

Planspiel Wissenschaft: »Klangwelten«

Ein Konzept für *Scientific Inquiry* im Wahlpflichtunterricht

JÜRGEN M. KÜSTER – WILFRIED WENTORF – ILKA PARCHMANN

Online-Ergänzung

Schallausbreitung im Kontext Lärm:

Die Ausbreitung des Schalls als Welle mit einer bestimmten Geschwindigkeit ist Fachinhalt im Modul B. Vorgeschlagen wird hier zunächst die Direkte Instruktion der Schüler/innen durch die Lehrkraft mittels Demonstrationsexperimenten, Simulationen und Übungen. Im zweiten Teil des Moduls geht es um Schallpegelmessung und Schalldämmung. Diese beiden Themen eignen sich erneut zu forschenden Tätigkeiten der Schüler/innen. Hierfür wird ihnen zunächst wieder eine inhaltsbezogene Methode an die Hand gegeben. Mittels einer Freeware-App für Smartphones (z. B. <http://androidboy1.blogspot.de/>; 29.03.2015) lässt sich der Schallpegel in Dezibel (dB) verfolgen. Damit lassen sich kleine Forschungsaufträge realisieren, wie z. B. Lärmuntersuchungen im Straßenverkehr oder in der Schule (BERGE, 2000a, BERGE, 2000b). In einfachen Versuchen können Materialien zur Schalldämmung auf ihre Wirksamkeit hin untersucht werden. Die Schüler/innen können Entwicklungsaufträge für geeignete Versuchsdesigns oder das Finden zweckmäßiger Materialien bekommen und werden so in weitere Methoden des *Scientific Inquiry* eingeführt. Bezüge zu aktueller Forschung sind im Bereich der Seismologie und der Lärmforschung gegeben (siehe Experiment 2).

Schallwahrnehmung im Kontext Sound-Design:

Die Wahrnehmung des Schalls durch das Ohr und die Verarbeitung des Sinneseindrucks sind Inhalte des Moduls C. Unterschiede in der Tierwelt können thematisiert werden. Die Wahrnehmung des Menschen ist zudem individuell verschieden, insbesondere auch abhängig vom Alter. Hörgeräteakustiker bieten hierzu Untersuchungen an; dabei werden Audiogramme angefertigt, die die nach Frequenzen differenzierte Wahrnehmung darstellen. Solche Untersuchungen lassen sich auch mit Freeware-Programmen aus dem Internet durchführen (z. B. www.sax-gmbh.de; 25.03.2015). Mittels dieser inhaltsbezogenen Methode können nun wieder Untersuchungen gemacht werden. Messungen an einer größeren Anzahl Personen lassen statistische Auswertungen zu, mittels derer Hypothesen über die Hörfähigkeit überprüft werden können (siehe Experiment 3).

Die besondere Art der psychoakustischen Verarbeitung beim Menschen von Tönen verschiedener Frequenzen und Lautstärken in »Nachbarschaft« zu anderen Tönen macht sich das MP3-Verfahren zur Komprimierung digitaler Tondateien zunutze. Solche Verfahren des Sound-Designs lassen sich mit dem Programm *audacity* (www.audacity.sourceforge.net; 29.03.2015) und noch feiner mit *sonic visualiser* (http://www.sonicvisualiser.org; 29.03.2015) darstellen und analysieren. Mit den Freeware-Programmen lassen sich Audiodateien vergleichend untersuchen: verschiedene Datei-Formate, verschiedene Musik. Auch die Produktion und Analyse synthetischer »Musik« ist denkbar. Hieraus leitet sich auch der Kontext, »Sound-Design«, ab. Bezüge zu aktueller Forschung sind insbesondere in der angewandten industriellen Forschung gegeben (siehe Experiment 4).

