

Infraschall einfach erklärt

Unterrichtsmaterial
für den naturwissenschaftlichen Unterricht
in der Sekundarstufe 1

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Impressum

Herausgeber:

Umweltbundesamt
Fachgebiet I 2.4

Postfach 14 06
06813 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
bürgerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

 /umweltbundesamt

Autorinnen und Autoren:

Mann beißt Hund – Agentur für Kommunikation GmbH

Projektbearbeitung:

Mann beißt Hund – Agentur für Kommunikation GmbH
Dr. Kühner GmbH
Dr. Philipp Wichtrup
ZEUS GmbH, Zentrum für angewandte Psychologie, Umwelt-
und Sozialforschung

Redaktion:

Jördis Wothge, Thomas Myck

Satz und Layout:

Mann beißt Hund – Agentur für Kommunikation GmbH

Publikationen als pdf:

www.umweltbundesamt.de/publikationen

Bildquellen:

Eigene Darstellungen,
Mann beißt Hund – Agentur für Kommunikation GmbH

Stand: Mai 2023

Inhalt

1	Wissenswertes	6
2	Modul 1: Grundlagen	11
3	Modul 2: Darstellung von Schall als Welle	14
4	Arbeitsblätter	17
5	Lösungen	30

Auf einen Blick

Themengebiet: Akustik, Schwingungen und Wellen

Thema: Infraschall

Zielgruppe: Lernende aus der Sekundarstufe

Schulform: alle weiterführenden Schulen

Fächer: Naturwissenschaftlicher Unterricht, Physik

Unterrichtsmaterialien: Arbeitsblätter, Versuche und Videos

Zeitaufwand: ca. 6 bis 10 Zeitstunden


Liebe Lehrkräfte,

Infraschall entsteht sowohl in der Natur als auch durch menschengemachte Technologien wie zum Beispiel Industrie- oder Windenergieanlagen. Allerdings sind diese sehr tiefen Frequenzen im Alltag nur selten für das menschliche Gehör wahrnehmbar, weil dazu sehr hohe Schalldruckpegel nötig sind. Mit diesem Unterrichtsmaterial und den vorgestellten Versuchen möchte das Umweltbundesamt Sie dazu anregen, Ihren Schüler*innen physikalisches Wissen über Infraschall zu vermitteln: wie Infraschall entsteht, wie er sich von hörbarem Schall unterscheidet und wo er im Alltag vorkommt.

In der Diskussion um die Energiewende werden vermehrt falsche Informationen über Infraschall verbreitet, um Ängste vor erneuerbaren Energien zu schüren. Die Unterrichts Anregungen sollen den Schüler*innen in der Sekundarstufe 1 Wissen über Infraschall vermitteln und sie in die Lage versetzen, Falschaussagen einzuordnen und fundiert richtigstellen zu können. Das Umweltbundesamt möchte damit dazu beitragen, das junge Menschen aktiv und informiert an der gesellschaftlichen Diskussion um erneuerbare Energien teilnehmen.

Alle Materialien und Versuche sind in zwei Module eingeteilt: Modul 1 behandelt die physikalischen Grundlagen von Infraschall, Modul 2 beschäftigt sich mit der Darstellung von Schall als Welle. Beide Module enthalten einfach durchführbare Versuche, verschiedene Aufgaben und Hintergrundinformationen. Für beide Module sind ca. sechs bis zehn Zeitstunden einzuplanen. Sie können sie entweder als vollständige Einheiten bearbeiten oder nur einzelne Teile in Ihren Unterricht aufnehmen.

Wir wünschen Ihnen anregende Unterrichtsstunden zum Thema „Infraschall“



Thomas Myck

Umweltbundesamt
Fachgebiet I 2. „Lärminderung bei Anlagen und Produkten,
Lärmwirkungen“

Lernziele und angestrebte Kompetenzen

Die Schüler*innen können

- ▶ die Verarbeitung von Schall im Ohr grundlegend beschreiben.
- ▶ die Entstehung und Wahrnehmung von Schall durch Schwingungen von Gegenständen mit den bestimmenden Grundgrößen Tonhöhe und Lautstärke beschreiben.
- ▶ die Ausbreitung von Schall in Luft mithilfe eines Teilchenmodells erklären.
- ▶ Eigenschaften von hörbarem Schall, Ultraschall und Infraschall unterscheiden und dazu Beispiele aus Natur und Technik nennen.
- ▶ die Entstehung unterschiedlicher Tonhöhen und Lautstärken erläutern. Sie wissen, dass die Hörgrenze individuell ist.
- ▶ Schallschwingungen und deren Darstellungen in Grundzügen skizzieren.



1

Wissenswertes

für Lehrkräfte

Was Infraschall ist und warum wir ihn nicht hören können

Töne im Infraschall-Bereich sind so tief, dass Menschen sie in der Regel nicht hören – die langen Schallwellen laufen unbemerkt um uns herum, genau wie der kurzweilige Ultraschall. Hier folgt ein Überblick über die verschiedenen Arten von Schall und die Physik dahinter.

Unzählige Geräusche umgeben uns jeden Tag. Menschen und Maschinen, Tiere und Musik sind nur einige Beispiele für Geräuschquellen, deren Laute täglich unser Ohr erreichen. Die Physik beschreibt, wie das geschieht: Jemand oder etwas erzeugt ein Geräusch und bringt damit Luftteilchen zum Schwingen. Die Schwingung breitet sich als Welle in alle Richtungen aus. Wenn diese Schallwellen auf unser Ohr treffen, wandelt der Hörvorgang sie in elektrische Impulse um und leitet sie ans Gehirn weiter – das dann das Geräusch registriert.

Für Menschen nicht hörbar: Ultraschall und Infraschall

Aber nicht alle Schallwellen sind für unser Gehör wahrnehmbar. Ist ein Geräusch höher als der höchste für menschliche Ohren hörbare Ton, sprechen Physiker*innen von Ultraschall. Zum Beispiel erzeugen

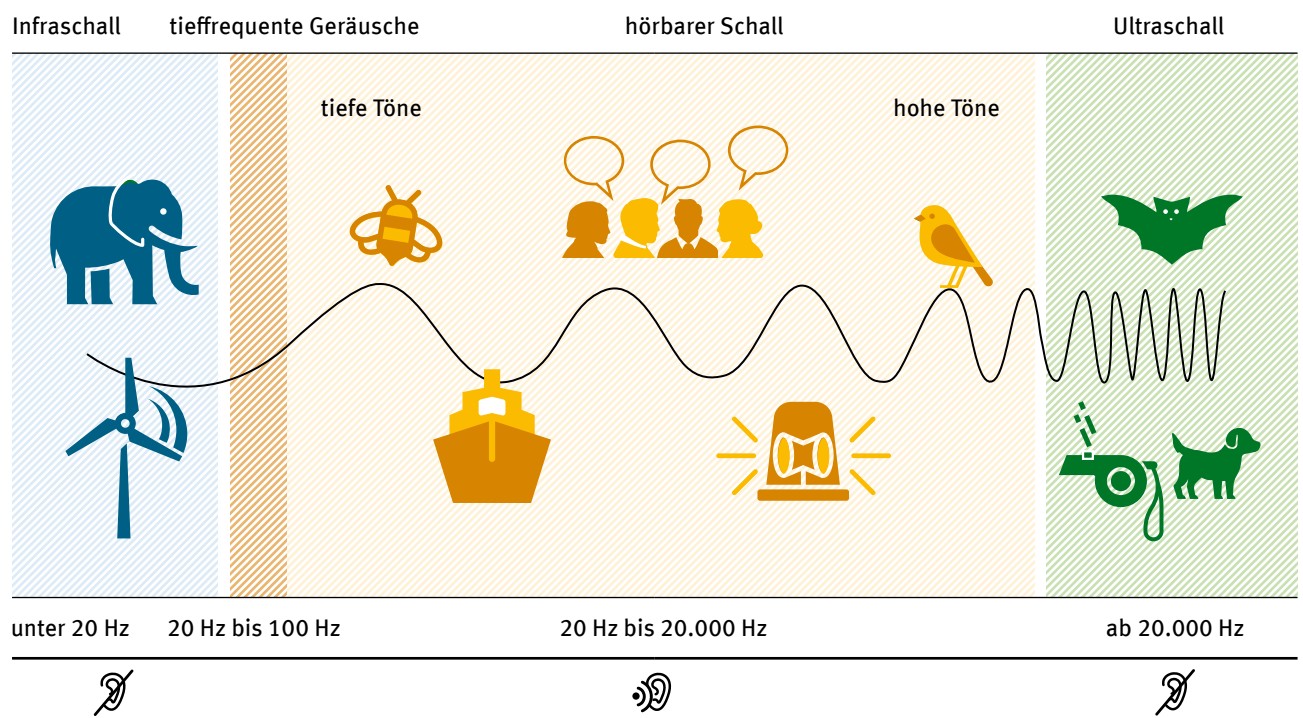
Hundepfeifen Töne im Ultraschall-Bereich. Sie sind so hoch, dass Menschen sie nicht hören können – wohl aber die Vierbeiner, die damit herbeigerufen werden sollen. Deren Gehör kann nämlich höhere Töne wahrnehmen als unseres.

Infraschall hingegen liegt unterhalb des für Menschen hörbaren Bereichs. Er ist tiefer als der tiefste hörbare Ton – jedenfalls wenn es um Infraschall im Alltag geht. Bei sehr hohen Schallpegeln ist Infraschall auch für Menschen wahrnehmbar, weil die Schwankungen im Luftdruck sehr stark sind. Allerdings ist er eher als Vibration spürbar und nicht unbedingt als Ton. Im Alltag wird Infraschall zum Beispiel wahrnehmbar, wenn man schnell mit halb geöffneten Fenstern Auto fährt. Ansonsten nehmen Menschen nur in seltenen Fällen Infraschall wahr, etwa bei Naturereignissen wie Vulkanausbrüchen. Auch einige Tiere kommunizieren mithilfe von Infraschall. So halten Elefanten beispielsweise per Infraschall über mehrere Kilometer hinweg Kontakt zueinander.

