

Universität Würzburg  
Lehrstuhl für Physik und ihre Didaktik  
Fakultät für Physik und Astronomie

**Schriftliche Hausarbeit  
für die erste Staatsprüfung  
für das Lehramt an Gymnasien**

**Konzeption und Erprobung der Station  
„Akustische Phonetik – Oszillogramme“  
für das fächerübergreifende Lehr-Lern-  
Labor „BioPhysik & Sprache“**

Eingereicht von

**Scheuermann, Franziska**

Hofäckerring 11  
97271 Kleinrinderfeld  
geb: 27.03.1990  
in Würzburg

Frühjahr 2014

betreut durch  
Prof. Dr. Thomas Trefzger  
Markus Elsholz

## Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	4
2.	Das Lehr-Lern-Labor als außerschulischer Lernort.....	7
3.	Das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“.....	10
3.1	Zielsetzung und Übersicht über Aufbau und Struktur des Lehr-Lern-Labors.....	10
3.2	Einordnung in den Lehrplan.....	13
4.	Theoretische Grundlagen.....	16
4.1	Physikalische Hintergründe.....	16
4.2	Phonetische Hintergründe.....	20
4.3	Mathematische Methoden.....	23
5.	Softwareprogramme zum Erstellen und Bearbeiten der Versuche.....	25
5.1	Praat.....	25
5.2	Sounds.....	29
6.	Elementarisierung und deren didaktische Begründung.....	33
7.	Station 0: Einführung des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“.....	36
8.	Station C: „Akustische Phonetik – Oszillogramme“.....	41
8.1	Einordnung der Station in das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik&Sprache“.....	41
8.2	Schülerversuche – Version 1.....	41
8.2.1	Einführung.....	42
8.2.2	Versuch 1 – „Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“.....	43
8.2.3	Versuch 2 – „Verschiedene akustische Signale im Vergleich (Versuch)“.....	46
8.2.4	Versuch 3 – „Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)“.....	49
8.2.5	Versuch 4 – „Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm“.....	51

8.3	Erfahrungen bei der Durchführung der Station.....	53
8.4	Überarbeitung der Station .....	55
8.4.1	Einführung .....	56
8.4.2	Versuch 1 – „Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“ .....	57
8.4.3	Versuch 2 – „Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“ .....	60
8.4.4	Versuch 3 – „Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)“ .....	64
9.	Zusammenfassung und Ausblick .....	66
	Literaturverzeichnis.....	68
	Erklärung.....	70
	Anhang A: Einführung zum Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ .....	71
	Anhang B: Arbeitsmaterial der ersten Version der Station.....	79
	Anhang C: Arbeitsmaterial der überarbeiteten Version.....	90

## 1. Einleitung

Die Sprache ist eines der vielfältigsten Mittel zur zwischenmenschlichen Kommunikation. Bereits von Kindesbeinen an erlernen wir unsere Muttersprache und in späteren Jahren mindestens eine weitere Fremdsprache. Doch die Sprache im Allgemeinen hat so viele Facetten, dass man diese erst bei intensiver Auseinandersetzung kennen und verstehen lernt. Man kann die Sprache sowohl unter sprachwissenschaftlichen, als auch naturwissenschaftlichen Aspekten genauer untersuchen, um das Zusammenspiel der einzelnen Wissenschaften bezogen auf die Sprache zu verstehen.

Dieser wissenschafts- bzw. fächerübergreifende Aspekt nimmt mittlerweile im Unterricht an Bedeutung zu und ist in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss verankert (Kultusministerkonferenz, 2005). In den Standards für das Fach Physik, die 2004 beschlossen wurden, wird der Physikunterricht sogar als „Grundlage für die Auseinandersetzung der jungen Menschen mit naturwissenschaftlichen Themen und ihren gesellschaftlichen Zusammenhängen“ (Kultusministerkonferenz, 2005 S. 6) bezeichnet. Auch in außerschulischen Einrichtungen können diese Anforderungen an das Lehren von Physik im Fokus stehen. So kann eine Experimentierumgebung, welche sowohl die Sprach- als auch die Naturwissenschaft, speziell die Biophysik, thematisiert, Lernenden eine Auseinandersetzung mit naturwissenschaftlichen Phänomenen anhand des Beispiels Sprache ermöglichen. Durch geeignete Darbietung der Lerninhalte können auch die vier Kompetenzbereiche im Fach Physik, welche in den Bildungsstandards für den Mittleren Schulabschluss verankert sind (vgl. (Kultusministerkonferenz, 2005)), gefordert und gefördert werden. Neben dem *Fachwissen* bietet eine Auseinandersetzung mit der Biophysik und der Sprache auch eine *Erkenntnisgewinnung* durch experimentelle Methoden sowie die Förderung der Kompetenz *Kommunikation*, da die Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse der durchgeführten Experimente besprechen sollen. Weiterhin spielt die *Bewertung* eine große Rolle, weil die Lernenden in dem eher unbekanntem Kontext der Biophysik und der Sprachwissenschaft, Vorgehensweisen und Erkenntnisse kennen lernen und nach physikalischen Kriterien beurteilen müssen. Diese Kontextorientierung verbunden mit fächerübergreifenden Themen weckt nachgewiesen das Physik-Interesse der Schülerinnen und Schüler und führt sogar zu einer Steigerung desselben (vgl. (Kuhn, et al., 2010 S. 20)).

Vor diesem Hintergrund werden im „M!ND-Center“ (Mathematisch – Informationstechnologisches – Naturwissenschaftliches – Didaktik-Center) der Universität

Würzburg Experimentierumgebungen zu verschiedenen Themen konzipiert (vgl. (M!ND-Center, 2013)). Eine spezielle Form einer Experimentierumgebung ist das Lehr-Lern-Labor. Hierbei entwickeln Studierende für Schülerinnen und Schüler Stationen zu einem ausgewählten Themenbereich. In diesem Rahmen ist in Zusammenarbeit mit der Didaktik der romanischen Sprachen und Literaturen der Philosophischen Fakultät der Julius-Maximilians-Universität Würzburg ein Lehr-Lern-Labor zu dem Thema „BioPhysik & Sprache“ entstanden. Das Lehr-Lern-Labor soll Schülerinnen und Schülern verschiedene Facetten der Sprache aufzeigen und damit eine unbekannte Anwendung der Naturwissenschaften eingehender behandeln. Basierend auf der Orientierung am Kontext Sprache erwerben die Lernenden zentrale Kompetenzen der Naturwissenschaften Biologie und Physik.

An der oben genannten Zusammenarbeit beteiligten sich acht Studierende, von denen jeder eine Station des Lehr-Lern-Labors entwickelte. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich vornehmlich mit der Station zum Thema „Akustische Phonetik“ mit dem Schwerpunkt auf der Darstellung von Sprache in einem Oszillogramm. Jedoch werden im Rahmen der Ausarbeitung auch die pädagogischen Hintergründe zur Erstellung und Durchführung eines Lehr-Lern-Labors allgemein betrachtet (vgl. Kapitel 2). Im Anschluss daran wird das Ziel und die Umsetzung des Konzepts des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ eingehender vorgestellt (vgl. Kapitel 3.1). Auch eine Einordnung in den bayerischen Lehrplan wird unter Abschnitt 3.2 vorgenommen, wobei hier auch die Lehrplanalternative Biophysik kurz vorgestellt wird. Die zur Erarbeitung der Station benötigten physikalischen, phonetischen und mathematischen Grundlagen werden in Kapitel 4 dargelegt, hierbei wird insbesondere auf die Akustik fokussiert. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den Software-Programmen *Praat* und *Sounds*, die zur Konzeptionierung und Bearbeitung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ verwendet wurden (vgl. Kapitel 5). Das anschließende Kapitel 6 befasst sich mit der Elementarisierung der Lerninhalte dieser Station und der einführenden Station des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“, welche ebenfalls im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellt wurde. Die Umsetzung der Einführung sowie die Gestaltung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ werden in den beiden Kapiteln 7 und 8 thematisiert. Unter Abschnitt 8.1 erfolgt zuvor noch eine Einordnung der Station in das Lehr-Lern-Labor. Die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ liegt in zwei Versionen vor, wobei die zweite eine Überarbeitung der ersten ist. Beide Ausführungen werden in den Abschnitten 8.2 und 8.4 erläutert. Zwischen welchen die Erfahrungen aus der Durchführung mit den Schülerinnen und Schülern (vgl. Kapitel 8.3) berichtet werden, worauf die Überarbeitung aufbaut. Das abschließende Kapitel gibt nochmals einen Überblick über die Inhalte der

---

vorliegenden Arbeit sowie einen kurzen Ausblick auf weitere Einsatzmöglichkeiten des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ und der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“.

## 2. Das Lehr-Lern-Labor als außerschulischer Lernort

Das Experiment ist in der Physik sowohl in der Forschung, als auch im Unterricht zentral. Jedoch kann es oft schwierig sein (Schüler-)Experimente wirkungsvoll in den Schulalltag zu integrieren, da diesen vielfältige und komplexe Funktionen zuzuschreiben sind (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 68f.)). Einige ausgewählte Funktionen sind neben der Vermittlung von primären Erfahrungen auch die Verbindung von Empirie und Theorie und somit die Einführung in die naturwissenschaftliche Denk- und Arbeitsweise, die Förderung von sach- und problembezogener, rationaler Argumentation und die Entwicklung von Kooperations- und Kommunikationsfähigkeiten (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 73)). Diese Funktionen von Experimenten sind im Unterricht schwer umzusetzen und haben zur Folge, dass Schülerexperimente meistens stark angeleitet sind und es den Schülerinnen und Schüler kaum ermöglicht wird, eigenständig Probleme zu lösen und Kompetenzen zu erwerben (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 73f.)). Neben den Funktionen gibt es noch zahlreiche Anforderungen an experimentelle Lernumgebungen, die einen effektiven Einsatz von Schülerexperimenten erst ermöglichen. „Ziel und Zweck der Experimente müssen einsichtig sein und an dem Vorwissen und den Erfahrungen der Lernenden ansetzen“ (Engeln, et al., 2005 S. 80). Des Weiteren sollen die Schülerinnen und Schüler nicht nach vorgegebenen Anleitungen arbeiten, sondern ihre eigenen Ideen und Interessen einbringen können, wobei immer eine hinreichende Kontrolle über ihre Arbeit gewährleistet sein muss. Außerdem sollten Werkzeuge, sowohl solche des engeren naturwissenschaftlichen Arbeitens (Messen, Datenaufnahme, Modellierung), als auch spezielle zur Förderung von Schlüsselqualifikationen (Kommunikation, Präsentation, Ergebnissicherung), gezielt eingesetzt werden (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 80)).

