

Die Welt mit den Ohren sehen. Akustik im Alltag von Fledermäusen.

- Konzeption und Realisierung von Experimenten zur Thematik „ULTRASCHALL“ für einen kompetenzorientierten Physikunterricht -

Ines Gehring*, Dr. Angela Fösel*

*Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg, Staudtstraße 7, 91058 Erlangen
ines.gehring@fau.de, angela.foesel@fau.de

Kurzfassung

Der momentan an allen bayerischen allgemeinbildenden Schulen (sowie Wirtschaftsschulen und beruflichen Oberschulen) gültige Lehrplan wird derzeit im Auftrag des bayerischen Kultusministeriums vom Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung überarbeitet. Ziel der Überarbeitung ist der neue LehrplanPLUS [1]. Dieser will den aktiven Wissenserwerb der Schülerinnen und Schüler fördern und ihnen die Fähigkeit geben, erlerntes Wissen in den Alltag zu übertragen. So sollen prozessbezogene Kompetenzen in den Bereichen „Erkenntnisgewinn“, „Kommunikation“ und „Bewertung“ vermittelt werden. Hierdurch sollen die Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz im neuen bayerischen LehrplanPLUS umgesetzt werden [2].

Im Rahmen einer Bachelorarbeit wurden Experimente und kompetenzorientierte Aufgabenstellungen zur Thematik „Ultraschall“ konzipiert für einen Physikunterricht gemäß den Vorgaben des LehrplanPLUS. In diesem Artikel wird zunächst die Grundidee der Aufbereitung der Thematik vorgestellt; exemplarisch werden fünf der insgesamt 17 Experimente und Aufgabenstellungen beschrieben.

1. Motivation

Die Bachelorarbeit soll das Themengebiet „Akustik“, speziell „Ultraschall“ für Lernende der 8. Jahrgangsstufe in der bayerischen Realschule (sowie in angepasster Form auch für die Sekundarstufe I allgemein) durch Experimente verständlich machen. Besonders Schall im nicht hörbaren Bereich ist für die Schülerinnen und Schüler oft nur schwer greif-

bar. Um die Thematik zugänglich zu machen, wird sie am Alltag der Fledermäuse dargestellt. Hierzu wurden insgesamt 17 Experimente und kompetenzorientierte Aufgabenstellungen entwickelt, die die Lernenden vom hörbaren über einen sogenannten „Übergangsbereich“ in den nicht hörbaren Bereich führen. Dabei sollen zunächst die Grundlagen der Akustik im hörbaren Bereich vermittelt werden, um den Schülerinnen und Schülern das Verständnis für