Was Menschen hören können

Sowohl bei tiefen als auch bei hohen Tönen stößt das menschliche Gehör also an Grenzen. Wo diese genau

Was ist Schall?

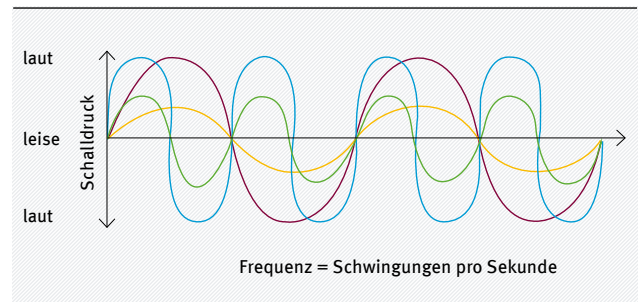


Quelle: eigene Darstellung, Mann beißt Hund - Agentur für Kommunikation GmbH

verlaufen, ist bei jedem Menschen geringfügig anders. Wer ein empfindliches Gehör hat, kann auch sehr leise, tiefe oder hohe Töne noch gut wahrnehmen. Im Lauf des Lebens verschiebt sich der hörbare Bereich: Mit zunehmendem Alter hören Menschen insbesondere hohe Töne weniger gut. Um besser zu verstehen, welche Töne für Menschen hörbar sind, ist es hilfreich zu verstehen, wie in der Akustik Tonhöhe und Lautstärke zusammenhängen.

- ▶ Die Tonhöhe wird in der Physik mithilfe der **Frequenz** ausgedrückt, die Maßeinheit heißt Hertz (Hz). Der menschliche Hörbereich liegt in etwa zwischen 20 und 20.000 Hertz. Infraschall liegt unter 20 Hertz, Ultraschall hat eine Frequenz von 20.000 Hertz oder mehr. Die Frequenz gibt an, wie schnell die Schallwellen auf und ab laufen. Das Freizeichen der meisten Telefonnetze in Deutschland hat die Frequenz 425 Hertz. Das bedeutet, die Schallwelle schwingt 425-mal pro Sekunde auf und ab. Je höher die Frequenz ist, desto kürzer sind die einzelnen Wellen, also der Abstand von einem Wellental zum nächsten. Telefone produzieren bei 425 Hertz Schallwellen, die nicht einmal einen Meter lang sind. Infraschallwellen hingegen sind deutlich länger. Bei 16 Hertz etwa misst die Welle schon mehr als 20 Meter.
- ▶ Die Lautstärke – oder physikalisch genauer: **der Schalldruckpegel** – wird in Dezibel (dB) gemessen. Der Dezibel-Wert gibt an, wie hoch die Schallwellen sind. Je höher sie aufsteigen und abfallen, desto höher ist der Dezibel-Wert und desto lauter ist das Geräusch. Allerdings gibt es für verschiedene Zwecke unterschiedliche Schalldruckpegel-Angaben. Wenn es um Lärm geht, wird häufig der so genannte „A-bewertete Schalldruckpegel“ in dB(A) angegeben. Er ist speziell an die Lautstärke-Empfindung des menschlichen Gehörs angepasst. Bei Angaben in dB(Z) hingegen gibt es keine solche Anpassung – hier geht es allein um den physikalisch messbaren Druck der Schallwellen. Ebenfalls wichtig zu wissen: Die Dezibel-Skala verläuft logarithmisch. Das heißt, 50 Dezibel hören sich doppelt so laut an wie 40 Dezibel. 40 Dezibel klingen doppelt so laut wie 30 Dezibel und so weiter. Menschen können schon bei wenigen Dezibel bestimmte Töne wahrnehmen. Bei 120 Dezibel (A) ist die Schmerzgrenze erreicht.

Darstellung von Schall als Welle



hoher lauter Ton	tiefer lauter Ton
hoher leiser Ton	tiefer leiser Ton

Quelle: eigene Darstellung, Mann beißt Hund - Agentur für Kommunikation GmbH

Zusammengefasst: Jedes Geräusch verursacht eine Schallwelle, die mithilfe von Frequenz und Schalldruckpegel beschrieben werden kann. Die Frequenz beschreibt, wie schnell die Welle steigt und abfällt. Der Schalldruckpegel beschreibt, wie hoch die Welle steigt und sinkt.

Frequenz und Schalldruckpegel: Das Verhältnis gibt den Ton an

Ob ein Geräusch hörbar ist oder nicht, hängt von der Frequenz ebenso ab wie vom Schalldruckpegel. Denn je tiefer ein Ton ist, desto höher muss der Schalldruckpegel sein, damit wir den Ton hören können. Anders gesagt: Damit wir ein tiefes und ein hohes Geräusch als gleich laut empfinden, muss bei dem tiefen Geräusch der Schalldruckpegel höher sein als bei dem hohen Ton.

So ist auch zu erklären, dass Infraschall bei Frequenzen unterhalb von 20 Hertz in der Regel nicht wahrnehmbar ist, weil die Schalldruckpegel für das menschliche Gehör meistens zu niedrig sind. Ein Beispiel: Der tiefste Ton eines Klaviers (27,5 Hertz) ist schon bei knapp 60 Dezibel (Z) hörbar, er liegt noch innerhalb des menschlichen Hörspektrums. Kommunikation unter Elefanten findet bei 20 Hertz oder darunter statt, also im Infraschall-Bereich. Damit Menschen davon etwas mitbekommen, müssen die Elefanten schon bei 20 Hertz mit mindestens 71 Dezibel (Z) ziemlich laut tröten. Allerdings nehmen Menschen diese Laute nicht so sehr als Töne, sondern eher als Vibration wahr.

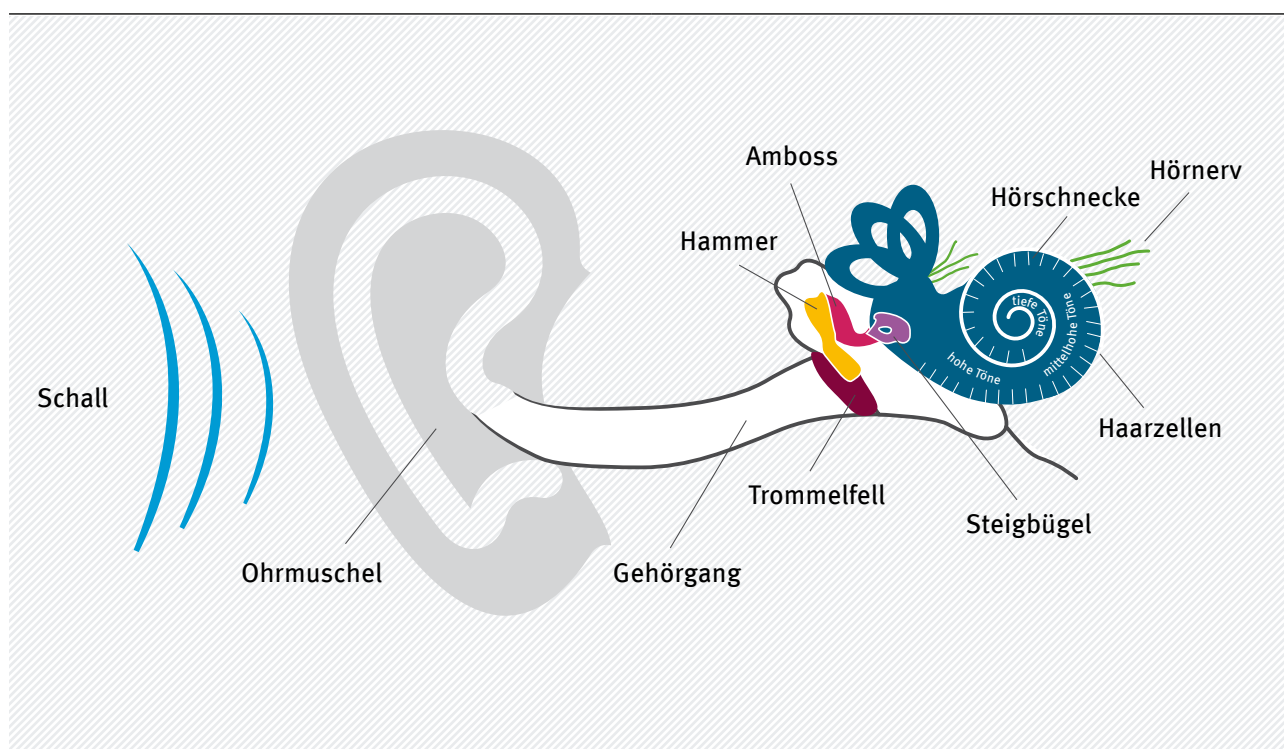
Wo Infraschall vorkommt

Auch wenn wir die Schallwellen nicht wahrnehmen: Infraschall fließt überall um uns herum. Er bildet sich überall dort, wo es zu sehr langsamen

Luftdruckschwankungen kommt. Zum Beispiel entstehen in der Meeresbrandung oder durch Wind neben den hörbaren Geräuschen auch Infraschall-Wellen. Einige – meist große – Tiere nutzen Infraschall zur Kommunikation, darunter neben Elefanten auch Blauwale und Giraffen. Neben diesen natürlichen Quellen gibt es auch einige menschengemachte Infraschall-Quellen. Dazu gehören zum Beispiel Kühlschränke, Windenergieanlagen und

Industrieanlagen, die neben tieffrequentem Schall auch Infraschall erzeugen können. Wichtig zu wissen: Wie die Meeresbrandung oder der Wind verursachen diese Geräte meist neben Infraschall auch tieffrequenten Schall zwischen 20 und 100 Hertz – der für viele Menschen durchaus hörbar ist und stören kann.

Das menschliche Ohr



Quelle: eigene Darstellung, Mann beißt Hund - Agentur für Kommunikation GmbH

Einfach erklärt: der Hörvorgang

Von Arie bis Zweitaktmotor: Ganz unterschiedliche Geräusche finden auf demselben Weg in unser Ohr – und von dort ins Gehirn. Hier lesen Sie, wie das Hören funktioniert und wieso es nicht nur eine Laune der Natur ist, dass Menschen nicht alles hören können.

