

Spektrale Klänge



Marco Nicolini

Emmanuel Thibault



1 | Zusammenfassung

Jüngere Schüler sind oft von Musik fasziniert, nicht nur, weil sie auf vielen verschiedenen Geräten Musik hören, sondern auch, weil einige von ihnen auf unterschiedlichem Niveau ein Instrument spielen. Deshalb ist Musik eine gute Möglichkeit, Wellenphänomene und das Verhalten von Wellen zu untersuchen. Da Wellen in verschiedenen Bereichen der Physik und Naturwissenschaften vorkommen, kann Musik als Beispiel für ein weit verbreitetes naturwissenschaftliches Konzept dienen. Das Projekt konzentriert sich auf das sogenannte Klangspektrum, insbesondere auf die Gesamtbandbreite an Frequenzen, die ein Instrument erzeugen kann. Dieser Tonumfang charakterisiert ein Musikinstrument.

- ▶ **Stichwörter:** Klang, Frequenz, Kraft, Druck, Amplitude, Note, Tonhöhe, Timbre, Diagramme, Logarithmen
- ▶ **Fächer:** Physik, Musik, Mathematik
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 16–18 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Sound Spectrum Analyzer, n-Track Tuner
- ▶ **iOS-Apps:** iAnalyzer Lite
- ▶ **Zusätzliche Computer-Software:** Freeware Sound Card Oscilloscope SW, Scope 1.41

2 | Vorstellung des Konzepts

2 | 1 Die Wissenschaft dahinter

Klang ist eine gute Möglichkeit, Wellen zu untersuchen. Wellen sind in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen zu finden: Klang, Licht, Funkübertragung und elektromagnetische Felder, sowie alle periodischen Phänomene – regelmäßig wiederkehrende Ereignisse. Wellen stellen ein gutes mathematisches Modell zur Untersuchung des Verhaltens periodischer Abhängigkeiten dar. Laptops, Tablet-PCs und Smartphones können mit dem eingebauten Mikrofon und einem Analog-Digital-Wandler Klang in eine digitale Form bringen, das heißt in Zahlen umwandeln. Mit den Zahlen auf elektronischen Geräten können Graphen erstellt werden, die die Form der Wellen und die Eigenschaften des Klangs darstellen. Für jedes Betriebssystem lassen sich zahlreiche Oszilloskop-Apps finden, die mit dem integrierten Mikrofon des Smartphones arbeiten. Die meisten verfügen über alle Funktionen, die zur Untersuchung von Wellen nötig sind. Deshalb schaffen Klänge und Smartphones der Klasse schnellen Zugang zum Thema Wellen. Viele interessante Eigenschaften von Wellen lassen sich mit einer Oszilloskop-App visualisieren. Bei dieser Aufgabe untersuchen und visualisieren wir Wellen in einer Zeit- und vor allem auch in einer Frequenzdimension. Die Darstellung von Wellen in einer Zeitdimension umfasst die Sinuskurve einer Welle, so dass ihre Periode, Frequenz und Wellenlänge sichtbar werden. Die Untersuchung von Wellen in einer Frequenzdimension wird in der Wissenschaft als Untersuchung



des Wellenspektrums bezeichnet. Darum geht es hauptsächlich in dieser Einheit.