Ultraschall im Kontext Sehen mit Schall:

Das letzte Inhaltsmodul behandelt den Ultraschall (US) und seine vielfältigen Anwendungen. Um den hochfrequenten Ultraschall wahrzunehmen, benötigt der Mensch, anders als manche Tiere, Messgeräte. Diese machen den nicht hörbaren Schall für uns sichtbar, daher der Titel des Kontextes: »Sehen mit Schall«. Zur Erzeugung und Messung von Ultraschall werden einfache Sender/Sensoren aus dem Elektronikfachhandel genutzt. Mittels des Mikrocontrollers *Arduino* (<http://arduino.cc/>; 29.03.2015) kann ein US-Sensor gesteuert und seine Messwerte über den Mikrocontroller und seine Software ausgewertet werden. Diese Methode ist für Schüler/innen sehr zugänglich und liefert eine Vielzahl von Möglichkeiten, Messwerte zu erfassen und angeschlossene Bauteile zu steuern und zu regeln. Hier ergibt sich ein weites Feld forschender Tätigkeiten der Schüler/innen. Die Abstandsmessung kann als Methode auf ihre Genauigkeit hin untersucht werden, der Einsatz als Sonar und in der Sonografie kann modellhaft dargestellt werden, verschiedene Einsatzmöglichkeiten eines US-Sensors z. B. in Analogie zur Lichtschranke können entwickelt werden (siehe Experiment 5).

Weitere Vorschläge für Experimente siehe KÜSTER (2014).



Inhalte und Methoden – Lärm

Exp. 2 Lärmmessung: „Ruhe im Karton?“



Aufgabe:

Miss Schallpegel an verschiedenen Orten und zu verschiedenen Zeiten, z. B. in der Schule, im Straßenverkehr, in der Wohnung.

Versuchsaufbau:

Das Messgerät für diesen Versuch ist das in deinem Smartphone eingebaute Mikrofon. Mit einer passenden App kannst du damit Lärmmessungen durchführen. Lade z. B. die *android* - App *Sound Meter* (ver 1.5.6) von Smart Tools Co. (Abb. 1).

Die Bedienung ist sehr einfach; neben dem aktuellen Wert zeigt das Messgerät die Minima und Maxima und den Mittelwert über den Messzeitraum in dB(A) an. Im Diagramm sieht man den zeitlichen Verlauf des Schalldruckpegels L in dB(A). Um ein Ergebnis festzuhalten, kannst du entweder nach einer bestimmten Zeit die drei Werte oder auch nur den Mittelwert ablesen und notieren oder mittels Kamerafunktion einen Screenshot machen und aus der Bildergalerie aufrufen.

Schließe einen Lautsprecher an ein Notebook an, stelle den Lautsprecher auf maximale Lautstärke. Öffne das Programm *audacity* und erzeuge mit dem Tongenerator eine Frequenz von 800 Hz bei einer Amplitude von 0,1 für die Dauer von 1 min. Die Amplitude muss ggf. an den Lautsprecher angepasst werden.

Versuchsdurchführung:

Lege das Smartphone mit dem Mikrofon in Richtung des Lautsprechers auf eine schalldämpfende Unterlage.

- 1 Miss den Ruhepegel am Messplatz mehrere Male. Bilde den Mittelwert.
- 2 Spiele den Ton ($f = 800$ Hz) ab und miss den Pegel in verschiedenen Abständen vom Lautsprecher (Messreihe Pegel \rightarrow Entfernung, ca. 10 – 100 cm).
- 3 Lege das Smartphone in einen Schuhkarton auf eine schalldämpfende Unterlage und bedecke den Karton mit einer transparenten Abdeckung (Abb. 2). Das Mikrofon soll 50 cm vom Lautsprecher entfernt sein. Miss den Pegel im Karton.

Aufgaben:

- 1 Erstelle ein Diagramm mit den Messwerten aus Durchführung 2.
- 2 Beurteile den gemessenen Ruhepegel. Stört der gemessene Ruhepegel die Messung unter 2?
- 3 Beurteile die Dämmung durch den Schuhkarton! Überlege, wie du eine bessere Dämmung erreichen kannst.
- 4 Informiere dich über die Begriffe Luftschall und Körperschall und nenne ihre Unterschiede.