Ein Geräusch entsteht, wenn Luft in Schwingen gerät. Hummeln zum Beispiel erzeugen durch die Bewegung ihrer Flügel ihr charakteristisches Summen. Sprechen wir Menschen, dann übertragen sich die Schwingungen unserer Stimmbänder durch die Luft.

Als Schallwelle breiten sie sich aus und erreichen das Ohr.

Ausgefeiltes Zusammenspiel im Ohr

Durch den Gehörgang werden Luftschwingungen auf das Trommelfell übertragen. Das feine Zusammenspiel der drei Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel trägt die Vibrationen weiter ins Innenohr. Hier sitzt die Hörschnecke, benannt nach ihrer Form, die an ein Schneckenhaus erinnert. Sie ist mit einer Flüssigkeit gefüllt und wäre ausgerollt etwa drei Zentimeter lang, feine Härchen ragen in die Flüssigkeit hinein. Kommt der Schall im

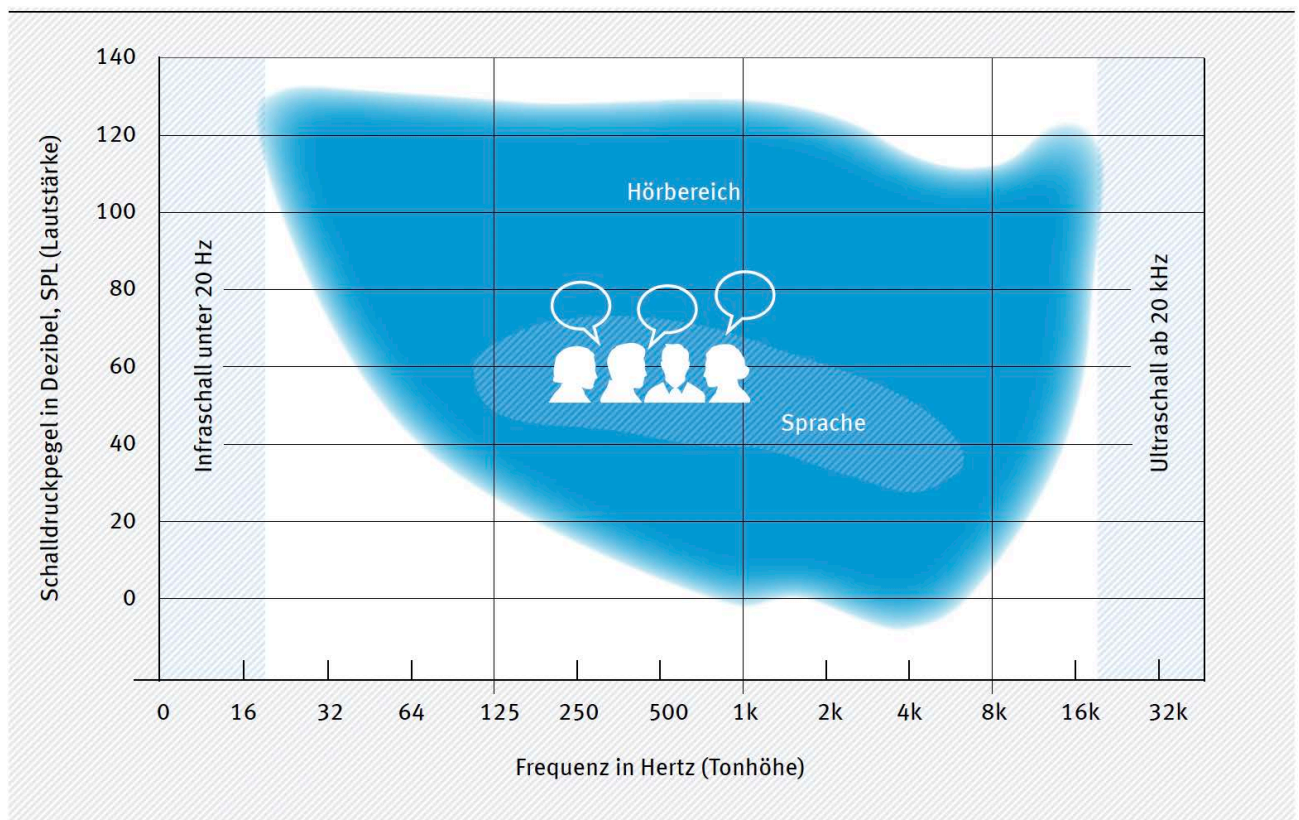
Innenohr an, geraten Flüssigkeit und Härchen in Bewegung. Je nach Tonhöhe reagieren die Härchen an verschiedenen Orten. Für hohe Töne sind Härchen am Anfang der Hörschnecke „zuständig“, tiefere Töne werden weiter in ihrem Inneren registriert. Die Härchen schicken schließlich einen elektrischen Impuls ins Gehirn. Das Hörzentrum in der Großhirnrinde interpretiert das Signal – wir erkennen, ob es sich um Musik, Straßenverkehr oder eine ganz andere Geräuschquelle handelt.

selbst geringste Druckschwankungen als Geräusch wahrnehmen, etwa wenn Wind an uns vorbei weht. Stattdessen ist unser Ohr so aufgebaut, dass wir vor allem höhere Frequenzen gut hören – zum Beispiel die Stimmen unserer Mitmenschen.

Natürlicher Schutz

Nicht alle Säugetiere hören dieselben Töne. Elefanten etwa nehmen tiefere Töne wahr als Menschen, Fledermäuse orientieren sich mit für uns unhörbar hohen Tönen. Unser menschliches Gehör ist optimal an unsere Lebensumstände angepasst – in denen Frequenzen unterhalb von etwa 20 Hertz nur selten eine Rolle spielen. Deshalb verhindert der Aufbau von Mittel- und Innenohr, dass wir sehr tiefe Frequenzen wie etwa Infraschall als Ton hören. Sonst würden wir

Der Hörbereich des Menschen



Quelle: eigene Darstellung, Mann beißt Hund - Agentur für Kommunikation GmbH

2

Modul 1: Grundlagen

Übersicht für Lehrkräfte

Modul 1: Grundlagen

WIE ENTSTEHT SCHALL?

- ▶ Unterrichtseinheit 1: „Alles eine Frage der Schwingung“ (Video und Arbeitsblatt)
- ▶ Unterrichtseinheit 2: „Das schwingende Lineal“ (Versuch und Arbeitsblatt)

WIE EMPFÄNGT UNSER OHR SCHALL UND WELCHEN SCHALL KÖNNEN WIR HÖREN?

- ▶ Unterrichtseinheit 3: „Das menschliche Ohr“ (Arbeitsblatt und Stop-Motion-Animation)
- ▶ Unterrichtseinheit 4: „Hörgrenzen“ (Versuch und Arbeitsblatt)

WIE ENTSTEHT INFRASCHALL BEI WINDENERGIEANLAGEN UND WARUM KÖNNEN WIR IHN NICHT HÖREN?

- ▶ Unterrichtseinheit 5: „Infraschall durch Windenergieanlagen“ (Arbeitsblatt und Stop-Motion-Animation)

Schwierigkeitsgrad: niedrig bis mittel

Vorbereitungsaufwand: gering

Fächer: Physik, Naturwissenschaften

Durchführungsdauer/Zeitaufwand: 4 bis 6 Zeitstunden

Zielgruppe: Lernende aus der Sekundarstufe I

Themengebiet: Akustik

Ziele:

Die Lernenden können:

- ▶ die Entstehung und Wahrnehmung von Schall durch Schwingungen von Gegenständen mit den bestimmenden Grundgrößen Tonhöhe und Lautstärke beschreiben, die Ausbreitung von Schall in Luft mithilfe eines Teilchenmodells erklären,
- ▶ Eigenschaften von hörbarem Schall, Ultraschall und Infraschall unterscheiden und dazu Beispiele aus Natur und Technik nennen.

Technische Geräte und Vorwissen

- ▶ Lernende sollen mithilfe eines Smartphones oder eines Tablets in Kleingruppen Stop-Motion-Animationen (Fotoreihen) erstellen können.

Fachliches Vorwissen

- ▶ grobe Kenntnisse zum Teilchenmodell

Videos



Die Videos zu diesem Modul finden Sie auf der Webseite www.umweltbundesamt.de/infraschallerklaert

Unterrichtseinheit 1

- ▶ „Alles eine Frage der Schwingung“ (Video und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson zeigt den Lernenden das Video „Wie entsteht Schall? Highspeed-Aufnahmen“. Es zeigt, wie mehrere Objekte, die Schall produzieren, zu Schwingungen angeregt werden. Mithilfe von Highspeed-Aufnahmen (Videoaufnahmen mit einer sehr hohen Bildrate) werden diese Schwingungen deutlich sichtbar gemacht. Die Lernenden sollen erkennen, dass Schall durch Schwingungen entsteht, und dieses erarbeitete Wissen bei der Bearbeitung des Arbeitsblatts anwenden.

Unterrichtseinheit 2:

- ▶ „Das schwingende Lineal“ (Versuch und Arbeitsblatt)

Die Lernenden haben die Aufgabe, mithilfe eines starren Lineals das auf dem Arbeitsblatt abgebildete Experiment durchzuführen. Bei dem Versuch ist es wichtig, dass die Lernenden das Lineal an der Tischkante mit einer Hand fest auf den Tisch drücken. Das erste Ziel des Versuchs ist es, zu erkennen, dass die Lautstärke von der jeweiligen Auslenkung des Lineals

abhängt. Je stärker die Lernenden den Überstand des Lineals auslenken, desto lauter ist es. Des Weiteren erfahren die Lernenden im Versuch, dass die Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Schwingung abhängt. Je länger der Überstand des Lineals ist, desto langsamer schwingt das Lineal hin und her und desto tiefer ist der zu hörende Ton.