Empirische Untersuchungen zeigen, dass die Erwartungen an den Einsatz von Experimenten nicht automatisch erfüllt sind. Die Ergebnisse der Forschungen verdeutlichen, dass nur dann eine nachhaltige Wirkung eintritt, wenn die Experimente in den Kontext eingebunden sind und die Lernprozesse sinnvoll unterstützen (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 80)).

Neben dem klassischen Lernort Unterricht gibt es mittlerweile auch zahlreiche außerschulische Lernumgebungen, die unter anderem die Schülerinnen und Schüler mit dem Experimentieren vertraut machen sollen. Eine dieser außerschulischen Einrichtungen ist das Schülerlabor bzw. das Lehr-Lern-Labor (L<sup>3</sup>). Trotz der Tatsache, dass es unterschiedliche

Ausrichtungen der Labore gibt, welche vornehmlich durch die Entstehungsgeschichte bedingt sind, stimmen sie in ihrer Zielsetzung überein. Von besonderer Bedeutung sind die Förderung des Interesses an den Naturwissenschaften sowie das Vorstellen der naturwissenschaftlichen Tätigkeitsfelder und Berufsbilder. Weiterhin soll den Lernenden die Bedeutung der Naturwissenschaft für die heutige Gesellschaft aufgezeigt und ihnen ein Bild dieser und der Technik vermittelt werden (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 81f.)).

Um diese Ziele zu erreichen, werden verschiedene Prinzipien und Gestaltungsmerkmale verwendet. Praktische Aktivitäten und Experimente sind bei der Begegnung mit der modernen Wissenschaft „durch erfahrungsbasierte Zugänge zu Prozessen der Forschung und Entwicklung“ (Euler, 2009 S. 6) von zentraler Bedeutung. Außerdem sind die Lernumgebungen so gestaltet, dass sie zur aktiven Auseinandersetzung mit möglichst realistischen, alltagsbezogenen Problemen anregen. Fachliche und überfachliche Kompetenzen werden durch die Möglichkeit der Entfaltung der individuellen Stärken gefordert und gefördert (vgl. (Euler, 2009 S. 6)).

Befürworter der Schülerlabore heben besonders die Vorzüge gegenüber dem traditionellen Unterricht hervor, vor allem in Bezug auf Authentizität, vielfältige Aktivitäten und die kreative Entfaltung. Ebenso erfolgt das Lernen im Labor nebenbei und fördert dabei fachliche Kompetenzen und ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern überfachliche soziale Erfahrungen zu machen (vgl. (Euler, 2009 S. 7)). Kritiker bemängeln hauptsächlich die Einmaligkeit eines Besuchs im Schülerlabor, welcher im Unterricht nur selten vor- bzw. nachbereitet wird. Jedoch zeigen einige Wirksamkeitsstudien, dass auch bei einmaligem Besuch positive Effekte, vor allem bei dem Interesse für die Naturwissenschaft, auftreten (vgl. (Euler, 2009 S. 7)). Hinsichtlich des Interesses und der Lernmotivation lässt sich feststellen, dass zumindest kurzfristig eine Steigerung vorliegt, die langfristig durch Einbindung in den Unterricht erhalten bleibt (vgl. (Priemer, et al., 2009 S. 12)). Durch hoch interaktive Schülerlabore, in denen besonders auf das Fachinteresse fokussiert wird, verbessert sich das fachliche Selbstkonzept der Schülerinnen und Schüler bereits bei einem einmaligen Besuch. Dieser Effekt ist besonders bei den weiblichen Besuchern zu beobachten (vgl. (Euler, 2009 S. 7)). Neben den „positive(n) Effekte(n) des Wissenserwerbs (zeigen sich auf Grund einer starken kognitiven Belastung) auch höhere Vergessenseffekte“ (Priemer, et al., 2009 S. 12). Durch geeignete Gestaltung der Lernumgebung kann man diesen Effekten vorbeugen (vgl. (Priemer, et al., 2009 S. 12)). Ein großer Vorteil der Labore, welcher sich in den Auswertungen der Studien zeigte, liegt in der Gestaltung der praktischen Projektarbeit im



Lehr-Lern-Labor. Es zeigte sich, dass auch Problemgruppen und Underachiever durch diese Arbeitsformen vermehrt angesprochen werden und sich mehr bei der Bearbeitung der im Labor gestellten Aufgaben einbringen, als sie dies im Unterricht tun würden (vgl. (Euler, 2009 S. 7)). Der Vorteil im Schülerlabor liegt darin, dass die Schüler „sich entsprechend ihrer Möglichkeiten und Stärken in die Arbeit einbringen und dabei Erfolgserlebnisse erzielen (können)“ (Euler, 2009 S. 7). Besonders hervorzuheben sind nochmals die Effekte, welche zu einer Steigerung des Interesses in Abhängigkeit vom Geschlecht führen. Bei den Jungen wird das Interesse vornehmlich durch das Material und die Ausstattung der Labore gefördert, wohingegen die Mädchen eher von dem selbstständigen Arbeiten und der Art des Lernens sowie den unterschiedlichen Arbeitsformen begeistert sind (vgl. (Engeln, et al., 2005 S. 84)). Durch einen Besuch im Lehr-Lern-Labor werden also alle Schülerinnen und Schüler gefördert und erwerben neues, teils überfachliches Wissen und Kompetenzen.

Basierend auf den Ergebnissen der Studien ist festzustellen, dass das Lehr-Lern-Labor als außerschulischer Lernort durchaus seine Existenzberechtigung hat und durch seine Orientierung am Experiment eine Bereicherung zum traditionellen Unterricht darstellt.

### 3. Das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“

Das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ wurde in Kooperation des M!ND-Centers und der Didaktik der romanischen Sprachen und Literaturen der Philosophischen Fakultät der Universität Würzburg konzipiert. Acht Studierende, darunter ein Biologiestudent, eine Physikstudentin und sechs Romanistikstudentinnen, haben sich im Rahmen ihrer Zulassungsarbeiten mit dem Thema Phonetik beschäftigt. Die Studierenden erarbeiteten, vorwiegend in Zweiergruppen zu einem der drei Themenbereiche artikulatorische, akustische und perzeptive Phonetik, acht Stationen zu circa 20 bis 30 Minuten. Jeder Studierende beschäftigte sich, im Zusammenhang mit der Erarbeitung einer Station, in seiner Zulassungsarbeit intensiver mit einem Themenbereich, seiner jeweiligen Fachrichtung. Im Folgenden wird neben den Zielen auch das Konzept des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ vorgestellt, sowie eine Einordnung in den Lehrplan des bayerischen achtstufigen Gymnasiums vorgenommen.

#### 3.1 Zielsetzung und Übersicht über Aufbau und Struktur des Lehr-Lern-Labors

Im Rahmen der oben beschriebenen Zusammenarbeit entstanden acht verschiedene Stationen, die alle einen unterschiedlichen Schwerpunkt haben, jedoch meistens eine Naturwissenschaft, entweder Biologie oder Physik, mit der Sprachwissenschaft thematisch verbinden. Die Schülerinnen und Schüler sollen in den acht Stationen auf verschiedene Art und Weise an die Phonetik herangeführt werden. Ziel des Lehr-Lern-Labors ist es, den sprachbegeisterten Schülerinnen und Schüler mit Hilfe der Sprache die Naturwissenschaft nahezubringen und den naturwissenschaftlich interessierten Schülerinnen und Schülern einen Zugang zur Sprache über die Naturwissenschaft aufzuzeigen. Am wichtigsten ist jedoch, dass die Lernenden die bestehende Verbindung zwischen den beiden Disziplinen Sprach- und Naturwissenschaft erkennen. Außerdem soll eine Brücke zwischen den im Schulalltag oft nur von einer Seite betrachteten Wissenschaften gebaut werden und damit sowohl für die Schülerinnen und Schüler, als auch für die Lehrerinnen und Lehrer eine interdisziplinäre Herangehensweise an sprach- und naturwissenschaftliche Phänomene dargeboten werden.

Vor der Bearbeitung der Stationen erfolgt eine Einführung, welche diese zentralen Ziele des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ herausstellt. Außerdem soll sie allen Schülerinnen

und Schülern eine gemeinsame Basis mit den wichtigsten Begriffen und Auftragsungen liefern (vgl. Kapitel 7). Erst im Anschluss sind die Stationen zu bearbeiten.

Die acht Stationen wurden, gemäß des Themenbereichs innerhalb der Phonetik, in eine Reihenfolge von A bis H gebracht. Diese stellt jedoch keine Bedingung an die durchzuführende Stationenabfolge, sondern dient lediglich der Orientierung. Jede einzelne Station erfüllt den Anspruch der Eigenständigkeit und benötigt somit kein Vorwissen aus den anderen Stationen. Der folgende Überblick über die acht Stationen soll eine Zusammenfassung der unterschiedlichen Betrachtungsweisen von Sprache geben.

Es wurden zwei Stationen zur artikulatorischen Phonetik ausgearbeitet. In den Stationen A und B beschäftigen sich die Schülerinnen und Schüler mit Experimenten zum Aufbau der Lunge sowie der Erzeugung und Artikulation von Lauten durch die Stimmbänder, den Mund- und Rachenraum sowie die Lippen. Die beiden Stationen C und D zur akustischen Phonetik fokussieren auf die Auftragung und Darstellung von Lauten in Oszillogramm und Sonagramm sowie auf die physikalischen Eigenschaften eines Lautes. Mit der perzeptiven Phonetik setzen die Schülerinnen und Schüler sich in zwei weiteren Stationen G und H auseinander. Diese thematisieren die Verarbeitung der lautsprachlichen Äußerungen im Ohr und Gehirn. Die Station F setzt einen Schwerpunkt auf das Internationale Phonetische Alphabet, kurz IPA, an welches die Schülerinnen und Schüler durch ein Scrabble-ähnliches Spiel herangeführt werden. Die letzte zu beschreibende Station E ist in der artikulatorischen und akustischen Phonetik anzusiedeln. Sie behandelt die Formanten, typische Frequenzen eines Lautes, welche sich je nach Laut und Sprachraum unterscheiden und von den Schülerinnen und Schülern in einer großen Tabelle dargestellt werden.

Die einzelnen Stationen bieten eine Vielzahl an Methoden, um die jeweiligen Lerninhalte den Schülerinnen und Schülern beizubringen. Es gibt neben Freihandexperimenten und Computer gestützten Versuchen auch einige Spiele oder extra für das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ konzipierte Versuchsaufbauten. Exemplarisch sei hier ein Aufbau zur Aspiration zu nennen. Modelle und reale Objekte, wie das Modell eines Ohrs oder ein Cochlea-Implantats, sind ebenfalls Bestandteil von Stationen und sollten von den Schülerinnen und Schülern zur Bearbeitung der Versuche herangezogen werden. Die benötigten Theorien werden meistens anhand von Texten präsentiert und die Ergebnisse in einem Arbeitsheft festgehalten. An den Stationen liegen die Arbeitsanweisungen aus, welche die erforderlichen Theorien und Arbeitsschritte enthalten. Je nach Jahrgangsstufe haben die Schülerinnen und Schüler ein

anderes Vorwissen, sodass bei der Konzeption der Arbeitsanweisungen bereits vorhandenes und neues Wissen miteinander verknüpft wurden.