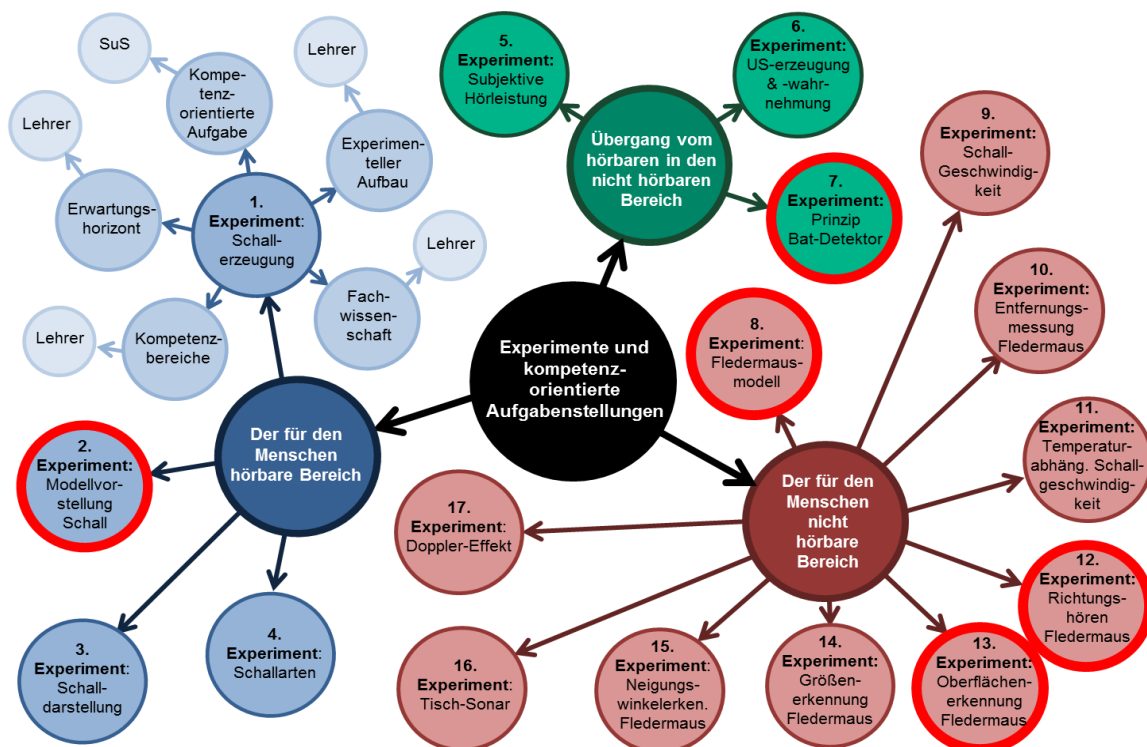


Abb. 1: Experimente und deren Aufbau im Überblick

den nicht hörbaren Bereich zu ermöglichen. Inhaltlich werden in der Bachelorarbeit neben den Experimenten und Aufgaben auch die zugrundeliegende Fachdidaktik und der fachwissenschaftliche Hintergrund beschrieben. Experimente und Aufgaben sowie das Hintergrundwissen werden bereitgestellt, um Lehrenden Materialien für einen kompetenzorientierten Physikunterricht an die Hand zu geben. Um beide Ziele zu erreichen, also das Schülerverständnis und die Unterstützung der Lehrenden, mussten im Rahmen der Arbeit die folgenden Fragen beantwortet werden: „Wie können den Schülerinnen und Schülern die Grundlagen des Schalls vermittelt werden?“, „Wie lässt sich der Übergang vom hörbaren in den nicht hörbaren Bereich schülergerecht gestalten?“ und „Wie kann den Lernenden die Rolle des Ultraschalls im Leben von Fledermäusen vermittelt werden?“.

2. Experimente und Aufgabenstellungen

Die in Abbildung 1 dargestellte Mind-Map veranschaulicht den grundlegenden Aufbau des Hauptteils der Bachelorarbeit.

Sie zeigt die thematische Einordnung der Experimente und auch die Untergliederung der Aufbereitung. Letztere ist exemplarisch für das erste Experiment „Schallerzeugung“ aufzeigt. Außerdem verdeutlicht die Mind-Map, welche Zielgruppe (Lehrende oder Lernende) im jeweiligen Unterpunkt angesprochen wird.

Hervorgehoben sind die Experimente, die im Folgenden exemplarisch mit den zugehörigen Aufgabenstellungen vorgestellt werden. (Die Aufgabenstellungen wurden für den Artikel gekürzt.)

2.1 Eine Modellvorstellung von Schall

Das erste hier vorgestellte Experiment ist thematisch dem hörbaren Bereich zugeordnet. Dieser erstreckt sich von ca. 20 Hz bis 20 kHz [3], je nach subjektiver Hörleistung. Das Erfahren des vom Menschen hörbaren Bereichs dient als Einführung für die Lernenden in die Grundlagen der Akustik.

Es soll als vertrauensbildende Maßnahme wirken, indem dadurch vor allem die Verbindung zwischen der auditiven Wahrnehmung mit den Ohren und der visuellen Wahrnehmung mit den Augen ermöglicht wird.

Ziel des Experiments ist es, den Schülerinnen und Schülern eine Modellvorstellung der Schallausbreitung in Luft zu vermitteln. Im Aufbau (vgl. Abb. 2) befinden sich unter anderem ein Lautsprecher, der ein akustisches Signal im hörbaren Bereich aussendet und ein Mikrophon, das das Signal empfängt.

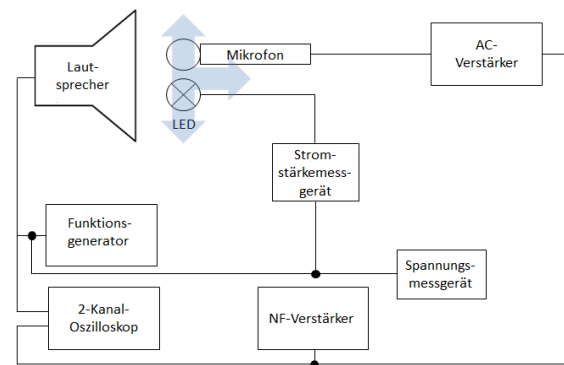


Abb. 2: Schaltskizze zum Versuchsaufbau „Modellvorstellung Schall“

Beide Signale werden in einem Niederfrequenzverstärker überlagert, dessen Ausgang mit einer LED verbunden ist. Je nachdem, wo sich das Mikrophon relativ zum Lautsprecher befindet, sind beide Signale entweder in Phase oder um 180° phasenverschoben. Im ersten Fall kommt es zu konstruktiver Interferenz, und das Ausgangssignal des NF-Verstärkers ist stark genug, um die am Mikrophon befestigte Diode zum Leuchten zu bringen. Leuchtet die LED nicht, so löschen sich die Signale bei gleicher Amplitude aufgrund der destruktiven Interferenz vollständig aus. [4]

Bewegt man die Mikrophon-LED-Konstruktion vor dem Lautsprecher auf und ab, ergibt sich eine „Lichtformation“ die als Schallwellenfront interpretiert werden kann.