Unterrichtseinheit 3:

- ▶ „Das menschliche Ohr“
(Video, Arbeitsblatt und Stop-Motion-Animation)

Zunächst ist es sinnvoll, den Lernenden das Video „Funktionsweise des menschlichen Ohrs“ zu zeigen. Danach bespricht man mit den Lernenden den Aufbau und die Funktionsweise des Ohrs mithilfe des Arbeitsblatts. Im Anschluss haben die Lernenden die Aufgabe, in Kleingruppen eine Stop-Motion-Animation zu erstellen, in der die Funktionsweise des menschlichen Ohrs veranschaulicht wird. Dazu werden die einzelnen Bestandteile der zweiten Seite des Arbeitsblatts ausgeschnitten, auf den Tisch gelegt und die dynamischen Prozesse des Hörvorgangs Schritt für Schritt nachgestellt. Für die eigene Erstellung einer Stop-Motion-Animation empfiehlt es sich, eine Fotokamera oder ein Smartphone in eine Halterung zu spannen, sodass man immer von derselben Position aus die Fotos macht. Das YouTube-Video „Stop-Motion-Animation selber erstellen“ (<https://www.youtube.com/watch?v=9tfBWV1AD14>) kann helfen, den Lernenden den Ablauf bei der Erstellung einer Stop-Motion-Animation zu erläutern.

Unterrichtseinheit 4:

- ▶ „Hörgrenzen“
(Versuch und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson öffnet z. B. auf einem Computer einen Online-Ton-Generator (<https://www.szynalski.com/tone-generator/>). Es empfiehlt sich, den Computer mit einem Lautsprecher zu verbinden, damit die Lernenden den Ton gut hören können. Außerdem ist es hilfreich, den Lernenden den Bildschirm des Computers zu zeigen (z. B. mithilfe eines Beamers). Zu Beginn stellt die Lehrperson die Frequenz auf 440 Hz. Die Lehrperson erhöht die Frequenz des Tons. Die Lernenden sollen ihre Hand heben, solange sie einen Ton hören. Sobald sie keinen Ton mehr hören, senken sie ihre Hand und notieren die zuletzt wahrgenommene Frequenz. Hohe Frequenzen können als sehr unangenehm empfunden werden. Aus diesem Grund sollte

die Lautstärke nicht zu hoch gewählt werden und der Versuch nur so lange wie nötig andauern. Die obere Hörgrenze liegt bei Lernenden bei ca. 20.000 Hz.

Im zweiten Teil verringert die Lehrkraft die Frequenz ausgehend von 440 Hz. Genau wie bei der Ermittlung der oberen Hörgrenze sollen die Lernenden ihre Hand senken, sobald sie keinen Ton mehr hören, und diese Frequenz auf dem Arbeitsblatt notieren. „Normale“ Lautsprecher sind nicht in der Lage, Frequenzen unterhalb von 20 Hz abzuspielen. Außerdem sinkt die Lautstärke, je niedriger die Frequenz des Tons ist. Aus diesem Grund ist die untere Hörgrenze eher ein Schätzwert. Trotzdem erfahren die Lernenden: Je niedriger die Frequenz sinkt, desto schwerer ist es, etwas zu hören. Im Unterrichtsgespräch erklärt die Lehrperson, dass es eine bestimmte Frequenz gibt, die das menschliche Ohr nicht mehr als Ton wahrnehmen kann. Diese Grenze liegt bei einer Frequenz von 20 Hz. Schall unterhalb von 20 Hz nennt man Infraschall. Oberhalb von 20.000 Hz spricht man von Ultraschall.

Unterrichtseinheit 5:

- ▶ „Infraschall durch Windkraftanlagen“
(Arbeitsblatt und Stop-Motion-Animation)

Zunächst ist es sinnvoll, den Lernenden das Video „Wie entsteht Infraschall bei Windkraftanlagen?“ zu zeigen. Im Anschluss bespricht man mit den Lernenden die Entstehung von Infraschall bei Windenergieanlagen mithilfe des Arbeitsblatts. Die Lernenden sollen das erarbeitete Wissen bei der weiteren Bearbeitung des Arbeitsblatts anwenden.

3

Modul 2: Darstellung von Schall als Welle

Übersicht für Lehrkräfte

Modul 2: Darstellung von Schall als Welle

WIE KANN MAN SCHALL UNTERSCHIEDLICHER LAUTSTÄRKE UND FREQUENZ IN DIAGRAMMEN DARSTELLEN?

- ▶ Unterrichtseinheit 6: „Wie kann man Schall darstellen?“ (Video und Arbeitsblatt)
- ▶ Unterrichtseinheit 7: „Wie kann man Infraschall einer Windenergieanlage darstellen?“ (Video und Arbeitsblatt)

WIE IST DER ZUSAMMENHANG ZWISCHEN FREQUENZ UND LAUTSTÄRKE?

- ▶ Unterrichtseinheit 8: „Frequenzen erraten“ (Versuch und Arbeitsblatt)
- ▶ Unterrichtseinheit 9: „Wie kann man Frequenzen beschreiben?“ (Versuch und Arbeitsblatt)
- ▶ Unterrichtseinheit 10: „Kann man Infraschall einer Windenergieanlage wahrnehmen?“ (Video und Arbeitsblatt)

Schwierigkeitsgrad: mittel bis hoch
Vorbereitungsaufwand: gering
Fächer: Physik, Naturwissenschaften

Durchführungsdauer/Zeitaufwand: 2 bis 4 Zeitstunden
Zielgruppe: Lernende aus der Sekundarstufe I
Themengebiet: Akustik, Schwingungen und Wellen

Ziele

Die Lernenden können:

- ▶ die Entstehung unterschiedlicher Tonhöhen und Lautstärken erläutern,
- ▶ Schallschwingungen und deren Darstellungen in Grundzügen skizzieren.

Technische Geräte und Vorwissen

- ▶ Lernende können sich Videos auf YouTube ansehen.
- ▶ Die Lehrperson kann mit einem Smartphone, Tablet oder Computer eine bestimmte Internetseite aufrufen und sich mit einem Lautsprecher verbinden.

Fachliches Vorwissen

Die Lernenden kennen:

- ▶ die Entstehung von Schall durch Schwingungen,
- ▶ den Zusammenhang zwischen der Art der Schwingung und unterschiedlichen Tonhöhen und Lautstärken.

Videos



Die Videos zu diesem Modul finden Sie auf der Webseite www.umweltbundesamt.de/infraschallerklaert

Unterrichtseinheit 6:

- ▶ „Wie kann man Schall darstellen?“ (Video und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson zeigt den Lernenden die YouTube-Videos „Auslenkung-Zeit-Diagramm – Lautstärke“ und „Auslenkung-Zeit-Diagramm – Tonhöhe. Die Videos nehmen Bezug zur Unterrichtseinheit 2: „Das schwingende Lineal“. In den Videos ist zu sehen, wie ein Auslenkung-Zeit-Diagramm entsteht und wie man unterschiedliche Lautstärken und Tonhöhen in einem solchen Diagramm darstellt. Die Lernenden sollen dieses erarbeitete Wissen bei der Bearbeitung des Arbeitsblatts anwenden.

Unterrichtseinheit 7:

- ▶ „Wie kann man Infraschall einer Windkraftanlage darstellen?“ (Video und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson zeigt den Lernenden das YouTube-Video „Wie kann man Infraschall bei Windkraftanlagen darstellen?“. Im Video ist zu sehen, wie ein Luftdruckänderung-Zeit-Diagramm von einer Windenergieanlage entsteht. Die Lernenden sollen dieses

erarbeitete Wissen bei der Bearbeitung des Arbeitsblatts anwenden.

Unterrichtseinheit 8:

- ▶ „Frequenzen erraten“
(Versuch und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson öffnet z. B. auf einem Computer einen Online-Ton-Generator (z. B. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>). Es empfiehlt sich, den Computer mit einem Lautsprecher zu verbinden, damit die Lernenden den Ton gut hören können. Die Lehrperson spielt unterschiedliche Frequenzen ab und die Lernenden sollen diese erraten. Die Frequenz gilt als korrekt erraten, wenn die aufgeschriebene Frequenz max. 100 Hz von der abgespielten Frequenz abweicht. In dem Fall erhält der Lernende einen Punkt. Wer am Ende die meisten Punkte hat, gewinnt.

Unterrichtseinheit 9:

- ▶ „Wie kann man Frequenzen beschreiben?“
(Versuch und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson öffnet z. B. auf einem Computer einen Online-Ton-Generator (z. B. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>). Es empfiehlt sich, den Computer mit einem Lautsprecher zu verbinden, damit die Lernenden den Ton gut hören können. Die Lehrperson spielt vorgegebene Frequenzen ab und die Lernenden sollen per Strich auf einem Kontinuum angeben, wie laut und wie tief sie die Frequenz wahrnehmen.

Unterrichtseinheit 10:

- ▶ „Kann man Infraschall einer Windkraftanlage wahrnehmen?“
(Video und Arbeitsblatt)

Die Lehrperson zeigt den Lernenden das YouTube-Video „Können wir Infraschall von Windkraftanlagen wahrnehmen?“.

Im Video ist zu sehen, wie sich die Lautstärke des Infraschalls in Abhängigkeit von der Entfernung entwickelt. Die Lernenden sollen dieses erarbeitete Wissen bei der Bearbeitung des Arbeitsblatts anwenden.

4

Arbeitsblätter

Kopiervorlagen

EINLEITUNG

Alles eine Frage der Schwingung

Im Video „Wie entsteht Schall? (Highspeed-Aufnahmen)“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) konntet ihr ausgewählte Zeitlupenaufnahmen unterschiedlicher Schallquellen sehen. Schall entsteht durch schnelle Schwingungen eines Objektes.