Jede Schülerin und jeder Schüler bekommt zu Beginn der Durchführung ein Arbeitsheft, in welches die zentralen Ergebnisse der Stationen einzutragen sind. Diese Sicherung erfolgt mittels Lückentexten, Kreuzworträtseln, offenen Fragen oder graphischen Darstellungen. Die Arbeitsanweisung liegt dagegen am Arbeitsplatz in einfacher Ausführung aus und dient den Schülerinnen und Schülern als Leitfaden und Informationsmaterial zur Bearbeitung der Versuche einer Station. Jeder Versuch ist mit einer Überschrift tituiert, welche neben dem zentralen Themenbereich einen Hinweis in Klammern auf die Arbeitsform gibt. Die Überschriften stimmen zur besseren Orientierung in Arbeitsheft und Arbeitsanweisung überein.

Ebenfalls ist die Struktur des Arbeitsmaterials für das gesamte Lehr-Lern-Labor einheitlich gewählt. Die Arbeitsanweisung ist bei jedem Versuch in verschiedene Unterbereiche gegliedert. Zu Beginn steht ein kurzer Überblick der, bei diesem Versuch, zu bearbeitenden Inhalte, welchem sich gegebenenfalls eine Materialauflistung anschließt. Erst danach sind die Arbeitsanweisungen in nummerischer Auflistung notiert. Dies dient der schrittweisen Erarbeitung der Inhalte, sodass die Schülerinnen und Schüler nur in Ausnahmefällen auf die Hilfe der Betreuer angewiesen sind. Im Anschluss daran findet sich ein Informationsblock, welcher Gebrauchsanweisungen oder einen theoretischen Input zum Lösen und Bearbeiten der gestellten Aufgaben enthält. Das Arbeitsheft ist ebenfalls für jeden Versuch nochmals unterteilt. Mit wenigen Worten sind in einem Absatz Ziele und Inhalte des Versuchs zusammengefasst, damit die Schülerinnen und Schüler bei einem späteren Lesen des Arbeitsheftes wissen, was bei diesem Versuch erlernt werden sollte. Daran schließen sich einige Aufgaben zum Sichern der Ergebnisse an, welche von den Schülerinnen und Schülern während oder nach der Durchführung eines Versuchs bearbeitet werden sollen.

Die Trennung des Materials in Arbeitsheft und Arbeitsanleitung ist mit verschiedenen Aspekten zu begründen. Von zentraler Bedeutung ist, dass es für die Schülerinnen und Schüler zum Nachvollziehen der Ergebnisse nicht notwendig ist, die genaue Arbeitsanleitung in ihren Aufzeichnungen zu haben. Eine lange Materialliste, welche bei der Nachbereitung hilfreich sein kann, wird durch ein einfaches Bild mit allen Arbeitsgeräten ersetzt, sodass ersichtlich ist, was genutzt wurde, um die notierten Resultate zu erlangen. Auch eine Gebrauchsanweisung ist im Arbeitsheft nicht zwingend notwendig, da die Hinweise speziell an die Versuche angepasst und in der Handreichung zu den Programmen nachzulesen sind.

Auf die genannten Bestandteile wird deswegen im Arbeitsheft verzichtet und somit ist eine am Arbeitsplatz ausliegende Arbeitsanweisung unerlässlich. Ein weiterer wichtiger Punkt für eine Aufspaltung ist, dass eine vollständige Beschreibung der Versuche mit Arbeitsanweisung und anschließender Sicherung pro Station ein Papieraufkommen von bis zu durchschnittlich acht Seiten hervorgebracht hätte. Für das ganze Labor hätte sich für die Schülerinnen und Schüler somit ein Heft von einer Stärke um die 30 Seiten – beidseitig bedruckt – ergeben. Der Umfang der Dokumentation wirkt eher abschreckend als motivierend und fördert bereits zu Beginn der Durchführung Unmut bei den Lernenden, wenn sie erkennen, dass das ausgeteilte Heft in den nächsten Stunden zu bearbeiten ist. Unter Beachtung dieses Aspekts wurde von den Studierenden eine Trennung zwischen Arbeitsanweisung und Arbeitsheft befürwortet, bei welcher das zweite nur die zentralen Resultate der Stationen enthält und somit einen geringeren Umfang hat. Es soll damit einer vorverurteilenden Abneigung gegen die Bearbeitung der Stationen entgegengewirkt werden. Neben diesen beiden genannten Aspekten spielen noch weitere Punkte, wie Nebenkosten oder der Zeitaufwand zum Drucken und Binden eines umfangreichen Arbeitshefts, eine Rolle. Diese sind jedoch nur untergeordnet, da sie aus didaktischer Sicht keine Auswirkung auf die Arbeitsmoral und Motivation der Schülerinnen und Schüler haben. Die genaue Umsetzung der Vorgaben wird für die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ unter Kapitel 8 erörtert und ebenfalls hinsichtlich der Umsetzbarkeit und gewünschten Intension betrachtet.

### 3.2 Einordnung in den Lehrplan

In erster Instanz wurde das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ für eine 10. Jahrgangsstufe konzipiert. Unter Berücksichtigung dieses Aspektes erfolgt die Einordnung in den Lehrplan des achtstufigen bayerischen Gymnasiums. Im Rahmen dieser Arbeit wird hauptsächlich ein Überblick über die physikalischen Grundlagen und deren Verankerung im Lehrplan gegeben, da die ausgearbeitete Station vornehmlich physikalische Aspekte behandelt. Das Vorfinden der biologischen und sprachwissenschaftlichen Grundlagen im Lehrplan wird deswegen nur am Rande erwähnt.

Die physikalischen Grundlagen der Schwingungs- und Wellenlehre sind Bestandteil des Lehrplans der Jahrgangsstufe zehn. Hier erlernen die Schülerinnen und Schüler im Themengebiet 10.2 „Die Mechanik Newtons“ die Grundbegriffe der Beschreibung von Schwingungen. Im Rahmen der Beschreibung von eindimensionalen Bewegungen wird die harmonische Schwingung besprochen und die Begriffe Frequenz, Amplitude und Wellenlänge

definiert. Darauf aufbauend werden die Wellen eingeführt und „grundlegende Kenntnisse über Wellen und deren Ausbreitung“ (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München, 2004) erarbeitet. Im Bereich „Wellenphänomene in verschiedenen Bereichen der Physik“ werden neben den Grundlagen der Beschreibung einer Welle – Frequenz, Amplitude, Wellenlänge und Intensität – noch die Begriffe Longitudinal- und Transversalwelle jeweils mit passenden Beispielen behandelt. Im G8-Lehrplan für einen nicht-naturwissenschaftlichen Zweig ist die Besprechung der Akustik nicht vorgesehen, kann jedoch bei der Unterscheidung von Longitudinal- und Transversalwellen genannt und gegebenenfalls diskutiert werden. Im Profilbereich des naturwissenschaftlich-technologischen Zweiges ist die Akustik als eine Auswahlmöglichkeit aufgeführt, die bei der Wahl von „Wellen und Quanten in der Technik“ besprochen und deren Besonderheiten mit zahlreichen Experimenten erforscht werden kann.

Das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ schließt, hinsichtlich der physikalischen Aspekte, an die Behandlung der Wellenlehre im Physikunterricht an. Die Schülerinnen und Schüler sollten vor allem die Definition und Berechnung der Frequenz kennen. Deswegen ist es ratsam, das Labor erst während oder nach der Behandlung der Grundlagen im Unterricht zu besuchen.

Vom biologischen Gesichtspunkt aus betrachtet, werden die benötigten Grundlagen bereits in der Sekundarstufe I, unter anderem in Jahrgangsstufe fünf und neun, gelegt. Das Lehr-Lern-Labor bietet somit eine Auffrischung und Erweiterung des biologischen Wissens.

Sprachwissenschaftlich betrachtet ist das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ bereits dann durchführbar, wenn die Schülerinnen und Schüler mindestens eine Fremdsprache in ihren Grundzügen beherrschen. Ein großer Wortschatz und eine weitere Fremdsprache erleichtern zudem die Bearbeitung einzelner Stationen.

Die Entscheidung, das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ für eine zehnte Jahrgangsstufe zu konzipieren, ist durch einige Faktoren begründet. Zum einen sind in dieser Jahrgangsstufe in der Regel die naturwissenschaftlichen Grundlagen zur eigenständigen Bearbeitung der Stationen gelegt, so dass die Schülerinnen und Schüler auf bereits vorhandenes Wissen zurückgreifen können und durch neu erlerntes erweitern. Zum zweiten verfügen die Gymnasiasten dieser Jahrgangsstufe über fundierte sprachliche Kenntnisse aus mindestens zwei Fremdsprachen, teilweise erlernen die Schülerinnen und Schüler bereits ihre dritte oder vierte, sogenannte spätbeginnende, Fremdsprache. Als wichtigstes Argument ist jedoch zu nennen, dass die Schülerinnen und Schüler sich in Jahrgangsstufe zehn in einem

Lebensabschnitt befinden, in welchem sie zum einen ein gesteigertes Interesse an komplexen wissenschaftlichen Zusammenhängen zeigen und zum anderen vermehrt (selbst-)reflektierte Handlungen ausführen (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München, 2004). Das Lehr-Lern-Labor an der Schnittstelle von mehreren Disziplinen dient hierbei der Erfahrung, dass einzelne Wissenschaften untereinander verbunden sind und eine Abgrenzung in vielen Fällen nicht erwünscht oder gar unmöglich ist. Die Schülerinnen und Schüler erkennen somit, dass interdisziplinäre und interaktive Handlungs- und Denkweisen wichtig und im wissenschaftlichen Alltag Grundvoraussetzung sind.