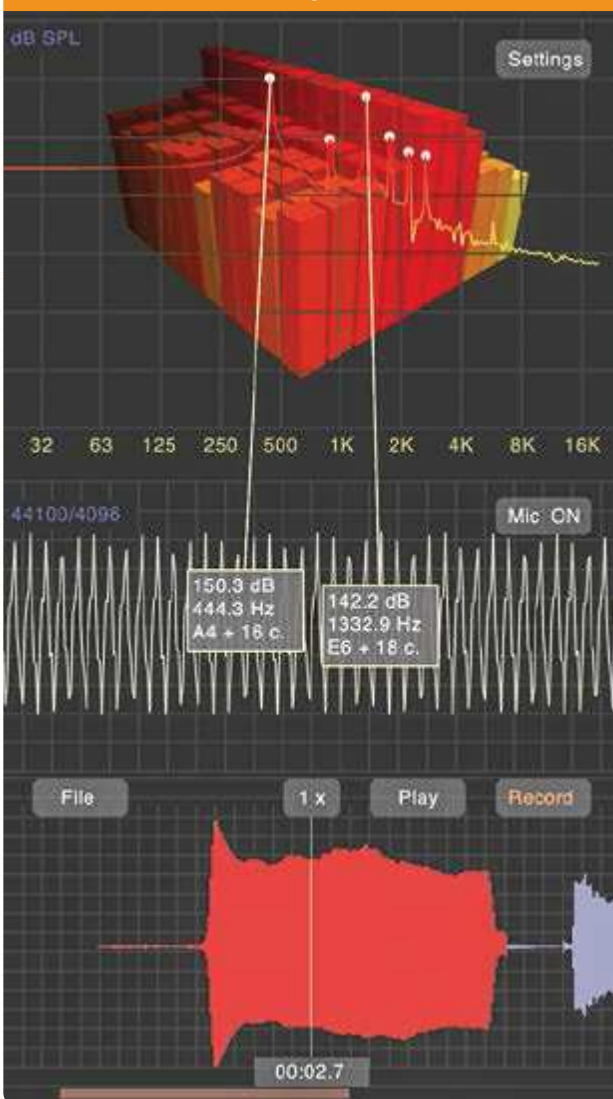
2 | 2 Bezug zum Lehrplan

Wir haben dieses Projekt in Italien und Frankreich erarbeitet und durchgeführt. Wellen als allgemeines Thema der Akustik und Optik werden in Italien in den letzten Jahren an den weiterführenden Schulen, wenn die Schüler 17–18 Jahre alt sind, durchgenommen. In Frankreich wird akustische Musik im letzten Jahr vor dem Baccalauréat (Abschluss der Sekundarstufe in Frankreich) in den Wahlfächern der Schüler durchgenommen. Die Konzepte der Intensität, der Tonhöhe und des Timbres (der Klangfarbe) lernen alle Schüler im letzten Jahr vor dem Baccalauréat in der Lerneinheit „Eigenschaften von Wellen“ im Physikunterricht.

3 | Aufgabe der Schüler

- ▶ Die Schüler laden eine App herunter. Sie können unter den o. g. Apps wählen oder selbst eine suchen.
- ▶ Die Testinstrumente werden ausgewählt. Die Schüler sollten die Spektrumsmessungen am besten an verschiedenen



ABB.1 Screenshot: iAnalyzer Lite


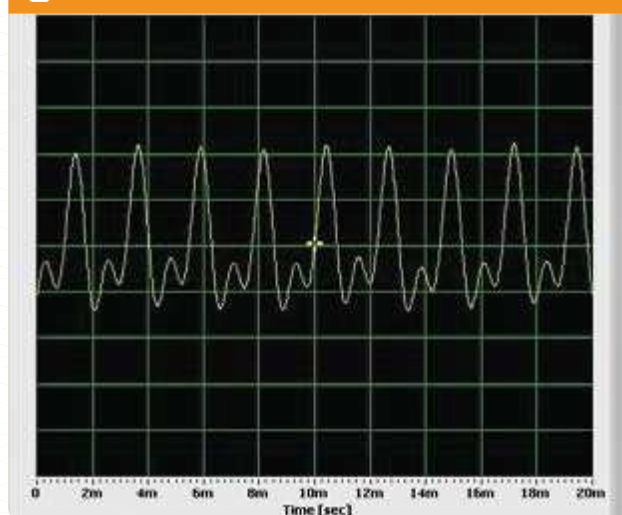
Instrumenten durchführen, darunter Saiten-, Holzblas-, Blechblas- und Schlaginstrumente, denn die erhaltenen Spektren lassen sich gut unterscheiden. Verschiedene Instrumentenfamilien erzeugen unterschiedliche harmonische Reihen. Es ist auch eine gute Idee, die Spektren einer Stimmgabel, eines Tons aus einer elektronischen Quelle und einer menschlichen Stimme aufzunehmen und zu analysieren, um sie mit den Instrumenten zu vergleichen.