Abb. 3: Aufnahme von Modellschallwellenfronten

Hierbei sind die entstandenen „Lichtformationen“ die Analogie zu den Luftverdichtungen, die im Bild sichtbaren dunklen Anteile stellen die Luftverdünnungen dar.

Diese Idee ist nicht neu, sondern sie wurde von Ewa Rehwald von der Westfälischen Wilhelm-Universität in Münster im Jahr 2011 [4] bereits in einem Artikel beschrieben.

Im Rahmen der kompetenzorientierten Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst mit einem Mitschüler über den Schallbegriff diskutieren und ihre Ergebnisse schriftlich festhalten. Im Anschluss an diese Diskussion sollen sie mit Hilfe des experimentellen Aufbaus das Bild der Schallwellenfronten aufnehmen und es interpretieren. Danach erhalten sie die beiden folgenden Bilder mit einer Erklärung zum Begriff „Längswelle“ im Modell und sollen diese mit dem selbst aufgenommenen Bild vergleichen.

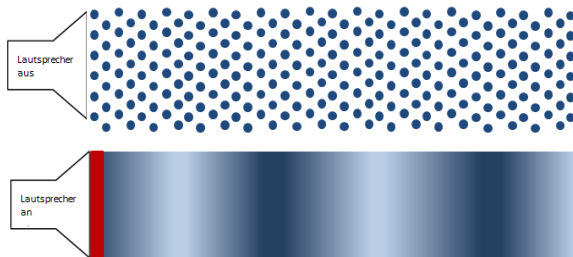


Abb. 4: Luftteilchen in Ruhe (oben); Luftteilchen durch Schwingungen der Schallquelle in Bewegung versetzt (unten)

In der letzten Teilaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler eine Hypothese generieren, die sich um die Frage dreht, ob Schall ein Medium benötigt um sich auszubreiten. Außerdem sollen sie sich ein Experiment überlegen, um ihre Hypothese zu überprüfen.

2.2 Prinzipielle Funktionsweise eines Bat-Detektors

Das nächste Experiment ist aus dem sogenannten „Übergangsbereich“. Dieser soll dazu dienen, den Schülerinnen und Schülern einen langsamen Einstieg in die Ultraschallthematik zu ermöglichen. Er wird außerdem dazu genutzt, den Kontext „Physik im Alltag von Fledermäusen“ einzuführen. Zudem werden spezielle Geräte zur Ultraschallerzeugung und –wahrnehmung vorgestellt.

Die Lernenden sollen im Experiment zunächst die prinzipielle Funktionsweise eines Bat-Detektors kennenlernen und im Anschluss selbst Fledermausrufe analysieren.

Bat-Detektoren transformieren die nicht hörbaren Rufe von Fledermäusen durch unterschiedliche Verfahren in hörbaren Schall. Das im Experiment modellierte Verfahren ist das sogenannte Frequenzteilverfahren.

Abbildung 5 zeigt die prinzipielle Verschaltung der einzelnen Komponenten des experimentellen Aufbaus:

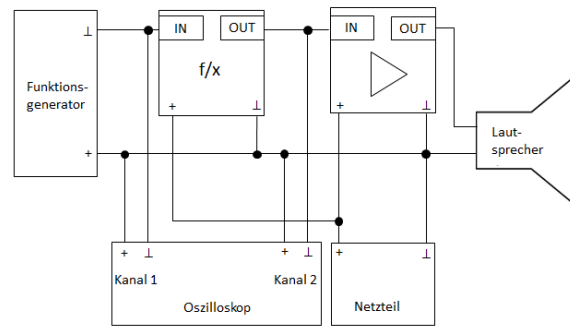


Abb. 5: Schaltplan der Frequenzteilerschaltung

Es wurden Frequenzteilerbausteine konzipiert, die Signale in festen Teilungsverhältnissen von hohen in niedrigere Frequenzen umwandeln. Je nachdem, welche Bausteine in der Schaltung kombiniert werden, können unterschiedliche Teilungsverhältnisse erzielt werden. Den Lernenden stehen vier Steckplätze in der Schaltung zum Integrieren der Frequenzteilerbausteine zur Verfügung, wie in Abbildung 6 zu sehen ist.