Forschungsaufträge:

- 1 Werte die Ergebnisse aus und beurteile sie.
- 2 Entwickle Versuchsdesigns für die Messung der Wirksamkeit von Schall dämpfenden und Schall dämmenden Materialien bei verschiedenen Lautstärken und Frequenzen. Prüfe das Verfahren und



Abb. 1: Screenshot einer Messung; Momentanwert 51 dB(A); Mittelwert 56 dB(A) über 15 s



Abb. 2: Versuchsanordnung zur Schalldämpfung



Inhalte und Methoden – Lärm



Exp. 2 Lärmmessung: „Ruhe im Karton?“

-
- untersuche verschiedene Dämmstoffe. Informiere dich vorab über den Unterschied zwischen Schalldämpfung und Schalldämmung.
- 3 Untersuche verschiedene im Handel erhältliche Ohrstöpsel auf ihre Effektivität und ihren Tragekomfort. Entwirf zunächst ein Versuchsdesign.
 - 4 Die Schallmessung mit dem Smartphone-Mikrofon ist verhältnismäßig ungenau. Mit dem Mikrocontroller *arduino* und einem passenden Mikrofon lässt sich die Genauigkeit verbessern. Entwickle einen Versuchsaufbau und vergleiche die damit gewonnenen Messergebnisse mit denen, die du mit dem Smartphone erhalten hast.
 - 5 Recherchiere, welche Lärmschutzmaßnahmen ergriffen werden können. Erstelle eine Übersicht.
 - 6 Überprüfe die Aussage, dass Lärm die Konzentrationsfähigkeit vermindert. Entwirf zunächst ein Versuchsdesign.

Exp. 3 Hörtest / Audiogramm

Aufgabe:

Untersuche mit einem Hörtest die Hörfähigkeit verschiedener Personen.

Versuchsaufbau:

Lade das Programm „HTTS Hörtest-Programm“ herunter und installiere es auf deinem Computer.
<http://www.sax-gmbh.de/htts/httsdownload.htm>

Schließe Kopfhörer an.

Starte das Programm (Abb. 1); klicke unter „Datei“ auf „Eichen“, dann auf „Start“, damit das Programm an die Soundkarte und deine verwendeten Kopfhörer angepasst wird. Das bedeutet, du musst alle Tests mit demselben Kopfhörer durchführen, wenn du sie vergleichen möchtest. Wie das Eichen funktioniert, findest du unter „Hilfe“ beschrieben (Abb. 2).

Versuchsdurchführung:

Unter „Hörtest“ findest du den Punkt „Hörtest starten“. Klicke diesen an und es erscheint ein Fenster wie in Abb. 3. Wähle die Einstellungen „Standard“ und „gepulster Ton“. Führe dann deinen ersten Hörtest mit dir selbst durch; folge dabei der Kurzanleitung des Programms. Achte auf eine ruhige Umgebung und nimm dir genügend Zeit (ca. 10 min).

Aufgaben

- 1 Informiere dich über die Auswertung von Audiogrammen und werte deinen ersten Hörtest aus.
- 2 Vergleiche die beiden Audiogramme in Abb. 4! Stelle dir vor, du seiest ein Ohrenarzt oder Hörgeräteakustiker: Diagnostiziere den Hörstatus der beiden Patienten und informiere sie mit einem Gutachten über ihre Hörfähigkeit.
- 3 Lade verschiedene Personen zum Hörtest ein und werte deine Ergebnisse aus.

Forschungsaufträge:

- 1 Stelle Hypothesen über die Wahrnehmungsfähigkeit von Personen verschiedenen Alters oder nach Lärmbelastung auf. Prüfe deine Hypothesen.