Das Lehr-Lern-Labor ist jedoch nicht ausschließlich für eine zehnte Jahrgangsstufe konzipiert. Es kann ebenso in anderen Klassenstufen durchgeführt werden, wie zum Beispiel in der elften Jahrgangsstufe. Diese Stufe bietet sich dahingehend besonders gut an, da die Schülerinnen und Schüler bereits das volle Vorwissen zur Bearbeitung der Stationen mitbringen, wie auch der Lehrplan für das achtjährige Gymnasium mit einer Besonderheit aufwartet. Im Abschnitt 11/1 und 11/2 der Qualifikationsstufe wird den Lernenden die Möglichkeit geboten anstelle von Physik die Lehrplanalternative Biophysik zu wählen (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München, 2004). Im Rahmen dieser Lehrplanalternative sind einige Themen für jeden Kurs verpflichtend, des Weiteren kann der Kursleiter unter vorgeschlagenen Themengebieten wählen. Zu den vorgeschriebenen Bereichen gehört bei „11.1 Auge und Ohr“ auch die Besprechung der Grundlagen der Akustik. In diesem Zusammenhang könnte das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ mit dem Biophysik-Kurs besucht werden, denn das Labor bietet für die Schülerinnen und Schüler eine Erweiterung ihrer Kenntnisse über die Grundlagen der Akustik hinaus. Wie auch bereits bei der Durchführung mit einer zehnten Klasse betont, erfahren die Lernenden am Beispiel der Phonetik, dass nicht nur Naturwissenschaften untereinander, sondern diese auch mit weiteren Wissenschaften, hier der Sprachwissenschaft, verknüpft sind. Dieses fächerübergreifende Denken ist, wie oben bereits erwähnt, ebenfalls in den Bildungsstandards für die Sekundarstufe I verankert, lässt sich jedoch auch auf die Sekundarstufe II übertragen und findet in dem Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ eine Umsetzung.

## 4. Theoretische Grundlagen

Das Thema der vorliegenden Arbeit ist die akustische Phonetik, die Aspekte der Physik, insbesondere der Akustik, mit der Phonetik verbindet. Vor diesem Hintergrund müssen einige zentrale Aspekte der Akustik und der Phonetik genauer erläutert werden. Ebenso spielt die Mathematik bei der Erarbeitung der physikalischen Aspekte eine Rolle, weshalb hier kurz die zentralen mathematischen Methoden erläutert werden.

### 4.1 Physikalische Hintergründe

In der Physik bezeichnet die Akustik „im engeren Sinne [...] die Lehre vom Schall“ (Borucki S. 86). Sie beschäftigt sich mit den Ursachen und der Ausbreitung des Schalls und hat als Ziel, die Schallereignisse objektiv zu messen, „indem sie physikalische Größen untersucht, die im direkten Zusammenhang mit der physiologischen Wahrnehmung des Schalls stehen“ (Borucki S. 86). Als Schallursache wird stets eine mechanische Schwingung gesehen, die über ein elastisches Medium als Longitudinalwelle an das Ohr übertragen wird. Deswegen muss man sich im Rahmen der Akustik ebenfalls mit der Schwingungs- und der Wellenlehre auseinandersetzen, worauf hier kurz eingegangen werden soll.

Eine Schwingung wird durch drei Parameter beschrieben. Die Schwingungsdauer  $T$  definiert die Zeit, welche ein schwingender Körper benötigt, um zu seinem Ausgangsort zurückzukehren. Die Anzahl der Schwingungen in einem festgelegten Zeitintervall wird als Frequenz oder Schwingungszahl  $f = \frac{1}{T}$  bezeichnet und hat die Einheit „Hertz (Hz)“. Die Entfernung von der Ruhelage zu einem beliebigen Zeitpunkt der Schwingung ist die Elongation, wohingegen die maximale Auslenkung Schwingungsweite oder Amplitude genannt wird (vgl. Abbildung 1). Bei einer mechanischen Schwingung wird nach einer bestimmten Zeit „wieder der gleiche Bewegungszustand erreicht“ (Borucki S. 13). Bei einer rein periodischen Schwingung sind die Bewegungsabläufe in den einzelnen Zeitintervallen stets untereinander identisch. Bleibt die Amplitude eines Schwingungsvorgangs gleich, so spricht man von einer harmonischen Schwingung oder auch Sinusschwingung, da man diese Bewegung durch die trigonometrische Sinusfunktion mathematisch beschreiben kann.



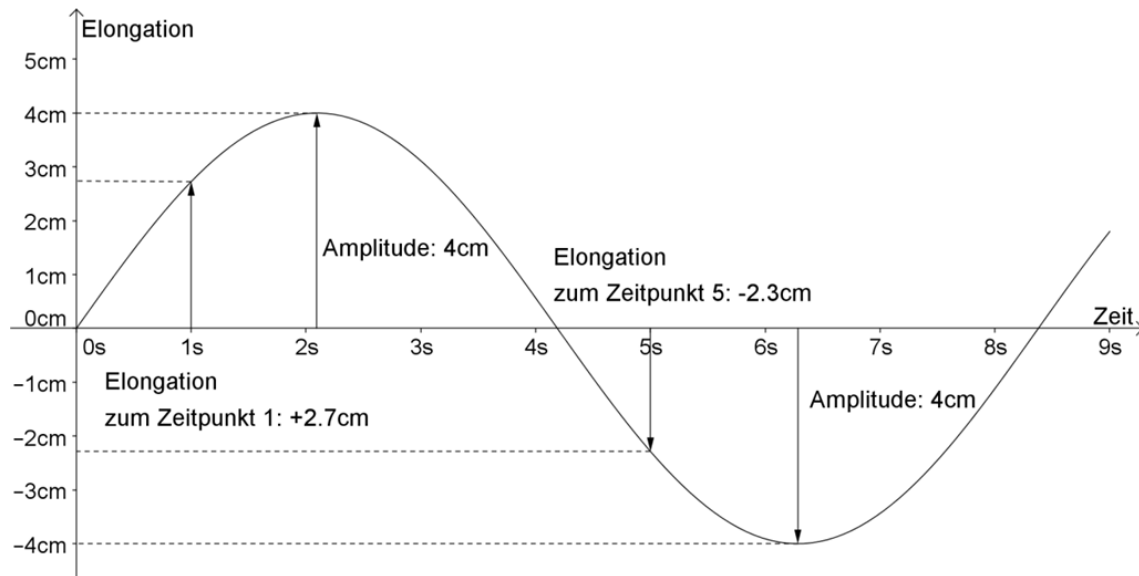


Abbildung 1: Harmonische Schwingung erstellt mit GeoGebra zur Veranschaulichung der Größen Amplitude und Elongation in cm.

Von einer Welle spricht man, wenn eine Fortpflanzung einer zeitlichen Zustandsänderung, welche meist periodisch ist, im Raum oder in einem Medium beschrieben wird. Die Frequenz einer Welle gibt somit an, wie schnell „diese Zustandsänderungen erfolgen, und zwar unabhängig von der sich ändernden Größe“ (Lüders, et al. S. 479). Man unterscheidet in der Wellenlehre zwischen Transversal- und Longitudinalwelle. Erstere steht für eine Welle, bei welcher die Schwingung der Teilchen senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung erfolgt. Fällt die Schwingungsrichtung mit der Ausbreitungsrichtung zusammen, dann spricht man dagegen von einer Longitudinalwelle (vgl. Abbildung 2). Schallwellen sind Longitudinalwellen, denn bei der Erzeugung einer mechanischen Schwingung, zum Beispiel mit einer Stimmgabel, werden Luftmoleküle ausgelenkt, deren Schwingung sich auf nebenstehende Moleküle überträgt, so dass sich das Signal längs zur Ausbreitungsrichtung fortpflanzt, bis es zum Empfänger gelangt.

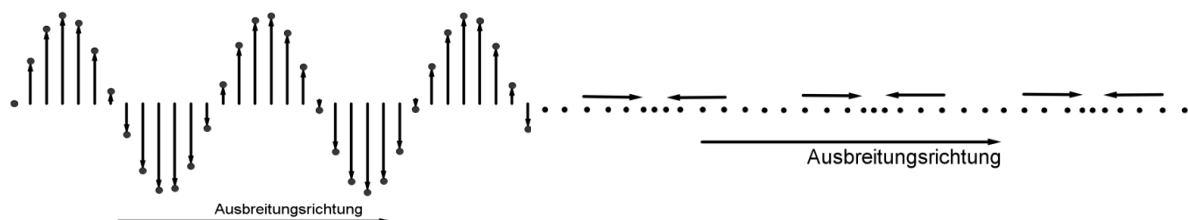


Abbildung 2: Schematische Darstellung einer Transversalwelle (links) und einer Longitudinalwelle (rechts). Beide gezeichnet mit GeoGebra.

Das menschliche Gehör kann „Schwingungen im Frequenzbereich zwischen 16 Hertz („untere Hörgrenze“) und 20 000 Hertz („obere Hörgrenze“) als Schall“ (Borucki S. 86) wahrnehmen. Die Akustik beschäftigt sich deswegen hauptsächlich mit den mechanischen

Schwingungen im hörbaren Frequenzbereich und ist somit „ein Sondergebiet der allgemeinen Schwingungs- und Wellenlehre“ (Borucki S. 86).

In der Akustik unterscheidet man vier grundlegende Schallereignisse, nämlich den Ton, den Klang, das Geräusch und den Knall, deren physikalische Eigenschaften im Folgenden kurz beschrieben werden.

Das einfachste akustische Signal ist der Ton, welcher durch eine rein sinusförmige Schwingung erzeugt wird (vgl. Abbildung 4 links). Hält die Schwingung unendlich lange an, kann man den Ton durch eine einzelne scharfe Linie auf der Frequenzskala darstellen, deren Höhe eine Aussage über die Amplitude erlaubt (vgl. Abbildung 3 links). In der Realität ist eine Schwingung jedoch zeitlich begrenzt und somit endlich, weshalb es nach der Fourier-Analyse zu einer Verbreiterung der Linie kommt (vgl. Abbildung 3 rechts), „die umso stärker ist, je weniger Perioden durchlaufen wurden“ (Lüders, et al. S. 521). Dieser Tatbestand lässt sich durch eine Beziehung mathematisch beschreiben, wobei  $\Delta\nu$  die Unsicherheit in der Frequenzbestimmung und  $\Delta\tau$  die Tondauer ist. Diese klassische Unschärferelation lautet dann in mathematischer Schreibweise:

$$\Delta\nu \cdot \Delta\tau \geq 1 \quad (1)$$

Für einen Ton gilt außerdem, dass die Tonhöhe von der Frequenz der Schwingung abhängt. Je größer die Frequenz, desto höher klingt ein Ton. Die Amplitude der Schwingung ist dagegen für die Lautstärke des Tons verantwortlich, die in direktem Verhältnis zueinander stehen.