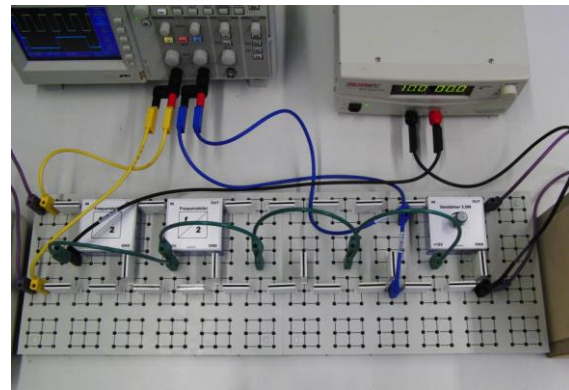


Abb. 6: Schaltung mit zwei Frequenzteilerbausteinen

Die entsprechende Aufgabenstellung sieht vor, dass die Schülerinnen und Schüler zunächst ohne Frequenzteilerbausteine arbeiten. Sie sollen erfahren, dass das Eingangssignal dem Ausgangssignal entspricht und dass Ultraschall für sie nicht hörbar ist. Im nächsten Schritt integrieren sie nach und nach Frequenzteilerbausteine in die Schaltung und erfahren, wie sich das Ausgangssignal schrittweise verändert. Haben sie passende Frequenzteilerbausteine integriert, wird das Ultraschallsignal in ein Signal aus dem hörbaren Bereich umgewandelt. Die Aufgabe sieht vor, dass die Lernenden ihre experimentellen Beobachtungen formulieren. Neben der visuellen Darstellung auf dem Oszilloskop nehmen sie die Veränderung der Frequenz auch durch den Lautsprecher wahr.

Grundsätzlich wird im Experiment also modelliert, wie ein Fledermausruf mittels Frequenzteilverfahren in den hörbaren Bereich transferiert wird.

Im nachfolgenden linken Bild erfolgte eine Teilung durch vier, sodass ein 20 kHz-Signal in ein 5 kHz-

Signal umgewandelt werden konnte. Im rechten Bild erfolgte eine Teilung durch 32.

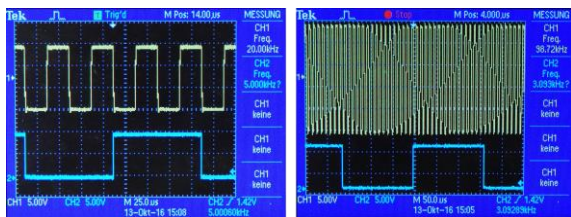


Abb. 7: links: Teilung f/4, rechts: Teilung f/32

Danach sollen die Schülerinnen und Schüler mit Hilfe des Eingangs- sowie Ausgangssignals auf dem Oszilloskop herausfinden, welche Bausteine ihr Teampartner, ohne ihr Wissen, zuvor in die Schaltung integriert hatte. Im Rahmen der Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler außerdem zwei weitere Verfahren der Umwandlung von Ultraschall in Hörschall kennenlernen, nach denen Bat-Detektoren ebenfalls arbeiten können. Sie sollen das Prinzip des Mischverfahrens sowie das Prinzip des Zeitdehnverfahrens durch einen Informationstext nachvollziehen können, es in eigenen Worten zusammenfassen und sich im Anschluss gegenseitig ihre Ergebnisse präsentieren.

einem Bat-Logger in der Nähe von Erlangen vom Autor dieses Artikels aufgenommen. Mit Hilfe von kommerzieller Software (BatExplorer der Firma Elekon AG) wurden Wellenform, Spektrogramm, Frequenzverlaufstyp, Ruflänge und Spektrum von fünf Fledermausarten ausgedruckt und einzelne Kärtchen erstellt. Abbildung 8 zeigt die Kärtchen, die zum Ruf der großen Hufeisennase gehören. Die Schülerinnen und Schüler erhalten neben den bereits aufgezählten Kärtchen auch ein Bild sowie den Namen der jeweiligen Fledermausart.

In der Darstellung der Wellenform sind an der vertikalen Achse die relative Lautstärke und an der horizontalen Achse der zeitliche Verlauf aufgetragen. Das Spektrum zeigt die Hauptruffrequenz, die bei der großen Hufeisennase zwischen 79 Hz und 84 kHz liegt. Es ist ebenfalls die relative Lautstärke an der vertikalen Achse aufgetragen und auf der horizontalen Achse die Frequenz. Im Spektrogramm lässt sich der Frequenzverlaufstyp, hier cf-e („constant frequency, exact“, d.h. exakt konstant frequenter Verlauf) ermitteln. Auf der vertikalen Achse ist die Frequenz aufgetragen und auf der horizontalen, der zeitliche Verlauf. Außerdem lässt sich mit Hilfe des Spektrogramms, die Länge eines einzelnen Rufes bestimmen.