DURCHFÜHRUNG



a) Nennt das Objekt, welches bei den folgenden Tönen und Geräuschen schwingt:













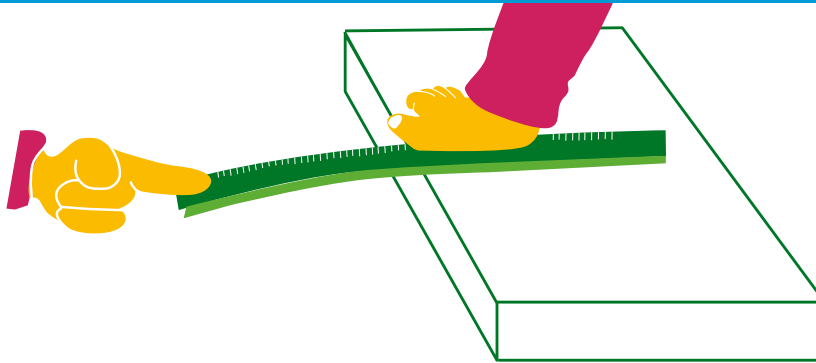
b) Beschreibt weitere Objekte, die durch Schwingungen Töne bzw. Geräusche erzeugen können:

EINLEITUNG

Das schwingende Lineal

Bisher habt ihr gelernt, dass Schall durch ein schwingendes Objekt entsteht. Wie hängt wohl die Art der Schwingung mit unterschiedlichen lauten und hohen Tönen zusammen? Findet es mit folgendem Experiment heraus!

AUFBAU

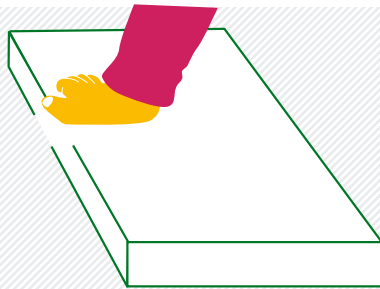


DURCHFÜHRUNG

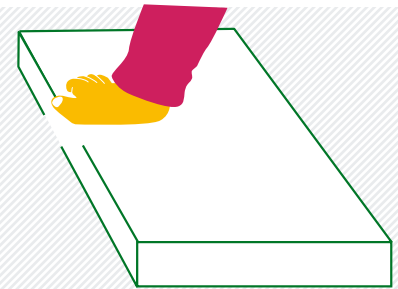


1. Baut den Versuch wie in der Abbildung zu sehen auf!
2. Versucht, mithilfe des Lineals unterschiedlich hohe und unterschiedlich laute Klänge zu erzeugen. Haltet eure Ergebnisse fest, indem ihr die folgenden Skizzen vervollständigt (Bleistift!) und in Stichworten euer Vorgehen beschreibt.

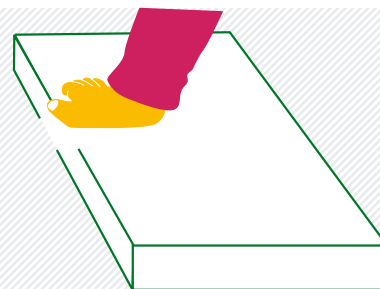
Hoher Klang



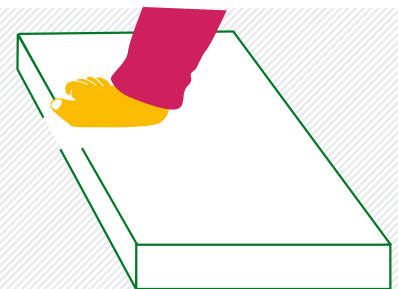
Tiefer Klang



Lauter Klang



Leiser Klang



EINLEITUNG

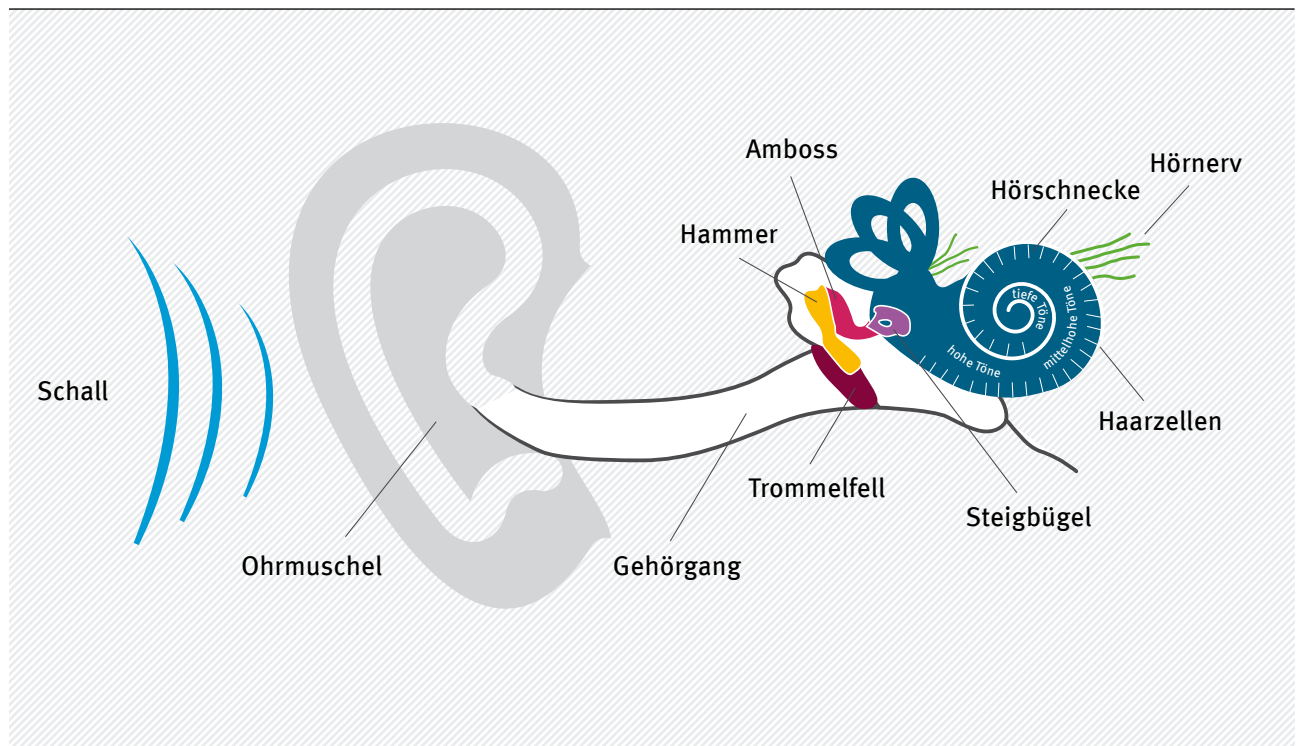
Das menschliche Ohr

Schaut euch zunächst folgenden Film „Funktionsweise des menschlichen Ohrs“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) an.

In der Abbildung seht ihr den Aufbau des menschlichen Ohrs.



Das menschliche Ohr



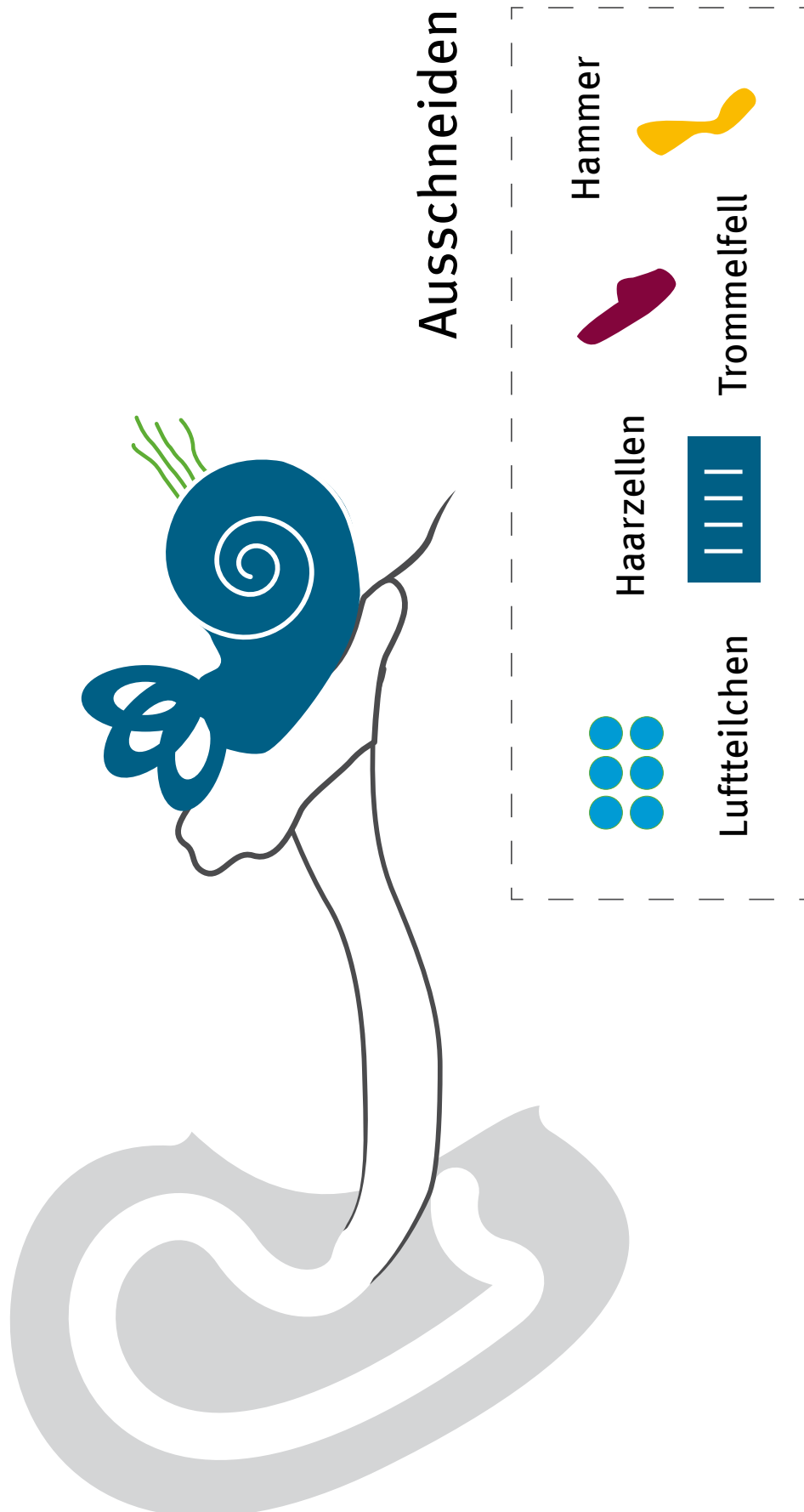
Quelle: eigene Darstellung, Mann beißt Hund - Agentur für Kommunikation GmbH

Der Schall (schwingende Luftteilchen) wird durch die Ohrmuschel und den Gehörgang auf das Trommelfell geleitet. Durch die Bewegung der Luftteilchen wird das Trommelfell ebenfalls in Schwingung versetzt. Die Schwingung überträgt sich auf die Gehörknöchelchen: den Hammer, den Amboss und den Steigbügel. Die Schwingung des Steigbügels überträgt sich auf eine Flüssigkeit, mit der die Schnecke gefüllt ist. Je nach Frequenz, also je nachdem, wie schnell

die Schwingung hin und her geht, werden bestimmte Haarzellen zum Schwingen angeregt. Ein hoher Ton (hohe Frequenz = schnelle Schwingung) regt die Haarzellen für die hohen Töne an. Ein tiefer Ton regt die Haarzellen für tiefe Töne an. Die Bewegung der Haarzellen wird vom Hörnerv registriert und über den Hörnerv an das Gehirn weitergeleitet. Das Gehirn wandelt die Schwingung der Haarzellen so um, dass wir etwas hören.