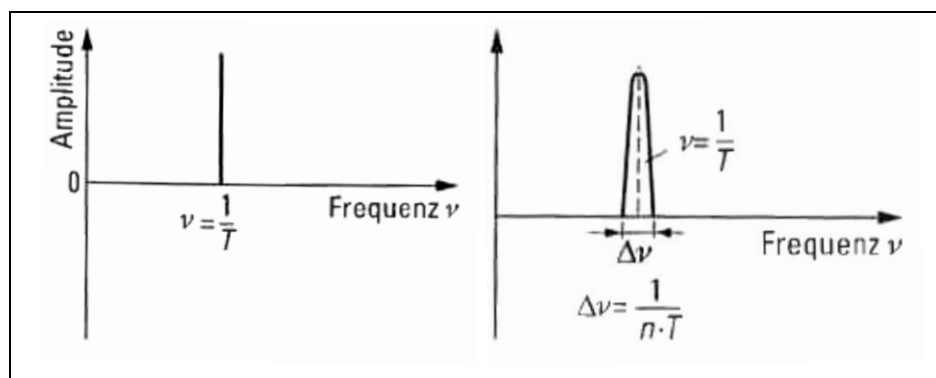


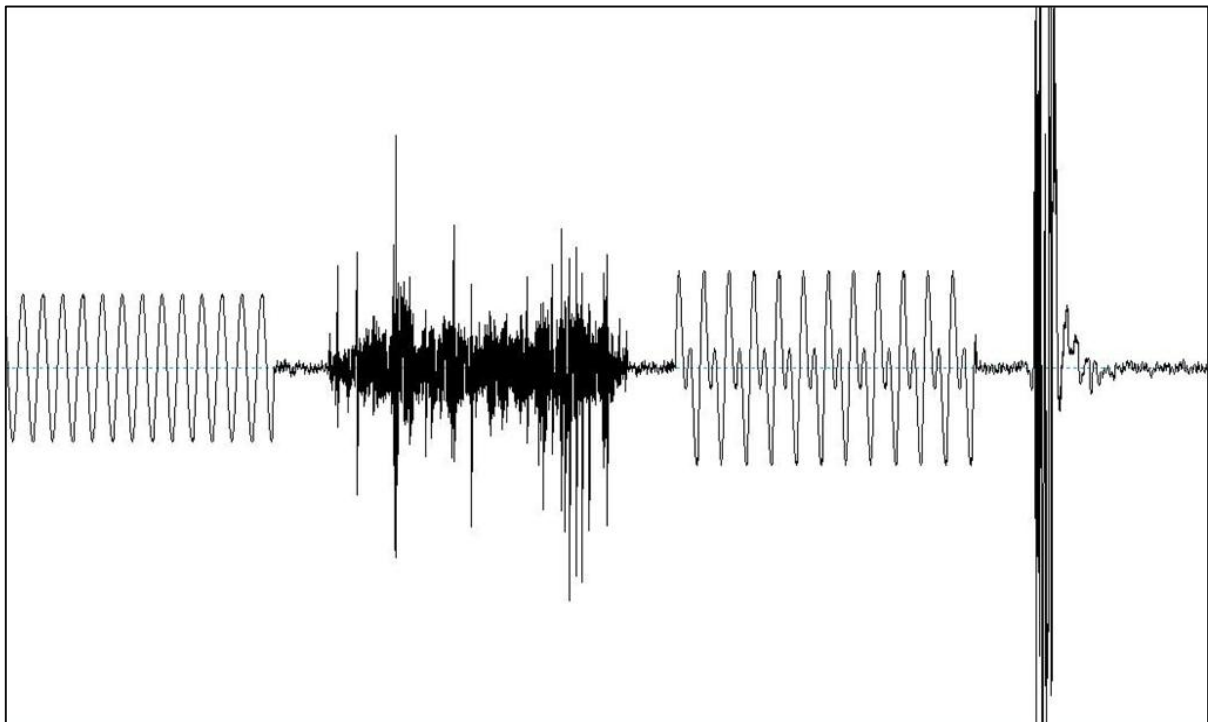
Abbildung 3: Die Bilder zeigen die Auftragung der Amplitude eines Tones gegenüber der Frequenz. Links die Frequenzskala für eine ideale unendlich dauernde Schwingung (vgl. Lüders, et al., 2008 S. 521). Rechts die Frequenzverbreiterung bei einer realen Schwingung (vgl. Lüders, et al., 2008 S. 522).

Von einem Klang spricht man im physikalischen Sinne, wenn eine beliebige nicht sinusförmige, allerdings in der Grundfrequenz periodische Schwingung vorliegt (vgl. Abbildung 4 zweites von rechts). Mittels Fourier-Analyse (vgl. 4.3) lässt sich ein Klang in

eine Summe von harmonischen Tönen zerlegen, deren Frequenzen in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Der tiefste Ton eines Klangs wird als Grundton und die weiteren höheren Töne als Obertöne bezeichnet. Man kann auch sagen, dass „die Obertöne eines Klangs [...] harmonisch zum Grundton (sind)“ (Borucki S. 87).

Sind die Obertöne keine ganzzahligen Vielfachen des Grundtones oder folgen die in einem Schallereignis enthaltenen Frequenzen keiner Gesetzmäßigkeit, spricht man von einem Geräusch (vgl. Abbildung 4 zweites von links). Die Frequenzen und Amplituden der zugrundeliegenden Töne wechseln sehr schnell, weswegen ein Geräusch ein vollkommen „unperiodischer Vorgang“ (Lüders, et al. S. 521) ist. Geräusche lassen sich auf Grund ihrer unterschiedlichen Frequenzbereiche, Intensitäten und Zusammensetzung im Alltag und bei Messungen unterscheiden. In Analogie zum Licht gibt es das sogenannte „weiße“ Rauschen, bei welchem die Frequenzen alle mit gleicher Amplitude auftreten.

Das vierte zu klassifizierende Schallereignis ist der Knall (vgl. Abbildung 4 rechts). Dieser enthält nahezu alle Frequenzen eines großen Bereiches, welche kurzzeitig auftreten. Die vorkommenden großen Amplituden klingen sehr schnell ab, sodass nur wenige Perioden durchlaufen werden.



**Abbildung 4:** Die Grafik zeigt das Oszillogramm der vier Schallereignisse. Von links: Ton, Geräusch, Klang und Knall. Man erkennt die Gleichmäßigkeit der Schwingung des Tons und des Klangs. Beim Geräusch variiert die Amplitude sehr stark und das Bild lässt keine Gesetzmäßigkeit vermuten. Der Knall schwächt sehr schnell, nach einer großen Amplitude zu Beginn, ab. Ton und Klang wurden zur besseren Darstellung mit der Software Praat erzeugt, Geräusch und Knall sind Aufnahmen zweier unterschiedlicher Laute.

Alle in der Natur vorkommenden akustischen Signale lassen sich zu einer der vier Kategorien zuordnen. Der reine Ton kommt so gut wie nicht vor, sondern kann meist nur unter Zuhilfenahme elektrischer Apparate erzeugt werden. Mechanisch erzeugte, hörbare Schwingungen sind in der Regel Klänge und keine Töne. Aus physikalischer Sicht betrachtet, sind musikalische Töne somit Klänge, welche sich auf Grund der Obertöne verschiedenen Instrumenten und Lagen – die tiefe oder hohe Lage ist abhängig von den Frequenzen – zuordnen lassen. Die meisten in der Natur oder unserer Umwelt vorkommenden Schallereignisse sind Geräusche, welche der Mensch gelernt hat zu unterscheiden. In der Alltagssprache wird der Begriff Knall meistens wegen seiner kurzen, aber intensiven Dauer physikalisch richtig verwendet.

Den verschiedenen akustischen Signalen lassen sich alle Sprachäußerungen zuordnen. Dies ist jedoch hauptsächlich Bestandteil der akustischen Phonetik und wird deswegen erst im folgenden Abschnitt thematisiert.

## 4.2 Phonetische Hintergründe

Die Phonetik untergliedert sich in drei Bereiche, die artikulatorische, die akustische und die perzeptive Phonetik. Für die Ausarbeitung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ sind die akustische Phonetik und einige Aspekte der artikulatorischen Phonetik wichtig. Der Bereich der Perzeption hat dagegen keine Bedeutung.

Die akustische Phonetik beschäftigt sich „mit den Schallwellen, die die Lautsprache übertragen“ (Pustka S. 54). Besonders befasst man sich in diesem Themengebiet mit der Dauer, der Frequenz, der Intensität und der Klangfarbe eines Schallereignisses. Die Schallwellen werden dann in einem Oszillogramm oder Sonagramm sichtbar gemacht.

„Oszillogramme werden mit einem Oszillographen, einem „Schwingungsschreiber“ erstellt“ (Meisenburg, et al. S. 31). Ein Oszillogramm ist eine zweidimensionale Auftragung, die aus einer horizontalen Zeitachse, auf der die Zeit in ms angegeben wird, und einer vertikalen Achse für den Schalldruck besteht (vgl. Abbildung 5). Bei einer Vorläuferversion des Oszillogramms wird die Auslenkung einer Schallquelle während dem Schwingungsvorgang gegenüber der Zeit aufgetragen. Dies kann experimentell verwirklicht werden, wenn man an einer Schallquelle einen Stift befestigt, unter dem mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ein Papier durchgezogen wird, sobald die Schallquelle zu schwingen beginnt (Meisenburg, et al. S. 31).

Das Sonagramm oder Spektrogramm ist im Vergleich zum Oszillogramm eine dreidimensionale Auftragung. In einem Sonagramm werden die „Veränderungen von Spektren über die Zeit“ (Pustka S. 57) abgebildet. Jedem Punkt auf der x-Achse, der Zeitachse, wird eine Frequenz auf der y-Achse mit einem bestimmten Schwärzungsgrad für die Intensität zugeordnet (vgl. Abbildung 5).