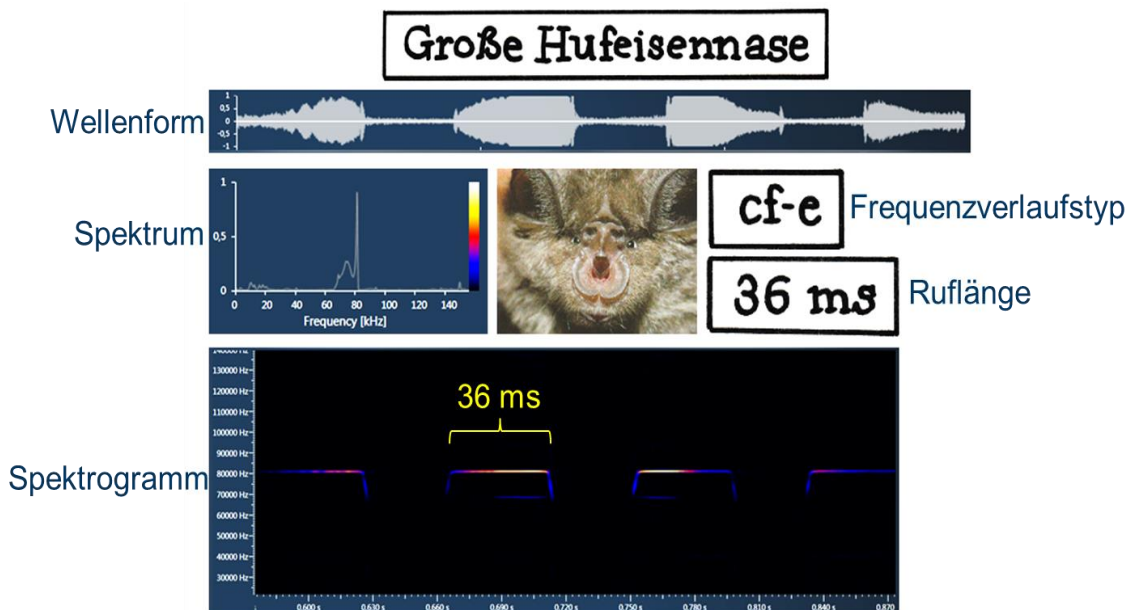


Abb. 8: Lösung große Hufeisennase

Um die verschiedenen Fledermausarten anhand ihrer Rufe bestimmen zu können, werden diese nach bestimmten Kriterien analysiert. Damit die Lernenden eigene Analysen vornehmen können, wurden die Rufe von unterschiedlichen Fledermausarten mit

Die Ruflänge beträgt bei dieser Fledermausart zwischen 35 ms und 75 ms (sehr lange Rufe) [5]. Zum Vergleich ist in Abb. 9 der Ruf der Zwergfledermaus dargestellt.