Stellt mithilfe der Zeichnungen den Vorgang des Hörens in einer Stop-Motion-Animation dar!



EINLEITUNG

Hörgrenzen

Um Hunde zu rufen, setzen einige Menschen sogenannte Hundepfeifen ein. Den Ton dieser Pfeifen können Menschen zum Teil gar nicht hören, sondern nur Hunde. Außerdem ändert sich im Laufe des Lebens der Tonbereich, den Menschen hören. So können ältere Menschen in der Regel hohe Frequenzen immer schlechter hören. Welche Frequenzen kannst du noch wahrnehmen? Finde es heraus!

AUFBAU



1. Die Lehrperson öffnet auf ihrem Computer einen Online-Ton-Generator (z. B. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>).
2. Die Lehrperson spielt zunächst eine Frequenz von 440 Hz ab.
3. Nach und nach erhöht bzw. verringert die Lehrperson die Frequenz. Die Lernenden werden gebeten, so lange ihre Hand oben zu halten, bis sie nichts mehr hören, und diese Frequenz einzutragen.



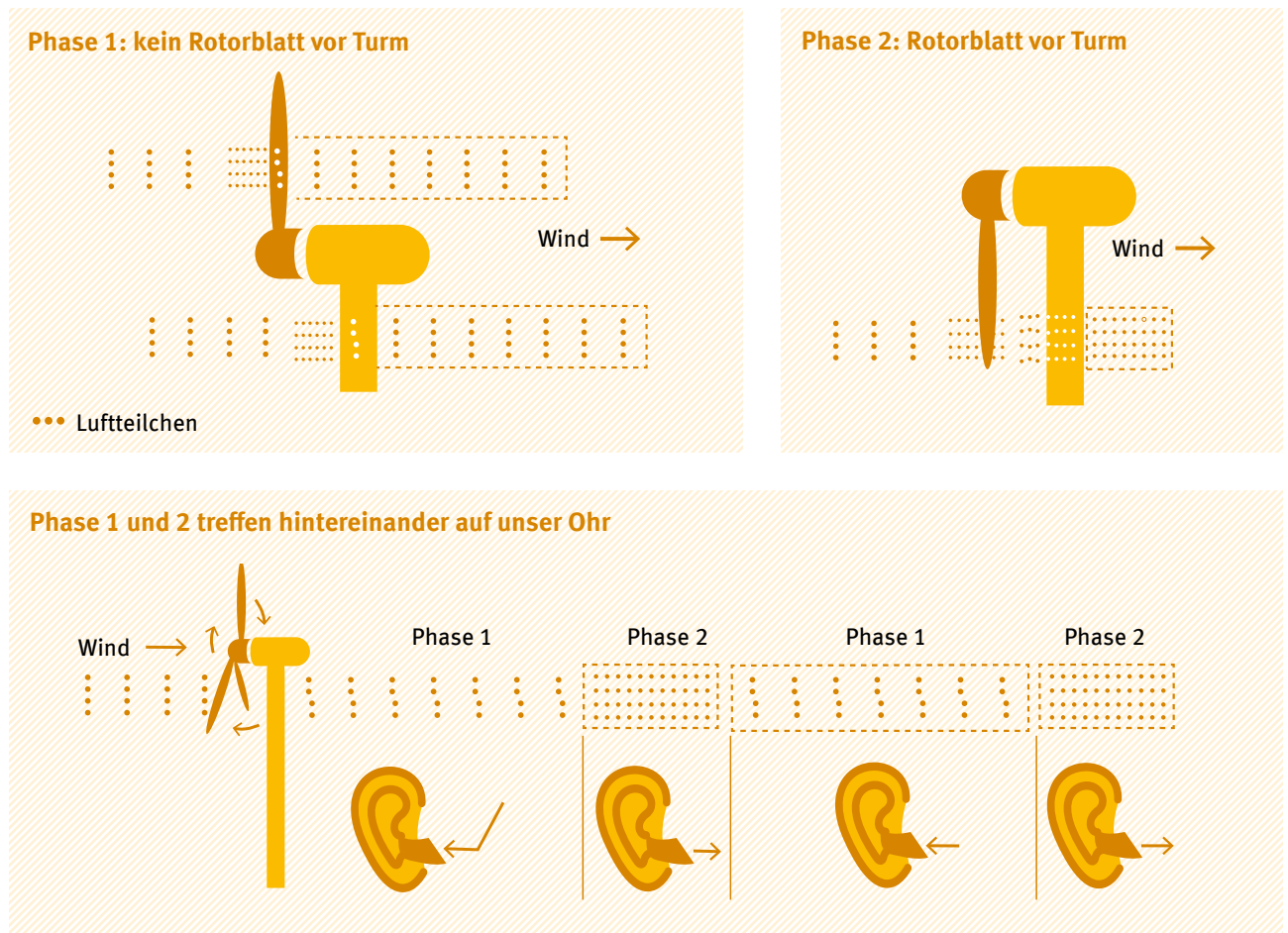
DURCHFÜHRUNG



Höchste Frequenz, die ich gerade nicht mehr höre: _____

Tiefste Frequenz, die ich gerade nicht mehr höre: _____

Informationstext: Infraschall durch Windenergieanlagen



Eine Windenergieanlage besteht in der Regel aus einem hohen Turm und drei Rotorblättern, die sich ab einer bestimmten Windstärke drehen. Um zu erklären, wie bei einer Windenergieanlage Infraschall entsteht, teilen wir den Vorgang in zwei Phasen ein. In der ersten Phase betrachten wir den Fall, dass kein Rotorblatt senkrecht nach unten zeigt und sich somit kein Rotorblatt direkt vor dem Turm befindet. In der zweiten Phase schauen wir uns an, was passiert, wenn eines der Rotorblätter senkrecht nach unten zeigt und sich somit direkt vor dem Turm befindet.

Phase 1: Kein Rotorblatt vor dem Turm

Die Luftströmung trifft auf den Turm der Windenergieanlage. Da der Turm dem Wind „im Weg steht“, verdichten sich die Luftteilchen direkt vor dem Fuß. Dadurch ist der Luftdruck vor dem Fuß höher als hinter dem Fuß. Da wir von einer gleichmäßigen Windgeschwindigkeit ausgehen, ist die Stauchung der Luftteilchen vor dem Fuß konstant groß und es wird kein Schall produziert. Diese gleichmäßige Strömung um den Fuß der Anlage erzeugt höchstens ein leises Strömungsgeräusch, das weiter keine Rolle spielt.

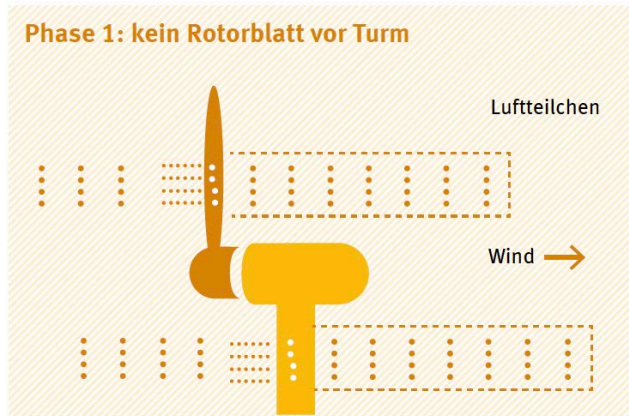
Phase 2: Rotorblatt vor dem Turm

Die Rotorblätter der Windenergieanlage entnehmen dem Wind Energie. Das heißt, hinter dem Rotorblatt steckt weniger Energie im Wind als davor. Und weniger Energie im Wind bedeutet, dass die Windgeschwindigkeit direkt hinter dem Rotorblatt reduziert ist. Eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit führt direkt vor dem Fuß immer noch zu einer Stauchung der Luftteilchen (bzw. Erhöhung des Luftdrucks). Die Luftteilchen sind jedoch ein wenig geringer zusammengestaucht als in Phase 1. Dieses hat Auswirkungen auf die Windgeschwindigkeit hinter dem Fuß und damit auch auf den Luftdruck hinter dem Fuß. Das heißt, jedes Mal, wenn ein Rotorblatt sich vor dem Fuß vorbei bewegt, kommt es zu einer Luftdruckschwankung hinter dem Fuß. Diese Luftdruckschwankungen breiten sich in die Umgebung aus. Sie treffen auf unser Trommelfell und versetzen dieses in Schwingungen. Diese Schwingungen sind jedoch so langsam, dass wir keinen Ton hören.