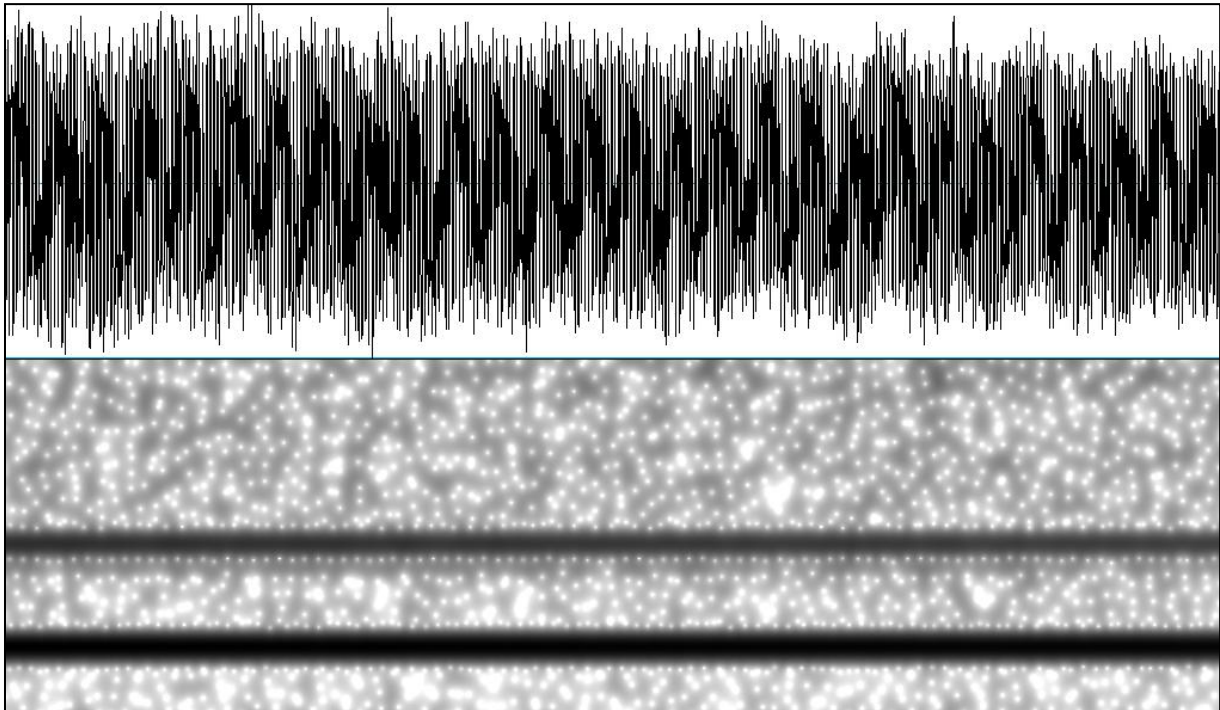


Abbildung 5: Mit Praat wurde die Überlagerung von zwei Stimmgabeln aufgenommen und in einem Oszillogramm und einem Sonagramm dargestellt. Das obere Bild zeigt das Oszillogramm. Dies ist die Auftragung des gemessenen Schalldrucks gegenüber der Zeit. Das untere Bild zeigt das Sonagramm. Es wird die Frequenz über die Zeit angetragen und zusätzlich der Intensitätsgrad einer Frequenz, also die Amplitude der zugehörigen Sinusschwingung, durch den Schwärzungsgrad aufgezeigt. Je dunkler die einzelnen Frequenzbalken sind, desto größer ist die Amplitude der zugehörigen Schwingung. Die grauen Punkte oder „Flecken“ im Sonagramm stellen die Frequenzen der Hintergrundgeräusche dar, welche nicht vollständig ausgeblendet werden konnten.

Neben der akustischen Phonetik ist für die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ ebenfalls die artikulatorische Phonetik grundlegend, welche sich mit der „Produktion der Lautsprache durch die Sprechorgane“ (Pustka S. 44) befasst. Wichtig für die Erstellung und Ausarbeitung der Station ist aus dem Bereich der artikulatorischen Phonetik die „Klassifikation der Laute (...) nach artikulatorischen Kriterien“ (Pustka S. 44).

Die Kennzeichnung von Lauten wurde mit der IPA, dem internationalen phonetischen Alphabet festgelegt. Ein Laut wird in eckigen Klammern geschrieben, was bedeutet, dass nur der Einzellaut gesprochen wird. Exemplarisch sei hier das „p“ zu artikulieren. Man schreibt [p] für den Einzellaut und [pe] für den Laut.

Die Phonetik unterscheidet allgemein zwischen Konsonanten und Vokalen. Bei ersteren kann die Luft nicht ungehindert durch den Mundraum strömen, denn sie wird in Turbulenzen versetzt. Als Vokale bezeichnet man die Laute, bei welchen die Luft ungehindert austritt. Diese Unterscheidung ist jedoch nicht vollkommen korrekt und führt gelegentlich zu Problemen (vgl. (Pustka, 2011 S. 44ff.)). Die Konsonanten kann man noch weiter unterteilen. Zu nennen sind hier die Plosive, die Nasale und die Frikative. Bei den Plosiven, hierzu gehören z.B. die Laute [p], [b], [g] und [k], liegt ein vollständiger oraler und nasaler Verschluss vor und es kommt beim Aussprechen zu einer „Explosion“ im Mundraum. Die Nasale, exemplarisch seien [m] und [n] genannt, kennzeichnen sich durch einen totalen oralen Verschluss aus, wobei die Luft gleichzeitig durch die Nase entweicht. Die Frikative werden durch eine zentrale, geräuschverursachende Enge des Mundraumes verursacht, wie es beispielweise bei [f], [s] und [z] der Fall ist. Eine weitere Klassifikation der Konsonanten wird über die Stimmbeteiligung gemacht. Man unterscheidet zwischen stimmlosen Konsonanten, ohne Vibration der Stimmlippen, und stimmhaften, mit Vibration der Stimmlippen. Die oben genannten Konsonanten lassen sich somit noch einmal unterteilen. [p], [k], [f] und [s] gehören zu den stimmlosen und [b], [g], [m], [n] und [z] zu den stimmhaften Konsonanten (vgl. (Pustka, 2011 S. 44ff.)).

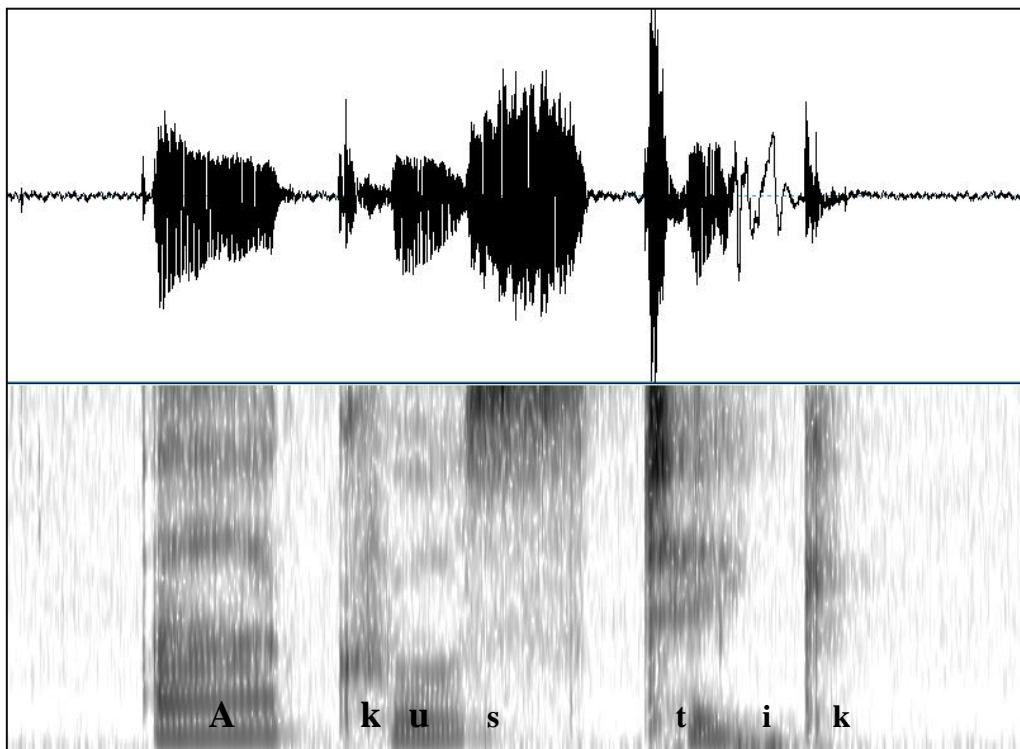


Abbildung 6: Aufnahme des Wortes Akustik. Oben sieht man das Oszillogramm in dem die Laute gut voneinander trennenbar sind. Unten ist das Sonagramm dargestellt, welches die Frequenzen je nach Intensität (Schwärzungsgrad) über der Zeit darstellt. Auch im Sonagramm sind die einzelnen Laute auf Grund der Frequenzbeteiligung gut zu unterscheiden.



Die Sprache setzt sich aus einer Mischung von Klängen, Geräuschen und Knallen zusammen. Vokale und stimmhafte Konsonanten sind physikalisch gesehen Klänge. Die stimmlosen Frikative können als Geräusche beschrieben werden und die Plosive sind Knalle (Pustka S. 55). Im Oszillogramm und Sonagramm erkennt man die einzelnen Laute und kann sie somit nach ihren physikalischen Eigenschaften klassifizieren (vgl. Abbildung 6).

### 4.3 Mathematische Methoden

Um akustische Signale in einem Oszillogramm oder Sonagramm graphisch darzustellen, müssen die Schallereignisse zuvor mathematisch beschrieben werden. Der folgende Abschnitt erläutert die mathematischen Methoden im Hinblick auf die Darstellung und Analyse eines akustischen Signals am Computer.

Schallereignisse können mittels der Fourier-Transformation in einer Formel mathematisch dargestellt werden. Grundlage der Fourier-Transformation ist die Fourierreihe (*FR*), welche in reeller und komplexer Form „eine Möglichkeit (bietet), [...] periodische Funktionen nach ihren Teilfrequenzen systematisch zu zerlegen“ (Lang, et al. S. 401). Im Rahmen der Akustik wird hauptsächlich die komplexe Form der Fourierreihe verwendet, welche von folgender Gestalt ist (vgl. (Lang, et al., 2005 S. 410)):

$$FR(f(x)) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{inx}, \quad \text{mit } c_n = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} dx f(x) e^{-inx} \quad (2)$$

Der Term  $c_n$  ist hierbei das Fourierintegral. Zur Fourier-Transformation gehört sowohl die Fourier-Synthese, als auch die Fourier-Analyse. Beide Verfahren wurden verwendet, um die Materialien zur Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ zu erstellen. Die Fourier-Synthese ist „die Zusammensetzung der Funktion als Summe ihrer Komponenten“ (Lang, et al. S. 401) und die Fourier-Analyse ist eine „Zerlegung nach Frequenzen“ (Lang, et al. S. 401). Mittels Fourier-Synthese kann jedes periodische akustische Signal aus Sinussignalen unterschiedlicher Frequenz, Amplitude und Phase erzeugt werden. Unter Verwendung einer Fourier-Analyse können die Frequenzen, Amplituden und Phasen eines periodischen und auch eines nicht-periodischen akustischen Signals ermittelt werden. In der Regel werden jedoch nicht alle Sinussignale, aus welchen das Schallereignis besteht, bei der Analyse herausgefunden. Zur Anwendung der Fourier-Transformation sollten kontinuierliche Funktionen vorliegen. In einer realen Experimentierumgebung handelt es sich jedoch meistens um diskrete äquivalente Messwerte  $(x, y)$ , auch Stützstellen genannt, welche

analysiert werden müssen. Die Fourier-Transformation für diese Messergebnisse gestaltet sich sehr aufwendig, denn es muss bei  $N$  Stützstellen  $N$ -mal die komplexe  $e$ -Funktion berechnet werden, so dass „der Aufwand wie  $\mathcal{O}(N^2)$  (wächst)“ (Lang, et al. S. 412). Das in den Computern implementierte Verfahren ist deswegen die Fast Fourier Transformation (FFT), welches die Rechnung „schneller – in  $\mathcal{O}(N \log_2 N)$  Schritten – (ausführt)“ (Lang, et al. S. 412) und ausreichend qualitativ verwendbare Ergebnisse liefert. Dazu werden die Fourier-Integrale (vgl. Formel (2)) „durch geeignet gewichtete Summen über die Funktionswerte an so genannten Stützstellen genähert“ (Lang, et al. S. 411). Die Fourierkoeffizienten  $c_n$  lassen sich über die Funktionswerte  $y(x_k)$  in dem Intervall  $(0, 2\pi)$  berechnen. Mittels der Wahl von  $N$  äquidistanten Stützstellen  $x_k = \frac{2k\pi}{N}$  sind die Fourierkoeffizienten somit von der Form (vgl. (Lang, et al., 2005 S. 411)):

$$c_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y_k e^{-inx_k} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y_k e^{-\frac{2i\pi kn}{N}} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y_k z^{kn} \quad \left( z \equiv e^{-\frac{2i\pi}{N}} \right) \quad (3)$$