- ▶ Auswahl einer Reihe Testfrequenzen. Diese Frequenzen werden dann von allen Instrumenten gespielt. Wir einigten uns beispielsweise auf das eingestrichene C, F, G und A, gespielt auf einer Geige, Gitarre und Klarinette, auf einem Keyboard (das hunderte Töne und Klangfarben erzeugen kann), einer elektrischen Gitarre und einer Oboe.
- ▶ Beginn der Aufnahmephase. Der Schüler, der die Rolle des „Musikers“ übernimmt, beginnt mit einer Note, ein anderer

ABB.2 Screenshot: Sound Spectrum Analyzer


Schüler startet dabei die Aufnahme über die App, mit dem Smartphone etwa einen Meter vom Instrument entfernt. Nach einigen Sekunden wird die Aufnahme gestoppt und die Datei oder ein Screenshot gespeichert.

- ▶ Die Schüler sollten jedes aufgenommene Spektrum in einer Datei mit einem aussagekräftigen Namen speichern, so dass sie die Note und das Instrument später wiedererkennen.
- ▶ Da die Schüler wahrscheinlich unterschiedliche Apps und Smartphones nutzen, sollte für jedes Spektrum eine gemeinsame Referenz verwendet werden, unabhängig von der Empfindlichkeit des Mikrofons im Smartphone und der zeitlichen Auflösung der App. Wir haben die Freeware Sound Card Oscilloscope SW, Scope 1.41, genutzt. Zu ihren Funktionen gehört ein gutes Spektrumsanalysefenster, das sich hervorragend für den Unterricht eignet.

ABB.3 Tonwellen einer Flöte


- ▶ Nach der Aufnahme der Spektren für jede Note und jedes einzelne Instrument sollen die Schüler die erzeugten Graphen analysieren und alle Frequenzspektren aller Instrumente vergleichen. Eine Tabelle ähnlich wie in **ABB. 4** kann ihnen helfen, Unterschiede und Analogien zu analysieren.



ABB.4 Eine Tabelle kann helfen, Unterschiede und Analogien zu analysieren

Instrument	Note			
	C4	F4	G4	A4/440
Gitarre (akustisch)				
Gitarre (elektrisch)				
Violine				
Klarinette				

- ▶ Vor Beendigung der Aufnahmephase können die Schüler noch das Spektrum einer Stimmgabel, elektronisch gespielter Noten (es gibt zahlreiche Softwareprogramme für PC und Smartphone, die Töne erzeugen) sowie derselben Noten mit der Stimme des besten Sängers unter ihnen aufnehmen.
- ▶ Jetzt können die Spektren des Orchesters untersucht werden. Es ist sehr interessant, die Graphen der Saiteninstrumente (Gitarre, Geige), der Holzbläser (Klarinette, Flöte), der Blechbläser (Trompete, Horn) und der Schlaginstrumente zu untersuchen und Analogien und Unterschiede zu finden.

Auf den ersten Blick sieht man bei jedem Instrument auffällige Spitzen im Spektrum. Dies sind die Amplituden (y-Achse) der Frequenzen (x-Achse), aus denen die harmonische Reihe der gespielten Note besteht. Die niedrige Frequenz ist normalerweise der Grundton und die Note, die auch gespielt wurde. Man stellt außerdem fest, dass eine Stimmgabel eine perfekte Linie im Diagramm erzeugt, wohingegen die menschliche Stimme, egal wie scharf sie ist, eine komplexere Linie erzeugt. Diese Linie ist die Summe aller Frequenzen, die die Stimme des Schülers erzeugt.

Wir schlagen vor, den Schülern zu diesem Zeitpunkt eine Aufgabe mittels entdeckendem Lernen vorzustellen, um sie in die Spektrumsanalyse einzuführen. Diese sollte auf einem Fragebogen mit folgenden Fragen basieren:

- ▶ Beschreibe, was auf dem Bild zu sehen ist.
- ▶ Warum glaubst du, dass manche Frequenzen auffälliger sind als andere?
- ▶ Kannst du eine Abhängigkeit oder eine Beziehung zwischen den auffälligen Frequenzen erkennen?
- ▶ Kannst du die Abhängigkeit erklären?