DURCHFÜHRUNG

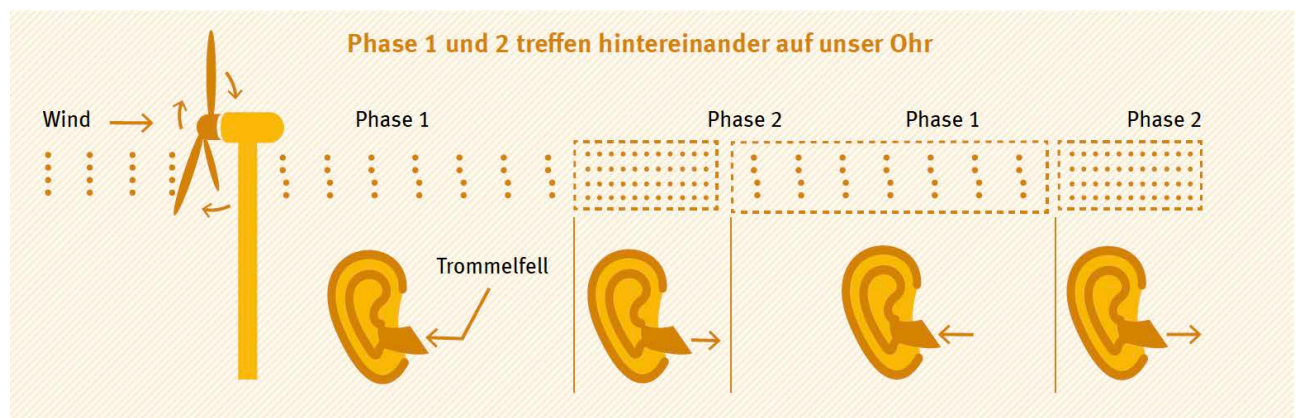
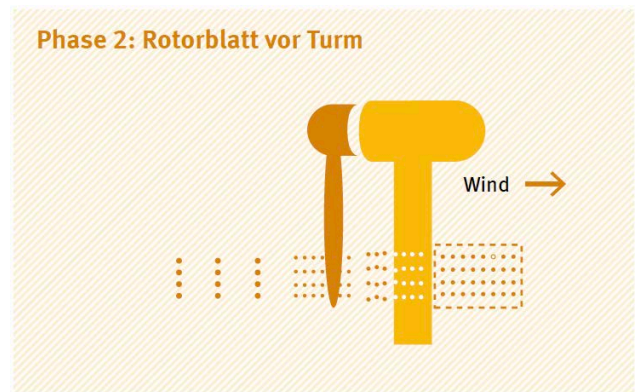


Schaut euch den Film „Wie entsteht Infraschall bei Windkraftanlagen?“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) an, lest euch den Informationstext durch und erklärt die folgenden Abbildungen:



Erklärung:

Erklärung:



Erklärung:

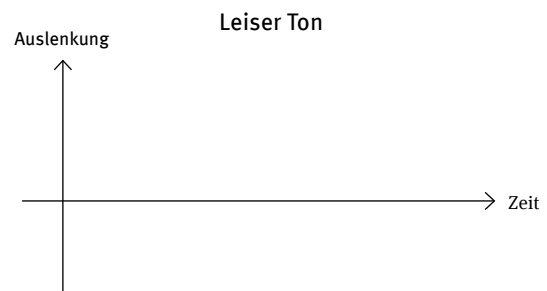
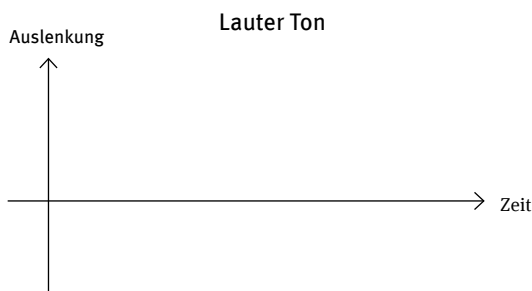
EINLEITUNG

Wie kann man Schall darstellen?

Mithilfe eines schwingenden Lineals habt ihr es geschafft, unterschiedlich lauten und unterschiedlich hohen Schall zu erzeugen. Je stärker ihr das Lineal ausgelenkt habt, desto lauter klang der Schall. Je geringer der Überstand des Lineals war, desto höher klang der Schall. Wissenschaftler haben sich überlegt, wie man die Lautstärke und die Tonhöhe von Schall zeichnerisch darstellen kann. Das Lineal hilft uns dabei ...

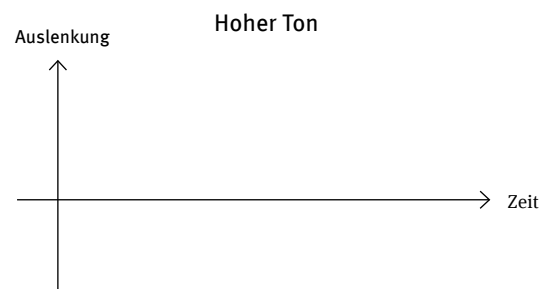


a) Schaut euch den Film „Auslenkung-Zeit-Diagramm – Lautstärke“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) an, zeichnet jeweils ein Auslenkung-Zeit-Diagramm zu folgenden Beispielen und ergänzt den anstehenden Satz:



Je lauter der Ton, desto _____

b) Schaut euch den Film „Auslenkung-Zeit-Diagramm – Tonhöhe“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) an, zeichnet jeweils ein Auslenkung-Zeit-Diagramm zu folgenden Beispielen und ergänzt den anstehenden Satz:



Je höher der Ton, desto _____

EINLEITUNG

Frequenzen erraten

Mit einem Tongenerator kann man Töne unterschiedlicher Frequenz abspielen. Zeige, wie gut du **hören** kannst, und errate die Frequenz unterschiedlicher Töne.

AUFBAU



1. Die Lehrperson öffnet auf ihrem Computer einen Online-Ton-Generator (z. B. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>).



2. Die Lehrperson spielt unterschiedliche Frequenzen ab und die Lernenden sollen diese erraten. Die Frequenz gilt als korrekt erraten, wenn die aufgeschriebene Frequenz max. 100 Hz von der abgespielten Frequenz abweicht. In dem Fall erhält der Lernende einen Punkt. Wer am Ende die meisten Punkte hat, gewinnt.

DURCHFÜHRUNG

**Frequenz 1:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 2:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 3:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 4:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 5:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 6:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 7:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein **Frequenz 8:**

Abgespielte Frequenz: _____

Erratene Frequenz: _____

Punkt: Ja Nein

Gesamtpunktzahl: _____

EINLEITUNG

Wie kann man Frequenzen beschreiben?

Dass es unterschiedlich hohe und laute Töne gibt, wisst ihr bereits. Aber gibt es auch einen direkten Zusammenhang zwischen der Lautstärke eines Tons und seiner Frequenz? Findet es heraus!

AUFBAU



1. Die Lehrperson öffnet auf ihrem Computer einen Online-Ton-Generator (z. B. <https://www.szynalski.com/tone-generator/>).
2. Die Lehrperson spielt folgende Frequenzen ab und die Lernenden sollen per Strich auf einem Kontinuum angeben, wie laut sie die Frequenz wahrnehmen und wie tief.



DURCHFÜHRUNG



Frequenz 1: 1000 Hz	tief	—————X	hoch	leise	—————X	laut
Frequenz 2: 800 Hz	tief	—————	hoch	leise	—————	laut
Frequenz 3: 600 Hz	tief	—————	hoch	leise	—————	laut
Frequenz 4: 400 Hz	tief	—————	hoch	leise	—————	laut
Frequenz 5: 200 Hz	tief	—————	hoch	leise	—————	laut
Frequenz 6: 100 Hz	tief	X—————	hoch	leise	X—————	laut

Ergebnis: _____

EINLEITUNG

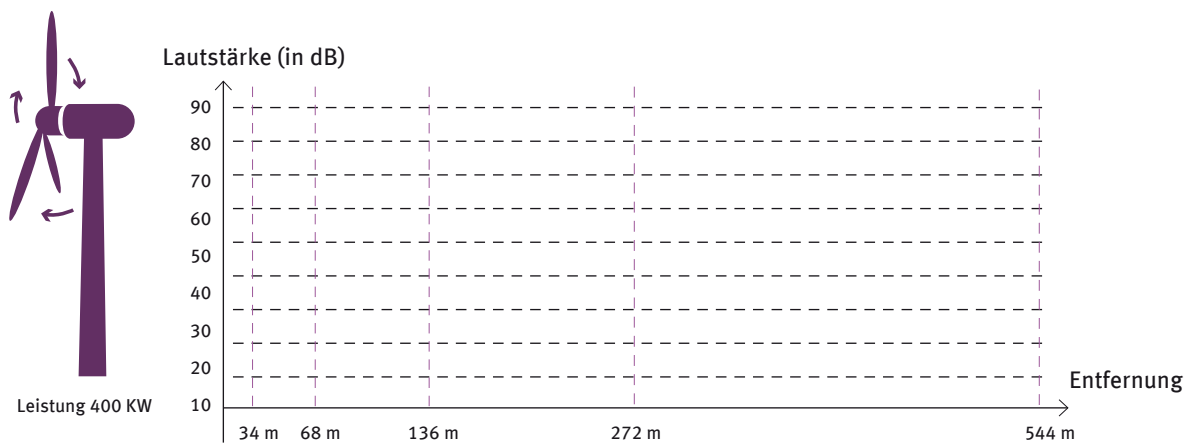
Kann man Infraschall einer Windenergieanlage wahrnehmen?

Aus dem Alltag wisst ihr bereits, dass die wahrgenommene Lautstärke eines Objekts davon abhängt, wie weit man von diesem Objekt entfernt ist. Wie weit muss man von einer Windenergieanlage entfernt sein, damit die Lautstärke des Infraschalls unterhalb der Wahrnehmungsgrenze liegt?

DURCHFÜHRUNG



- a) Schaut euch den Film „Können wir Infraschall von Windkraftanlagen wahrnehmen?“ (umweltbundesamt.de/infraschallerklaert) an.
- b) Zeichnet ausgehend von einer Lautstärke von 50 dB (Frequenz: 10 Hz) bei einer Entfernung von 544 Metern ein Lautstärken-Entfernung-Diagramm, das die Lautstärke des Infraschalls der Windenergieanlage darstellt, und zeichnet die Wahrnehmungsgrenze für Schall mit einer Frequenz von 10 Hz ein.
- c) Erläutert das Diagramm.