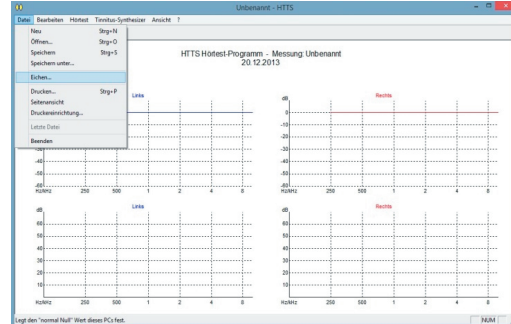


Abb. 1: Startmaske des HTTS Hörtest-Programms

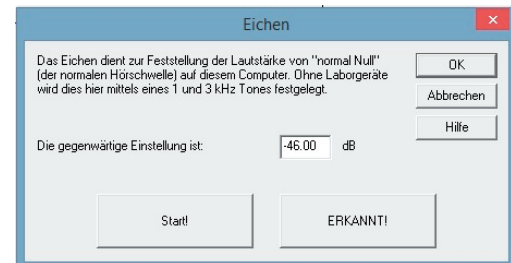


Abb. 2: Eichen von Soundkarte und Mikrofon

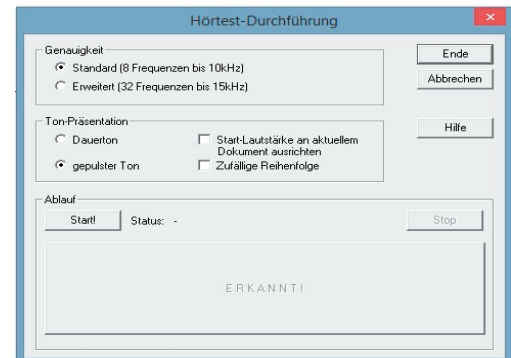


Abb. 3: Einstellungen zum Hörtest

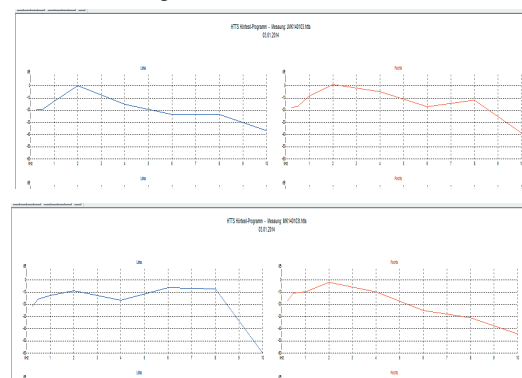


Abb. 4: Audiogramme zweier Personen

Exp. 4 MP3- und Wave-Dateien

Aufgabe:

Untersuche die Unterschiede beim Format (MP3, Wave) von Musikdateien und prüfe, ob man sie hören kann.

Durchführung:

Übertrage eine Musikdatei deiner Wahl einmal als „mp3“ und einmal als „wav“ auf deinen Computer und öffne dann *audacity*. Um gleichzeitig zwei Dateien zu öffnen, musst du beide Dateien „importieren“. Diese Option findest du unter Datei/Import/Audio... (Abb. 1).

Es erscheinen die Pegel-Zeit-Diagramme, die hier aber nicht ausreichen (Abb. 2). Klicke auf den Namen der Datei und dann in dem Fenster (Abb. 3) auf „Spektrogramm“. Es erscheint eine andere Darstellung der Dateien (Abb. 4).

In den Spektrogrammen ist die Frequenz gegen die Zeit aufgetragen. Die Farbe stellt die Lautstärke bei einer bestimmten Frequenz und Zeit dar. Dabei ist die Reihenfolge von laut nach leise: weiß, rot, blau, grau.

Genauere Spektrogramme und Untersuchungsmöglichkeiten liefert das Programm *sonic visualiser*.