Weitere Aufgaben:

1. Untersuchung der mathematischen Konstruktion der temperierten Tonleiter und Ableitung der Tonhöhe eines Instruments.
 - ▶ Die Schüler sollten ein Protokoll vorschlagen, um die Beziehungen zwischen den verschiedenen Noten der temperierten Tonleiter zu prüfen. In verschiedenen Dokumenten finden sie die richtige Formel.
 - ▶ Dann werden sie gebeten, eine lineare Beziehung zwischen der Höhe einer von vier Noten der Tonleiter und der Nummer n dieser Note in der Bandbreite zu finden. Dazu kann eine Tabelle mit der Nummer der Note erstellt werden.
 - ▶ Dann nehmen sie nach dem Herunterladen der mobilen App verschiedene Töne einer Stimpfpeife auf. Sie können die Tonhöhe aus dem erhaltenen Spektrum ableiten.
 - ▶ Zuletzt zeichnen sie einen Graphen zur Beziehung zwischen $\log(f_n)$ und der Nummer n der Noten in der temperierten Tonleiter. Sie sollten eine affine Funktion mit dem Leitkoeffizienten $\log(a)$ erhalten. Dann können sie den Wert mit dem theoretischen Wert vergleichen.
2. Entdeckung, dass die Tonhöhe einer Panflöte umgekehrt proportional zur Länge des jeweiligen Rohrs ist.
 - ▶ Die Schüler sollen die theoretische Beziehung zwischen der Höhe des erzeugten Tons und der Länge des Rohrs der Panflöte herausfinden.
 - ▶ Dann sollen sie ein Protokoll zur Prüfung dieser Beziehung vorschlagen, bei dem die Panflöte, der Spektrumsanalysator auf dem Smartphone und eine Tabelle für den Graphen verwendet werden. Zuletzt setzen sie ihr Protokoll selbst um.
3. Betonung der Tatsache, dass die Tonhöhe einer Note auf dem Xylophon proportional zur Länge des jeweiligen Klangstabs ist.
 - ▶ Die Schüler schlagen ein experimentelles Protokoll vor, mit dem der Einfluss der Länge des kleinen Stabs auf die Tonfrequenz überprüft werden kann. Dieses Protokoll



muss den Plan eines Graphen mit einer Modelldarstellung enthalten.

- Dann sollen die Schüler ihr Protokoll umsetzen.

4 | Option zur Kooperation

Schüler aus verschiedenen Schulen können zusammenarbeiten und so die Spektren verschiedener Instrumente analysieren. Sie können auch dieselben Instrumente analysieren und ihre Ergebnisse vergleichen. Eine weitere Idee wäre, dass verschiedene Schulen sich auf verschiedene Instrumententypen konzentrieren könnten, d. h. eine Schule analysiert Holzblasinstrumente und eine Blechblasinstrumente. Anschließend kann man die Spektren vergleichen und Unterschiede und Analogien herausarbeiten.

Sollte es in der Gegend eine Instrumentenwerkstatt geben, könnte man die Spektren der Instrumente direkt an ihrem Entstehungsort messen. In Italien gibt es beispielsweise dank der Stradivari-Tradition ein Geigenbauzentrum um Cremona. Probespektren können in verschiedenen Stadien des Instrumentenbaus genommen werden, so dass die Schüler verstehen, wie die Bauteile das Spektrum und die erzeugten Tonwellen beeinflussen.

5 | Fazit

Die Schüler können lernen, die komplexe Welt periodischer Ereignisse und Wellenlängenphänomene zu verstehen, indem sie den einfachsten und sichtbarsten Teilbereich untersuchen: die Akustik. Das Projekt zeigt insbesondere auf, in welcher Form ein Klang aus verschiedenen Frequenzen besteht und wie verschiedene Frequenzen sich zu einem Klang zusammensetzen lassen. Die Schüler lernen das Know-how, das zur Analyse eines Klangspektrums notwendig ist, erkennen die Tonwellen einer Note und verstehen, wie die Amplitude mit der Frequenz zusammenhängt. Danach können sie auch ein Lichtspektrum oder ein elektromagnetisches Spektrum analysieren. Das Projekt soll jüngere Schüler auch dazu motivieren, die Erzeugung von Klängen durch unterschiedliche Instrumente zu erforschen – die unterschiedliche Tonwellenentstehung in Holzblas-, Blechblas- und Saiteninstrumenten sowie die Resonanz bei Saiten im Vergleich zu Rohren.