Erläuterung:

5

Lösungen

für Lehrkräfte

Lösungen zu den Aufgaben

Alles eine Frage der Schwingung

a) Mensch: Stimmlippen, Wecker: Glocken, Flugzeug: Triebwerke, Mücke: Flügel, Schlagzeug: Bass, Snare Drum u. a., Gitarre: Saiten

b) Wenn man eine Stimmgabel anschlägt, schwingen die Stimmgabelzungen schnell hin und her. Beim Lautsprecher schwingt die Membran. Streicht man mit einem nassen Finger über ein Glas, fängt dieses an zu schwingen. Es gibt noch eine Vielzahl weiterer richtiger Lösungen.

Das schwingende Lineal

Hoher Klang: Der Überstand des Lineals ist gering. Tiefer Klang: Der Überstand des Lineals ist groß.

Lauter Klang: Das Lineal wird stark ausgelenkt. Leiser Klang: Das Lineal wird schwach ausgelenkt.

Infraschall bei Windenergieanlagen

Phase 1: kein Rotorblatt vor dem Turm

Die Luftströmung trifft auf den Turm der Windenergieanlage. Da der Turm dem Wind im Weg steht, verdichten sich die Luftteilchen direkt vor dem Fuß. Dadurch ist der Luftdruck vor dem Fuß höher als hinter dem Fuß. Da wir von einer gleichmäßigen Windgeschwindigkeit ausgehen, ist die Stauchung der Luftteilchen vor dem Fuß konstant groß und es wird kein Schall produziert. Diese gleichmäßige Strömung um den Fuß der Anlage erzeugt höchstens ein leises Strömungsgeräusch, das weiter keine Rolle spielt.

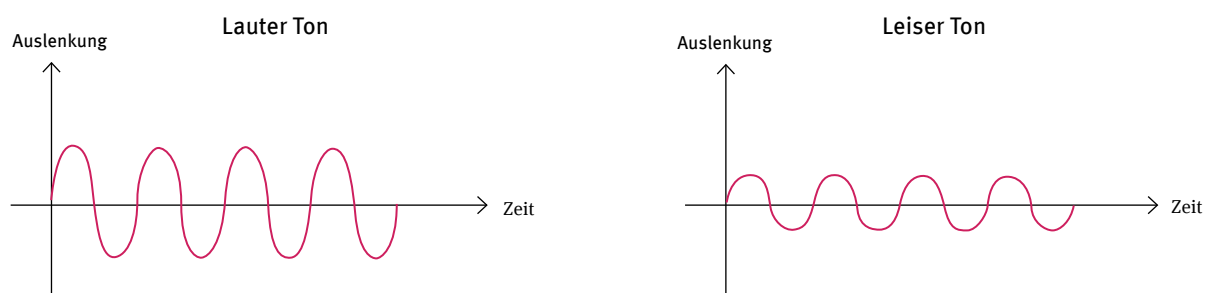
Phase 2: Rotorblatt vor dem Turm

Die Rotorblätter der Windenergieanlage entnehmen dem Wind Energie. Das heißt, hinter dem Rotorblatt steckt weniger Energie im Wind als davor. Und weniger Energie im Wind bedeutet, dass die Windgeschwindigkeit direkt hinter dem Rotorblatt reduziert ist. Eine Reduzierung der Windgeschwindigkeit führt direkt vor dem Fuß immer noch zu einer Stauchung der Luftteilchen (bzw. Erhöhung des Luftdrucks). Die Luftteilchen sind jedoch vor dem Turm ein wenig geringer zusammengestaucht als in Phase 1. Das führt dazu, dass die Luftteilchen hinter dem Turm langsamer sind und stärker zusammengestaucht sind als in Phase 1.

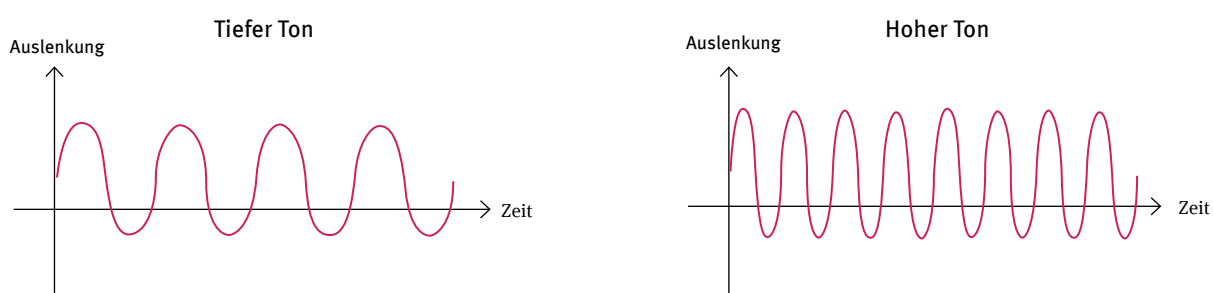
Phasen 1 und 2 treffen hintereinander auf unser Ohr

Jedes Mal, wenn ein Rotorblatt sich vor dem Fuß vorbei bewegt, kommt es zu einer Luftdruckschwankung hinter dem Fuß. Diese Luftdruckschwankungen breiten sich in die Umgebung aus. Diese Luftdruckschwankungen treffen auf unser Trommelfell und versetzen dieses in Schwingungen. Diese Schwingungen sind jedoch so langsam, dass wir keinen Ton hören.

Wie kann man Schall darstellen?

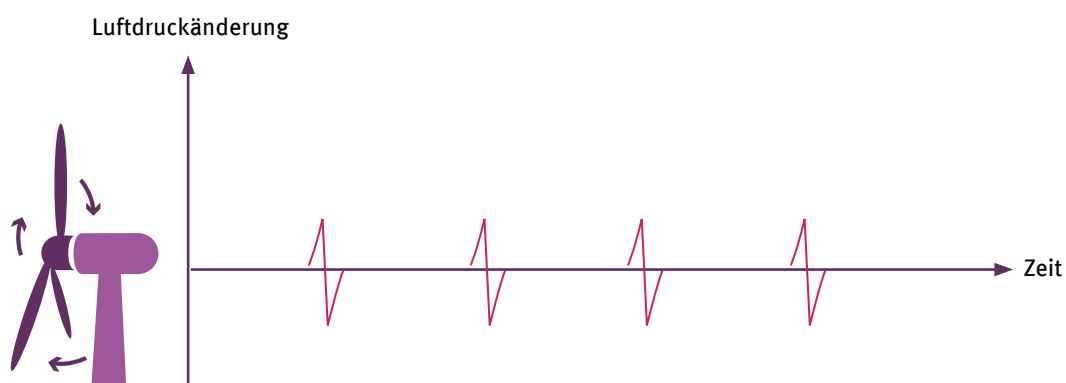


Je lauter der Ton, desto stärker ist die Auslenkung. Je leiser der Ton, desto schwächer ist die Auslenkung.



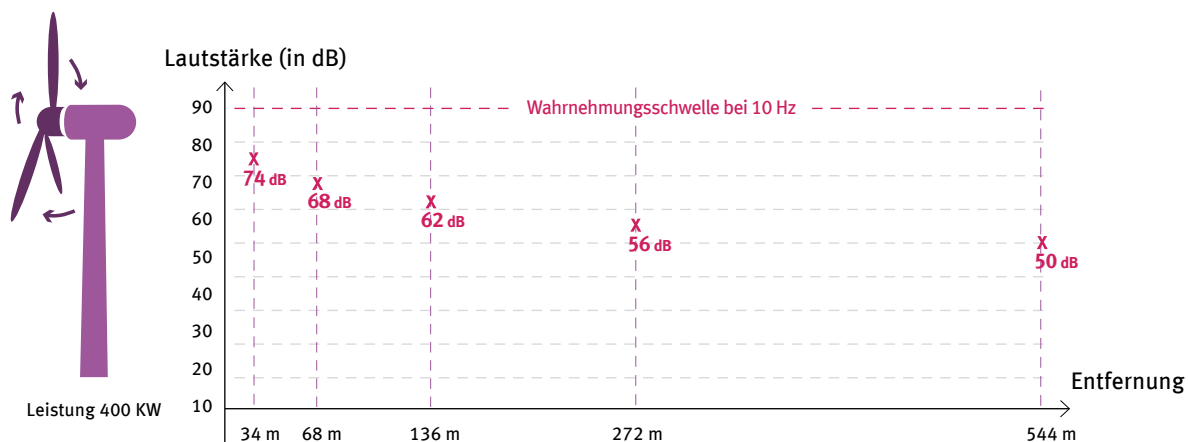
Je tiefer der Ton, desto größer ist der Abstand zwischen zwei Wellenbergen bzw. Wellentälern. Je höher der Ton, desto kleiner ist der Abstand zwischen zwei Wellenbergen bzw. Wellentälern.

Wie kann man Infraschall einer Windenergieanlage darstellen?



Jedes Mal, wenn ein Rotorblatt sich vor dem Turm der Windenergieanlage vorbei bewegt, kommt es zu einer Änderung des Luftdrucks hinter dem Turm. Diese Luftdruckänderungen breiten sich in die Umgebung aus, treffen auf unser Ohr und versetzen das Trommelfell in Schwingungen. Da diese Schwingungen jedoch eine so geringe Frequenz haben und weniger als 20-mal pro Sekunde auf unser Ohr treffen, hören wir keinen Ton. Schall, der eine so geringe Frequenz besitzt, nennt man Infraschall.

Kann man Infraschall einer Windenergieanlage wahrnehmen?



Auf große Entfernungen nimmt die Lautstärke von Infraschall langsamer ab als der Hörschall. Die Abnahme folgt fast nur geometrischen Gesetzmäßigkeiten: Verdoppelt man den Abstand zur Windenergieanlage, verteilt sich die Schallenergie auf die vierfache Fläche. Entsprechend sinkt der Pegel bei einer Verdopplung der Entfernung um nur sechs Dezibel. Selbst bei einer Entfernung von 34 Metern liegt man bei unserem Beispiel für eine Frequenz von 10 Hz deutlich unterhalb der Wahrnehmungsschwelle.

 www.facebook.com/umweltbundesamt.de
 www.twitter.com/umweltbundesamt
 www.youtube.com/user/umweltbundesamt
 www.instagram.com/umweltbundesamt/