Aufgaben:

- 1 Beschreibe die Unterschiede in den Spektrogrammen. Untersuche dazu einzelne Bereiche genauer, indem du die Zeit an der Stelle spreizt.
- 2 Gib deinen eigenen Höreindruck möglichst genau wieder!
- 3 Speichere eine Musikdatei einmal als „wav“, zweimal als „mp3“, und zwar eine mit 128 kBit/s und eine mit 320 kBit/s. Vergleiche jetzt die MP3-Dateien zweier Qualitäten mit der wav-Datei.

Forschungsaufträge:

- 1 Mache einen Test mit mindestens drei Personen: Spiele der jeweiligen Testperson 30 bis 60 Sekunden geeigneter Partien der wav-Datei und der 320 kBit/s MP3-Datei vor. Hört die Testperson einen Unterschied? Kann sie den Unterschied beschreiben? Wiederhole dies mit der wav- und der 128 kBit/s MP3-Datei. Werte die Ergebnisse deines Tests aus.
- 2 Informiere dich über die Verfahren zur „Datenkompression“ von Musikdateien. Erstelle ein Poster dazu, anhand dessen du die Verfahren erläutern kannst.
- 3 Es gibt sogenannte „Vinyl-Freaks“, die die ehemaligen „Schallplatten“ in ihrer Tonqualität für besser halten. Verfasse dazu eine Stellungnahme, die experimentell und auf Erfahrung begründet ist.
- 4 Die Programme *audacity* und besonders *sonic visualiser* ermöglichen viele Sound-Veränderungen. Probiere einige aus und stelle deine Ergebnisse zusammen. Schlage ggf. Anwendungsgebiete für einige vor.

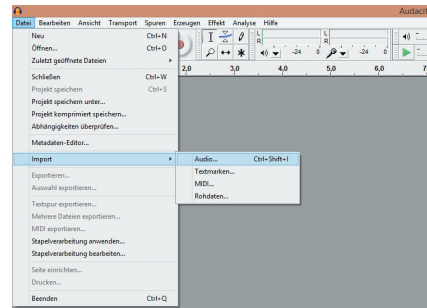


Abb. 1: Import von Audio-Dateien in *audacity*

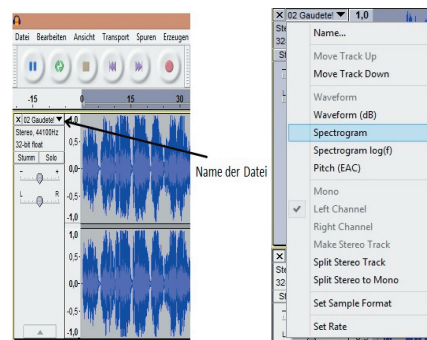


Abb. 2: Pegel-Zeit-Diagramm Abb. 3 Auswahl-Menü

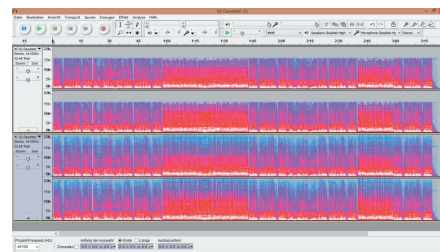


Abb. 4: Vergleich einer MP3-Datei mit einer wav-Datei (jeweils stereo)



Sonar

Aufgabe:

Mit dem folgenden Versuch kann das Prinzip der Ultraschallortung mittels Sonar / Echolot nachgebildet werden. Wie bei diesen Verfahren fährt der US-Sender über eine Strecke und misst dabei die Entfernung („Tiefe“).

Schaltung und Programmierung:

Ultraschallsensor und Arduino werden auf dem Steckbrett aufgebaut. Der Trigger-Pin wird bei <13>, der Echo-Pin bei <12> auf dem Arduino angeschlossen. Außerdem sind noch die 5V-Spannung und die Erdung (ground) des Arduino auf das Steckbrett und von dort auf den Ultraschallsensor zu übertragen.