Persönliche Erfahrung

Wenn man damit beginnt, mit den Schülern eine Welle in der Zeitdimension zu untersuchen, zeigt man ihnen eine einfache Sinuskurve. In der Frequenzdimension könnten sie dann auf Schwierigkeiten stoßen, da sie nur Linien sehen. Die Schüler sollten dazu Logarithmen verstehen: Die Amplitude (Druck oder Energie) wird immer auf der y-Achse in Dezibel ausgedrückt, also sollten sie die Dezibelskala lesen können. Die

Schüler müssen den Gebrauch von Apps üben, um Tonwellen erkennen zu können und diese als Vielfache der Grundfrequenz zu verstehen. Normalerweise wird zusammen mit den Noten auch ein Hintergrundgeräusch aufgenommen, wenn man nicht im Tonstudio arbeitet, so dass die Schüler die Fähigkeit haben müssen, diesen Hintergrundbereich zu erkennen und auszublenden. Außerdem bieten die meisten Premium-Apps auch die Möglichkeit, ein Spektrum als Datei zu speichern, aber in einer kostenlosen App-Version müssen die Schüler einen Screenshot vom Graphen machen, was zu Umsetzungsproblemen führen könnte.

Da nicht alle Apps aus der Liste die Option anbieten, das Spektrum als Datei zu speichern, zumindest nicht in der kostenlosen Version, muss ein anderer Schüler dem Spieler des Instruments helfen, einen Screenshot der Daten zu erstellen. Die erzielten Graphen werden normalerweise als Bild untersucht.

Das Spektrum des Oszilloskops auf einem PC ist als gemeinsame Referenz für alle Apps stets nützlich.

Sie sollten den Schülern auch erklären, was die Tonwellen, die Tonhöhe, die Lautstärke und das Timbre einer Note sind.

Wenn Sie (für die E-Gitarre oder das Keyboard) einen Verstärker verwenden, dann müssen Sie daran denken, dass dieser wie ein Filter wirken kann und einige der Tonwellen, Lautstärken oder Basselemente herausnimmt.

Bitte beachten Sie, dass das Spektrum unerwünschte Geräusche enthalten kann. Insbesondere bei starker elektrischer Aktivität in der Nähe kann das Spektrum eine 50-Hz-Frequenz enthalten. Dies ist die Frequenz von (europäischem) Netzstrom, der zu akustischer Verzerrung führen kann.

Wir haben nach einer Einführung in die Themen Wellen und Klang mit diesem Projekt angefangen. Es kam vor allem bei Schülern, die selbst ein Instrument spielen, sehr gut an.



Impressum

Entnommen aus

iStage 2 - Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht erhältlich in Deutsch und Englisch www.science-on-stage.de/istage2

Herausgeber

Science on Stage Deutschland e.V.
Poststraße 4/5
10178 Berlin

Revision und Übersetzung

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH
www.transformcologne.de

Text- und Bildnachweise

Die Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt ihrer Texte verantwortlich.

Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

Illustration

tacke -atelier für kommunikation
www.ruperttacke.de

Bestellungen

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

Zur besseren Lesbarkeit wurde auf die Verwendung der weiblichen Form verzichtet. Mit der männlichen Form ist auch stets die weibliche Form gemeint.

Creative-Commons-Lizenz: Attribution
Non-Commercial Share Alike



1. Auflage 2014

© Science on Stage Deutschland e.V.



THE EUROPEAN NETWORK FOR SCIENCE TEACHERS

HAUPTFÖRDERER VON
SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND



Die Initiative für
Ingenieurnachwuchs

Ermöglicht durch



Science on Stage – The European Network for Science Teachers

... ist ein Netzwerk von Lehrkräften für Lehrkräfte aller Schularten, die Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) unterrichten.
... bietet eine Plattform für den europaweiten Austausch anregender Ideen und Konzepte für den Unterricht.
... sorgt dafür, dass MINT im schulischen und öffentlichen Rampenlicht steht.

Science on Stage Deutschland e.V. wird maßgeblich gefördert von think ING., der Initiative für den Ingenieurnachwuchs des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

Machen Sie mit!

WWW.SCIENCE-ON-STAGE.DE

Newsletter: www.science-on-stage.de/newsletter

www.facebook.com/scienceonstagedeutschland

www.twitter.com/SonS_D

Science on Stage Deutschland ist Mitglied in Science on Stage Europe e.V.

WWW.SCIENCE-ON-STAGE.EU

www.facebook.com/scienceonstageeurope

www.twitter.com/ScienceOnStage