Bei wenigen Stützstellen kann die Fourier-Analyse mittels der Gleichung aus Formel (3) per Hand durchgeführt werden. Liegt ein nicht-periodisches Signal vor, so ist eine Fourier-Transformation ebenfalls durchführbar. Hier wird von unendlich kleinen Grundfrequenzen ausgegangen, so dass „jede Frequenz im Spektrum als Vielfaches [...] (der) Grundfrequenz vorkommen (kann)“ (Reetz S. 63). Als ein großer Vorteil der FFT gilt, dass die zur Analyse verwendete Grundfrequenz in dem Spektrum nicht vorkommen muss, also nur ein fiktiver Wert ist, um ein nicht-periodisches Signal zu einem periodischen aus Sinussignalen zusammengesetzten Schallereignis umfunktionieren. Somit ist die Fourier-Transformation auf der Grundlage der Fourierreihe das zentrale mathematische Verfahren zur Analyse und Synthese von akustischen Signalen, die dann in Oszillogrammen und Sonagrammen graphisch dargestellt werden.



## 5. Softwareprogramme zum Erstellen und Bearbeiten der Versuche

Zur Vorbereitung und Bearbeitung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ wurden zwei verschiedene Softwareprogramme verwendet. Im Rahmen des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ kommt an mehreren Stationen ein Softwareprogramm zum Einsatz. Damit die Schülerinnen und Schüler nicht an jeder Station mit einem neuen Programm arbeiten müssen, einigte sich die Gruppe der Studierenden auf die Verwendung des Softwareprogramms Praat. Neben der Einbettung des Programms in die Station wurden vorab einige Dateien speziell für die hier beschriebene Station erstellt. Mit dem Softwareprogramm Sounds arbeiten die Schülerinnen und Schüler nicht. Dieses Programm wurde allerdings genutzt, um Versuchsteile der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ vorzubereiten, weswegen diese spezielle Anwendung von Sounds hier beschrieben wird.

### 5.1 Praat

Praat ist ein kostenloses Open-Source Programm, welches an der University of Amsterdam am Institute of Phonetic Sciences von Paul Boersma und David Weenink entwickelt und unter der GNU General Public License vertrieben wird. Unter der URL [www.praat.org](http://www.praat.org) gelangt man auf die zugehörige Homepage, auf welcher das Programm verfügbar ist und Links zu den Handbüchern hinterlegt sind. Für den deutschen Sprachgebrauch wurde ein Handbuch von Jörg Mayer verfasst, anhand dessen Vorabversion von September 2009 die Verwendung des Programms erlernt wurde (vgl. (Boersma, et al.)).

Grundlegend bei der Nutzung des Programms ist die Aufnahme von Sound-Objekten und deren Analyse, was von den Schülerinnen und Schülern in der Station zu den Oszillogrammen praktiziert wird. Öffnet man das Programm Praat, werden zwei Fenster „Praat Objects“ und „Praat Picture“ geöffnet. In dem Fenster „Praat Picture“ können verschiedene Aufzeichnungen dargestellt werden, um diese anschließend zu drucken. Das Fenster wurde im Rahmen der Vorbereitung und Bearbeitung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ nicht genutzt und dessen Verwendung wird deshalb nicht eingehender beschrieben. Das Objekt-Fenster ist das Hauptfenster, in welchem die zu bearbeiteten wav-Dateien, in chronologischer Reihenfolge des Aufrufens nummeriert und aufgelistet sind und sich auf der rechten Fensterseite die Befehle zur Analyse und Darstellung der Datei befinden. Unter „Open → Read from file“ können bereits gespeicherte oder andere wav-Dateien

geöffnet werden. Um neue Dateien zu erhalten, kann man mit einem an den Computer angeschlossenen Mikrofon Schallereignisse aufnehmen oder künstliche Signale über eine Formel erzeugen. Bei der Aufnahme besteht die Wahl zwischen Mono- und Stereo-Signal, also ob über einen oder zwei Kanäle aufgenommen werden soll. Für die zugrundeliegende Station wurden nur Aufnahmen mit einem Kanal produziert, da diese übersichtlicher auszuwerten sind. Zur Aufnahme wählt man „New → Record mono Sound“ und es öffnet sich das Aufnahme-Fenster „SoundRecorder“ (vgl. Abbildung 7). Als Abtastrate („Sampling frequency“), mit welcher das analoge Signal digitalisiert wird, kann man unter zwölf verschiedenen Frequenzvorgaben wählen. Für eine Sprachaufnahme sollte 44100 Hz gewählt werden, somit können Frequenzen bis zu 20000 Hz problemlos erfasst werden. Für die Aufnahme eines Tons, zum Beispiel einer Stimmgabel, genügt eine geringere Abtastrate von 8000 Hz. Die Aufnahme startet man mit „Record“ und beendet sie mit „Stop“. Während der Aufnahme ist im mittleren weißen Bereich des Fensters unter „Meter“ die Intensität des Eingangssignals in einer Abstufung von grün bis rot aufgetragen. Der rote Bereich sollte nach Möglichkeit vermieden werden, weshalb vor der eigentlichen Aufnahme einige Testaufnahmen zur Mikrophoneinstellung gemacht werden sollten. Sollen weitere Aufnahmen gemacht werden, speichert man mit „Save to list“ die Datei, welche im Objekt-Fenster erscheint. Soll keine weitere Aufnahme stattfinden, wird die Datei mit „Save to list & Close“ gespeichert wobei sich das Aufnahme-Fenster automatisch schließt.

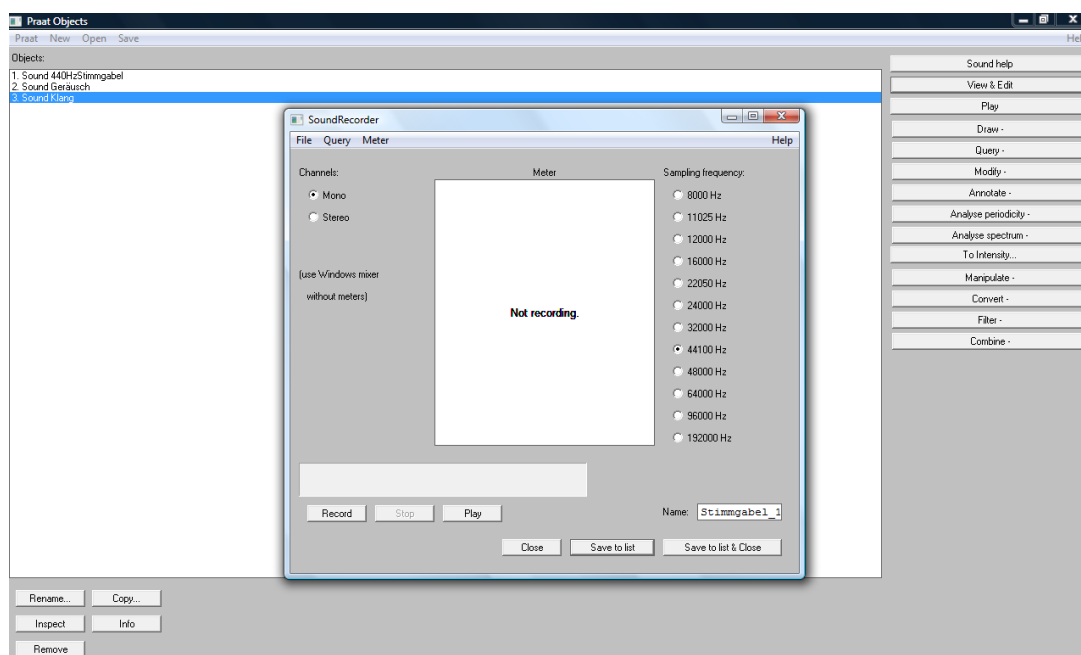


Abbildung 7: Im Hintergrund das Objekt-Fenster mit drei Dateien. Auf der rechten Seite befinden sich die Befehle zur Analyse der Datei, welche je nach ausgewähltem Dateiformat variieren. Oben links sind die Befehle, um eine Datei zu erzeugen, zu öffnen und zu speichern. Im Vordergrund ist das Aufnahme-Fenster zur Aufnahme eines Monosignals dargestellt. Die Auswahl der Abtastrate kann im rechten Bereich des Fensters vorgenommen werden.

Mit Praat können ebenfalls künstliche Signale über eine Formel erzeugt werden. Dazu öffnet man „New → Sound → Create Sound from formula...“ und es erscheint ein neues Fenster (vgl. Abbildung 8). Es können die Anzahl der Kanäle, die Dauer des Signals und die Abtastrate manuell eingegeben werden. In das untere Feld kann eine Formel für ein Signal eingetragen werden, hierzu steht eine große Auswahl an Funktionen bereit, welche unter „Help“ nachgeschlagen werden können. Möchte man einen vorgegebenen Klang oder ein Geräusch nachbauen, ist es hilfreich die Frequenzen des Signals vorher zu ermitteln. Diese Analyse ist mit Praat nur sehr ungenau möglich und die daraus künstlich erzeugten Signale unter Zuhilfenahme des Formeleditors entsprechen kaum den realen Objekten. Zur Analyse eines akustischen Signals eignen sich andere Programme besser (siehe 5.2 Sounds).