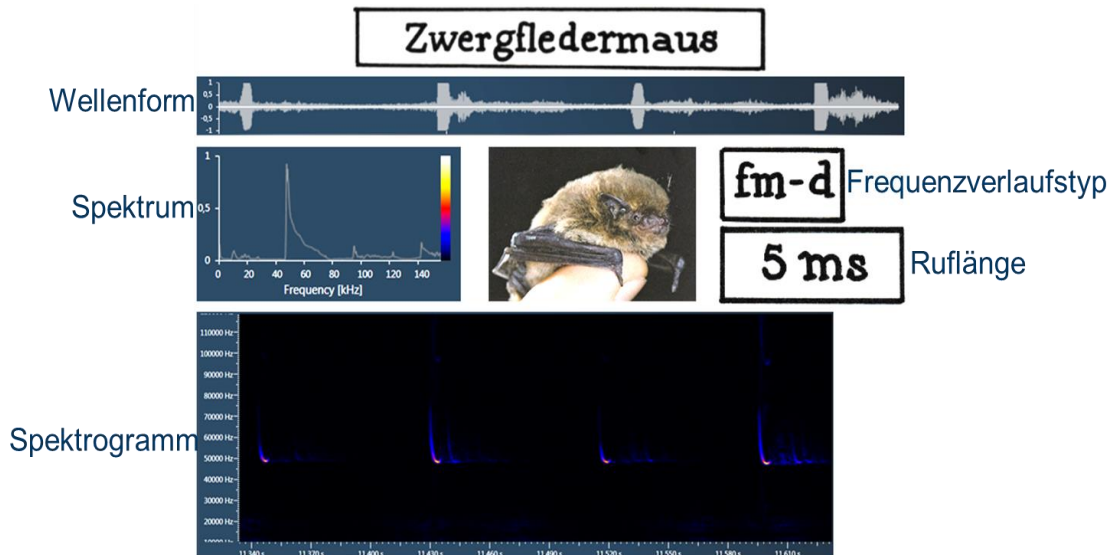


Abb. 9: Lösung Zwergfledermaus

Dieser unterscheidet sich grundlegend vom Ruf der großen Hufeisennase. Die Hauptruffrequenz der Zwergfledermaus liegt zwischen 43 Hz und 49 kHz. Der Frequenzverlauf eines Rufes ist frequenzmoduliert (konkret fm-d, „frequency modulation, decreasing“, d.h. Modulation in der Zeiteinheit abfallend), wobei sich die Frequenz gegen Ende des Rufes einem konstantfrequenten Verlauf nähert (cf-e, cf-n „constant frequency, near“, d.h. nahezu konstant frequenter Verlauf). Häufig gibt es innerhalb einer Rufsequenz mehrere Rufe die konstantfrequent verlaufen (cf-e, cf-n). Die Wellenform ist in fast allen Fällen symmetrisch pflaumenförmig, aber es sind ebenfalls erhebliche Abweichungen möglich. Die Ruflänge beträgt 3 ms bis 10 ms [5].

2.3 Motivationsexperiment Fledermausmodell

Der für den Menschen nicht hörbare Bereich beginnt ab ca. 20 kHz und endet (nach dem derzeitigen technologischen Stand) bei 10 THz. In dieser Arbeit liegt der Fokus jedoch auf der Physik im Alltag von Fledermäusen und deshalb auf dem Ultraschallbereich, welcher sich von 20 kHz bis zu 1 GHz erstreckt [3].

Die Lernenden beschäftigen sich also ausschließlich mit Experimenten zur Thematik Ultraschall in Bezug auf Fledermäuse. Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, wie sie sich den Alltag von Fledermäusen vorstellen können und worauf die Fledermäuse achten, wenn sie sich in der Nacht orientieren und Beute jagen.

Um das Interesse der Schülerinnen und Schülern am Thema Ultraschall zu wecken, hat der Autor des Artikels das Modell einer Fledermaus gebaut, welches mit Hilfe eines Mikrocontrollerboards eine Entfernungsmessung mit Ultraschall vornimmt.

Die Entfernung zu einem Ortungsobjekt wird mit Hilfe von Leuchtdioden auf dem Rücken der Fledermaus visualisiert.



Abb. 10: Modell einer Fledermaus

Die Schülerinnen und Schüler sollen in dieser Aufgabe den Reflektor, also das „Modellbeutetier“, langsam auf die Fledermaus zu und von ihr weg bewegen und die Leuchtdioden auf dem Rücken der Fledermaus beobachten. Sie sollen im Anschluss eine Hypothese zur Funktionsweise generieren, wobei an dieser Stelle keine „richtige“ Hypothese von den Schülerinnen und Schülern erwartet wird, da sie sich den fachlichen Hintergrund noch nicht erarbeitet haben.



Abb. 11: Abstandsvisualisierung mit dem Fledermausmodell

Der Ultraschallsensor befindet sich in der Nase der Modellfledermaus. Er dient dem Senden und Empfangen des Ultraschallsignals, wohingegen echte Fledermäuse durch Nase oder Maul rufen und mit den Ohren das Echo empfangen.

Außerdem sollen die Schülerinnen und Schüler mit den Begriffen Sender und Empfänger arbeiten und diese dem Aufbau zuordnen. Im letzten Schritt detektieren sie den „Ruf“ der Modellfledermaus mit Hilfe eines Bat-Detektors und vergleichen diesen mit den Rufen der „echten“ Fledermäuse, die ihnen auf einem Laptop zur Verfügung stehen. Sie sollen das Spektrogramm, das Wellenbild und das Spektrum der Modellfledermaus mit den Rufen der Originalfledermäuse vergleichen.

2.4 Richtungshören

Ein weiteres Experiment im nicht hörbaren Bereich modelliert das Richtungshören der Fledermaus. Genau wie der Mensch kann die Fledermaus unterscheiden, bei welchem ihrer beiden Ohren ein Schallereignis früher eintrifft und daraus die Richtung bestimmen.

