher-und-schularten/mathematisch-naturwissenschaftliche-faecher/physik/unterrichtsmaterialien/akustik/ueberlagerung/schwebung.htm>

Aufgabe 6

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvQKqUHKIQDqilb06qllLfv-Ght3SUNsz5UoUOvfeBz8fhG9WoYCEvYQpxSbaPcdc47TKOI_5KSmd9/pub

Hilfe 3 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRsH5lBs_uK-sl_by-Or2ddF-8E_uKgnnSKvvKxR3iqPeloZ_AdzFYcntxqUik95rhik9lbb_POAW9qe/pub

Aufgabe 7a

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRHnc7EeqYKzjmRtlulNRvOjDhzm_p4MfPuzX4g30fll2lbbUAZ5f-rC19kF5E7vqmuGqllV7ItoStv/pub

Aufgabe 7c

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvS5e8lTdsX_Ij140Jjdn2IMROY_C9By7iY3q-MxELFe9n-vYqb70E-qD-8hD5prDE9Kz-NVao-qVP2/pub

Hilfe 3 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvShSuH7OGAw_aqbhjepW107HXrzFvqMjNB7NbMqn4vMvYvClirQdc8fASRmfNvN7rnTusJqOeTOXS/pub

Hilfe 4 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvR_rdtmfr7U16XoG6qJZghawonTAETNejKvNWeY_O9Agm3Ziv9IECVu07vYsqWyoOairsvKLSsCSBCa/pub

Aufgabe 7d

Beispiel <https://vimeo.com/82565381>

Aufgabe 01

Beispiel https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvTSPUYMWcZ5micOHSvTex_aJXqjwWXW2fR6ohh7ddeyPaZG5xlUIBUITEHAP2vhhMXOfRQJfP8wB9KI/pub

Aufgabe 02

Hilfe 1 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvRz_Oz2sphLGVk3ULm2vhCAuBaSlpUapAOVr_iMUmobRIL-syOd8u2_qWHojVVaUhXMGKik5c9vMsC/pub

Hilfe 2 https://docs.google.com/document/d/e/2PACX-tvTGF9DAa-MutWr933z4j4ivY3CamcdJHRp3DlVwJoSBYns6pwwzI2irT0tp0IPYkfvUs02bpTH_OE/pub

Abbildungsquellen

Abb. 1: Screenshot der Zuordnungsaufgabe

eigene Abbildung

Abb. 2: Screenshot des Kreuzworträtsels

eigene Abbildung

Abb. 3: Wannamaker Orgel im Macy's Kaufhaus in Philadelphia

Difference engine, CC BY-SA 4.0: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Detail_of_Wanamaker_Organ.jpg

Abb. 4: Hauptspieltisch im Passauer Stephansdom

Bastianfuchs, CC BY-SA 3.0: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Zentralspieltisch.JPG>

Abb. 5: Pfeifenreinigung in der Hamburger Elbphilharmonie

dpa/Christian Charisius: <https://fink.hamburg/2021/01/elbphilharmonie-orgel-pfeifen-putzen/>

Abb. 6: Pfeifenlängen für die Note C

Kantor.JH, CC BY-SA 3.0: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:PipeLength001_modified.png

Abb. 7: Hörbereiche verschiedener Lebewesen

eigene Abbildung

Abb. 8: Bauformen verschiedener Orgelpfeifen

Sönke Kraft, CC BY-SA 3.0: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Types_of_organ_stops.png

Abb. 9: Phasenverschiebung von 170°

Dogbert66, CC BY-SA 3.0: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Phasenverschiebung_170_Grad.PNG

Abb. 10: Teil der Orgelpfeifen im Großen Saal der Elbphilharmonie

Herzog & de Meuron: <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/gebauedetechnik/elbphilharmonie-un glaubliche-akustik-groessen-orgeln-welt/>

Kontakt

Dr. René Dohrmann
Freie Universität Berlin
Fachbereich Physik
Didaktik der Physik
Arnimallee 14
14195 Berlin
E-Mail: rene.dohrmann@fu-berlin.de



Freie Universität  Berlin