Der Sketch „Sonar“ (s. u.) wird geöffnet und die Programmierung überprüft. Der Mikrokontroller wird über USB am Notebook angeschlossen und das Programm geladen. Zur Aufnahme der Messwerte wird bei Versuchsbeginn im Programm der Reiter „Tools“ und anschließend der Menüpunkt „Serial Monitor“ angeklickt. Der Mikrokontroller speichert jetzt die Messwerte in Intervallen, die im Sketch definiert wurden, bis er ausgeschaltet wird (Stecker ziehen).

Versuchsaufbau und Durchführung:

Eine reflektierende Mauer (siehe Abb. 1) als abzubildender Unter- / Hintergrund wird aufgebaut. An einer auf dem Tisch befestigten Schiene wird das Arduino-Bord bei eingeschaltetem „Serial Monitor“ mit möglichst konstanter Geschwindigkeit (ca. 1 cm/s) vor dem Hindernis entlang geführt.

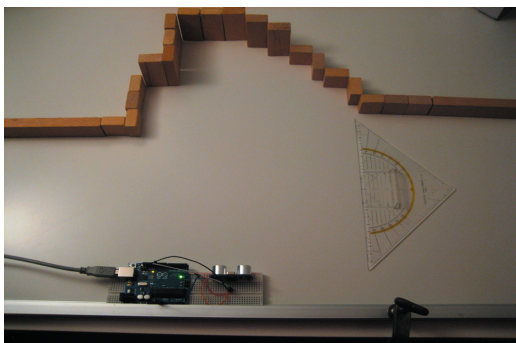


Abb. 1: Versuchsaufbau zum Echolot

Sketch „Sonar“

```
#include <NewPing.h>
#define TRIGGER_PIN 13 // Arduino pin tied to trigger pin on the ultrasonic sensor.
#define ECHO_PIN 12 // Arduino pin tied to echo pin on the ultrasonic sensor.
#define MAX_DISTANCE 200 // Maximum distance we want to ping for (in centimeters). Maximum sensor distance is rated at 400-500cm.
NewPing sonar(TRIGGER_PIN, ECHO_PIN, MAX_DISTANCE); // NewPing setup of pins and maximum distance.
void setup() {
  Serial.begin(9600); // Open serial monitor at 115200 baud to see ping results.
}
void loop() {
  delay(200); // Wait 200 ms between pings (about 5 pings/sec). 29ms should be the shortest delay between pings.
  unsigned int uS = sonar.ping(); // Send ping, get ping time in microseconds (uS).
  Serial.print("");
  Serial.print(uS / US_ROUNDTRIP_CM); // Convert ping time to distance in cm and print result (0 = outside set distance range)
  Serial.println("");
}
```




Sonar



Auswertung:

Die Werte aus dem Serial Monitor werden in die Zwischenablage kopiert und zur Auswertung und grafischen Darstellung in eine Excel-Tabelle eingefügt.

Aufgaben:

- 1 Fertige ein Diagramm $d \rightarrow x$ (Strecke in horizontaler Richtung) an.
- 2 Beschreibe das Diagramm.
- 3 Beurteile: Wie genau ist deine Messung?
- 4 Erläutere, worin dieser Modellversuch mit der wirklichen Wassertiefenmessung bei Schiffen übereinstimmt und worin nicht.
- 5 Welche Fehlerquellen könnten bei deiner Messung auftreten? Vergleiche mit vermutlichen Fehlerquellen bei der wirklichen Tiefenmessung durch Sonar.
- 6 Schreibe Vorschläge zur Verbesserung / Veränderung des Versuches auf und erkläre sie.

Forschungsauftrag:

- 7 Bestimme die Schallgeschwindigkeit in verschiedenen Gasen mittels Ultraschall. Überlege Dir zunächst einen Versuchsaufbau.
- 8 Entwickle ein Gerät, mit dem vor zu starker Annäherung an einen Gegenstand gewarnt wird (Beispiel: Museum).