Ziel dieses Experimentes ist, dass die Lernenden die eben beschriebene zeitliche Differenz zwischen dem Eintreffen des (reflektierten) Ultraschallsignals am „rechten Ohr“ und am „linken Ohr“ der „Fledermaus“ mit Hilfe des Oszilloskops analysieren. Außerdem sollen sie den Wegunterschied aus dieser Zeitdifferenz berechnen. Im Anschluss daran sollen die Lernenden die Wegdifferenz von beiden Empfängern zum Reflektor mit einem Maßstab messen und die Ergebnisse vergleichen.

Im experimentellen Aufbau befinden sich zwei Ultraschallempfänger, die das rechte und linke Ohr der Fledermaus modellieren sowie ein Sender der das Maul modelliert.

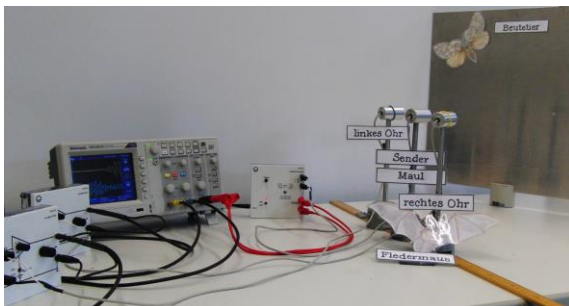


Abb. 12: Versuchsaufbau Richtungshören

Die Schülerinnen und Schüler sollen erfahren, wie sich die Signale der Empfänger auf dem Oszilloskop verändern, wenn diese einen unterschiedlichen Abstand zum Reflektor haben.

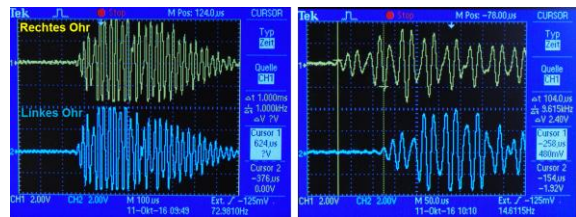


Abb. 13: Empfängersignale. gleicher Abstand zum Reflektor (links); unterschiedlicher Abstand zum Reflektor (rechts)

In Abb. 13/links empfängt die Modellfledermaus das Echo des Modellbeutetiers in beiden Ohren zeitgleich.

Das bedeutet für die Fledermaus, dass sich das Beutetier zentral auf sie zu bewegt. Im rechten Bild empfängt das rechte Ohr der Modellfledermaus das Echo 104 Mikrosekunden früher als das linke Ohr, was wiederum bedeutet, dass sich das Beutetier von rechts an die Fledermaus annähert.

2.5 Oberflächenstrukturerkennung

Da es für die Fledermaus von großer Bedeutung ist, die Beschaffenheit der Oberfläche eines Objektes zu erkennen, ohne es mit den Augen zu sehen, wird in diesem Experiment die Oberflächenstrukturerkennung mit Hilfe von Ultraschall betrachtet. So können Fledermäuse zum Beispiel Wasseroberflächen von anderen Oberflächen wie Acker oder Beton unterscheiden. Mit dieser Erkenntnis ist es den Fledermäusen also möglich, stehende Gewässer zu erkennen und so Wasser zum Trinken zu finden. Die Lernenden sollten sich am Ende dieses Experimentes also die Frage beantworten können, wie die Fledermaus die verschiedenen Oberflächen ihrer Ortungsobjekte unterscheiden kann.

Im experimentellen Aufbau befinden sich ein Ultraschallsender und ein –empfänger auf gleicher Höhe.

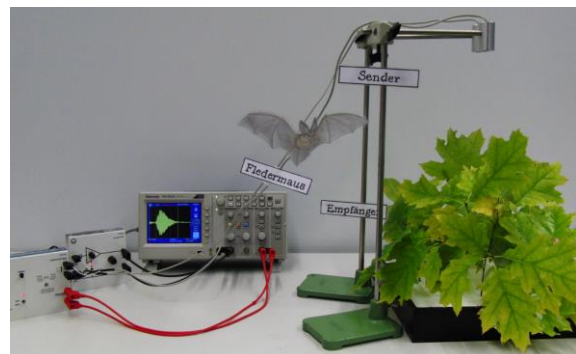


Abb. 14: Versuchsaufbau Oberflächenstrukturerkennung

Da der Richtungseindruck in diesem Experiment keine Rolle spielt, wird nur ein Empfänger benötigt.

Im Rahmen der Aufgabenstellung sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst das Experiment aufbauen und die Funktionsweise der einzelnen Bauelemente beschreiben. Danach werden mit Hilfe des

Oszilloskope die Echos von unterschiedlichen Materialien analysiert. Außerdem sollen sich die Schülerinnen und Schüler Gedanken über die Auswahl der Materialien machen und diese in Bezug zum Alltag der Fledermaus bringen. Um eine Erklärung des Ergebnisses generieren zu können, sollen die Schülerinnen und Schüler zunächst Je-Desto-Aussagen zu den aufgenommenen Echos erstellen um danach eine Erklärung formulieren zu können.

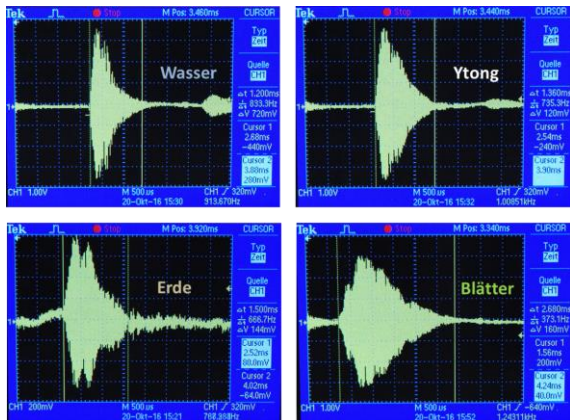


Abb. 15: Analyse der Oberflächenstrukturen anhand des Echos mithilfe des Oszilloskops

Vergleicht man die verschiedenen Echos miteinander, so kommt man zu dem Schluss, dass die Breite des Echos von der Rauigkeit der Oberfläche abhängt. Dieser Umstand lässt sich durch die Diffuse Reflexion erklären, die an rauen Oberflächen auftritt. Hierbei werden die Schallwellen an einzelnen Punkten der Oberfläche willkürlich in unterschiedliche Richtungen reflektiert, was im zeitlichen Verlauf zu einem breiten Echo führt [6]. Je rauer die Oberfläche ist, desto breiter ist das Echo [7].

3. Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurden exemplarisch fünf Experimente und zugehörige Aufgabenstellungen aus den drei Bereichen „hörbar“, „Übergang“ und „nicht hörbar“ vorgestellt, die den Lernenden sowohl die Grundlagen der Akustik als auch die Akustik im Alltag von Fledermäusen verständlich machen sollen.

Die für die Experimente notwendigen Materialien und Geräte sowie die eigens gebaute Modellfledermaus sind so zusammengestellt, dass sie für den Unterricht ausgeliehen werden können. Darüber hinaus sind die Experimente so konzipiert, dass sie – neben dem Einsatz als Demonstrationsexperimente – auch als Stationenarbeit verwendbar sind. Die Experimente sollten für eine Stationenarbeit in der Reihenfolge eingesetzt werden, in der sie in der Arbeit dargestellt sind. Andernfalls ist eine Anpassung der Aufgabenstellungen nötig, da diese aufeinander aufbauen. Der hörbare Bereich kann, je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler, als optional angesehen werden. Alle Materialien werden in

Lehrerfortbildungen vorgestellt und stehen ab Mai 2017 Lehrenden in der näheren Umgebung von Erlangen zur Ausleihe zur Verfügung.

4. Literatur

- [1] Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung: LehrplanPlus Bayern. Website, 2017. – Online erhältlich unter www.isb.bayern.de (abgerufen am 07. März 2017)
- [2] Sekretariat der ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland: Beschlüsse der Kultusministerkonferenz, Bildungsstandards im Fach Physik für den mittleren Schulabschluss. Luchterhand. Wolters Kluwer Deutschland GmbH, München, Neuwied, 2005
- [3] Lerch, Reinhard; Sessler, Gerhard M.; Wolf, Dietrich: Technische Akustik. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009, S. 1
- [4] Rehwald, Ewa: Unsichtbares sichtbar machen: Schallwellenfronten im Bild. In: Vorträge/Physikertagung, Deutsche Physikalische Gesellschaft, 2011
- [5] Skiba, Reinald: Europäische Fledermäuse. Westrap Wissenschaften-Verlagsgesellschaft mbH, Hohenwarsleben, 2009, S. 85 f. und S. 161 f.
- [6] Tipler, Paul A.; Mosca, Gene; Wagner, Jenny (Hrsg.): Physik für Wissenschaftler und Ingenieure. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, S. 1012 ff.
- [7] Clare, Elizabeth L.; Holderied, Marc W.: Acoustic shadows help gleaning bats find prey, but may be defeated by prey acoustic camouflage on rough surfaces. Website, September 2015. – Online erhältlich unter <https://elifesciences.org/content/4/e07404-download.pdf> (abgerufen am 04. Dezember 2016)