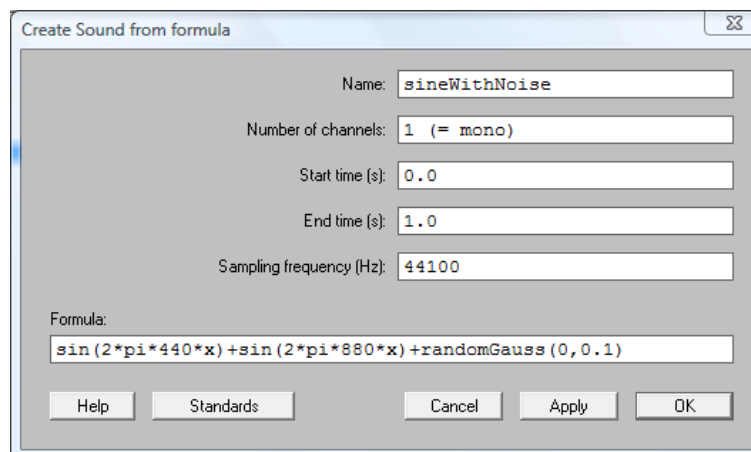


Abbildung 8: Funktionseditor zum Erzeugen eines künstlichen Signals mit Praat. Als Formel wurde ein Klang mit der Grundfrequenz 440 Hz und einem Oberton bei 880 Hz und einem zusätzlichen Rauschen mithilfe einer Zufallsfunktion in Gaussform um den Mittelwert 0 mit der Standardabweichung 0.1 gewählt.

Neben der Aufnahme und Erzeugung eines akustischen Signals mit Praat, kann dieses auch dargestellt und die Darstellung analysiert werden. Auf der rechten Seite des Objekt-Fensters (vgl. Abbildung 7) befinden sich verschiedene Befehle zur Arbeit mit einer Datei. Um das Oszillogramm darzustellen, wählt man die Datei und anschließend „View & Edit“ aus, wodurch sich in einem separaten Fenster das Oszillogramm öffnet. Dieses Fenster verfügt über zwei Graphen. Im oberen Graph ist immer das Oszillogramm aufgetragen und im unteren Fenster können verschiedene Analysen manuell ausgewählt und dargestellt werden (vgl. Abbildung 9). In der oberen Menüleiste kann neben dem Spektrogramm („Spectrum“) auch die Grundfrequenz („Pitch“) ausgewählt werden. Manuell einstellbar ist das maximale Zeitintervall, bei dessen Auflösung die Analyse angezeigt wird. Bei der Wahl eines kleinen Intervalls muss zuerst in das Oszillogramm hinein gezoomt werden, damit die Analyse dargestellt wird. Unter „Spectrum → Spectrogram settings...“ bzw. „Pitch → Pitch settings...“ können verschiedene Einstellungen vorgenommen werden. Für die Grundfrequenz

ist der dargestellte Frequenzbereich einzustellen, die anderen Einstellungen sind von der Standardformatierung übernehmbar. Bei der Darstellung des Spektrogramms muss ebenfalls der Frequenzbereich angegeben und eine Bandbreite („Window length“) sowie der Schwärzungsgrad („Dynamic range“) gewählt werden. Bei einer Breitband-Darstellung ist ein Wert von circa 5 ms einzutragen, bei einer Schmalband-Darstellung reicht eine größere Auflösung von ungefähr 30 ms. Um die einzelnen Frequenzbänder im Spektrum hervorzuheben wählt man einen geringen Schwärzungsgrad zwischen 50 dB und 20 dB, welcher dem Schalldruck und somit der Intensität des Schallereignisses entspricht. In Abbildung 9 ist beispielhaft ein Klang im Oszillogramm und Sonagramm dargestellt.

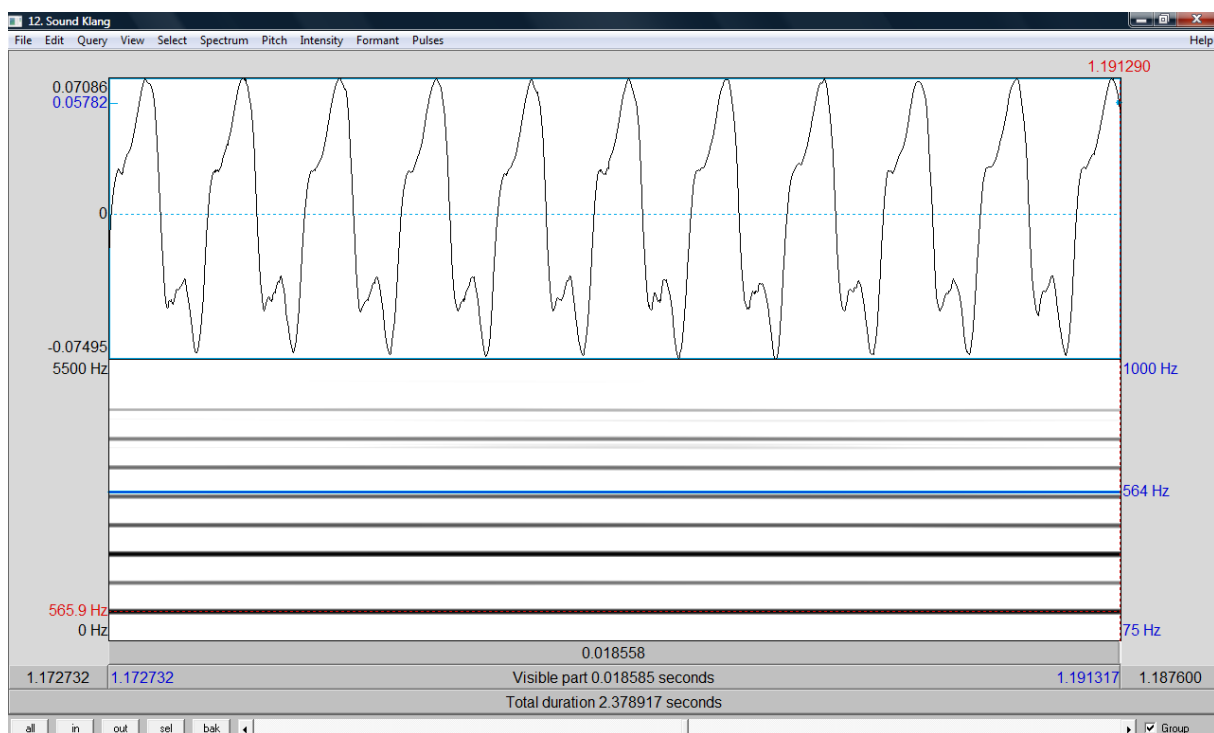


Abbildung 9: Darstellung eines Klangs mit dem Oszillogramm im oberen Fenster und dem Sonagramm und der Grundfrequenz im unteren Analyse-Fenster. Als Einstellungen für das Sonagramm wurden eine Frequenzbreite zwischen 0 Hz und 5500 Hz, eine Bandbreite von 30 ms und ein Schwärzungsgrad von 30 dB vorgenommen. Die schwarzen Streifen sind die Spektrallinien des Klangs, wobei die Grundfrequenz und der zweite Oberton eine größere Intensität als die weiteren Obertöne aufweisen. Gut zu erkennen ist der gleichmäßige Abstand der Spektrallinien untereinander, welcher charakteristisch für einen Klang ist. Der breite blaue Strich im unteren Fenster gibt die Grundfrequenz an, welche an der rechten Seite numerisch dargestellt ist. Vergleicht man die Frequenz der untersten Spektrallinie mit der Grundfrequenz, stimmen diese beiden im Rahmen der Auswahlmöglichkeit des Cursors gut überein.

Verschiedene Darstellungen und Auswahlmöglichkeiten erleichtern die Handhabung des Analyse-Fensters. Im rechten unteren Fensterbereich befinden sich verschiedene Funktionen zur Auswahl des darzustellenden Signalausschnitts. Man kann unter „all“ das gesamte aufgenommene Signal darstellen, oder mittels „in“ beziehungsweise „out“ die Darstellung vergrößern oder wieder verkleinern. Wählt man mit dem Mauszeiger einen Bereich aus und möchte nur diesen vergrößert darstellen, kann dies mit dem Button „sel“ erfolgen. Einen

Schritt zurück kommt man mit „bak“. Das dargestellte Zeitintervall und die gesamte Signaldauer sind unterhalb des zweiten Graphen als „Visible part“ und „Total duration“ immer eingeblendet. Auf der linken Seite des unteren Bildausschnitts findet sich die Skala für das Sonagramm, während rechts die Skalen für weitere Analysen angetragen sind (vgl. Abbildung 9).

## 5.2 Sounds

Das Software-Paket Sounds ist ebenso wie Praat eine Freeware, welche die Didaktik der Physik der Freien Universität Berlin entwickelt hat und zur freien Verfügung stellt. Unter der URL <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/projekte/sounds/index.html> ist sowohl das Programm zum Downloaden verfügbar, als auch zahlreiche Musikbeispiele und weitere Tools (vgl. (Voßkühler, et al.)).

Im Rahmen der Erstellung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ wurde das Software-Paket zur Vorbereitung der Schülerversuche verwendet. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten dagegen während der Versuchsdurchführung nicht mit diesem Programm, weil sich die Studierenden darauf geeinigt haben – wie oben bereits erläutert – ausschließlich das Software-Programm Praat bei der Durchführung zu nutzen. Die hier vorgestellten Funktionsweisen des Programms Sounds beschränken sich deswegen auch auf die verwendeten Tools.

Das Programm bietet die Möglichkeit akustische Signale mittels Fourieranalyse zu untersuchen. Dazu kann eine Datei im wav-Format eingelesen werden. Diese wird in einem Fenster als Oszillogramm angezeigt, in welches man durch die Schieberegler auf der rechten Fensterseite hineinzoomen kann. Durch Markieren eines Bereiches wird eine Vergrößerung im unteren Bereich des Fensters angezeigt (vgl. Abbildung 10). Spielt man das vollständige Signal oder einen ausgewählten Bereich ab, besteht die Möglichkeit, aus verschiedenen Analyse- und Darstellungsmöglichkeiten diejenige auszuwählen, die angezeigt werden soll. Um die Datei später mit Praat zu rekonstruieren, wurde deswegen das Analysefenster FFT zur Darstellung der Fourieranalyse gewählt. In diesem ist die Intensität in Dezibel gegenüber der Frequenz in Hertz aufgetragen. Hierbei ist zu beachten, dass die Intensität an einer negativen Achse dargestellt wird. Eine kleine negative Intensität bedeutet somit eine große Amplitude, und eine große negative Intensität eine kleine Amplitude. Sowohl die Abszisse als auch die Ordinate sind in linearer oder logarithmischer Form darstellbar. Für eine bessere Auswertung

wurde für die Abszisse die lineare und für die Ordinate die logarithmische Auftragung gewählt. Die Frequenzanalyse des unter Abbildung 10 dargestellten akustischen Signals ist in Abbildung 11 abgebildet. Durch Anklicken der Frequenzdarstellung zeigt das Programm im oberen rechten Bereich des Analysefensters die aktuelle Position des Mauszeigers an. Somit können die ungefähren Werte für die Maxima ermittelt werden. Diese Angaben sind jedoch sehr ungenau, weshalb eine weitere Darstellungsform des Schallereignisses ausgewählt wurde.

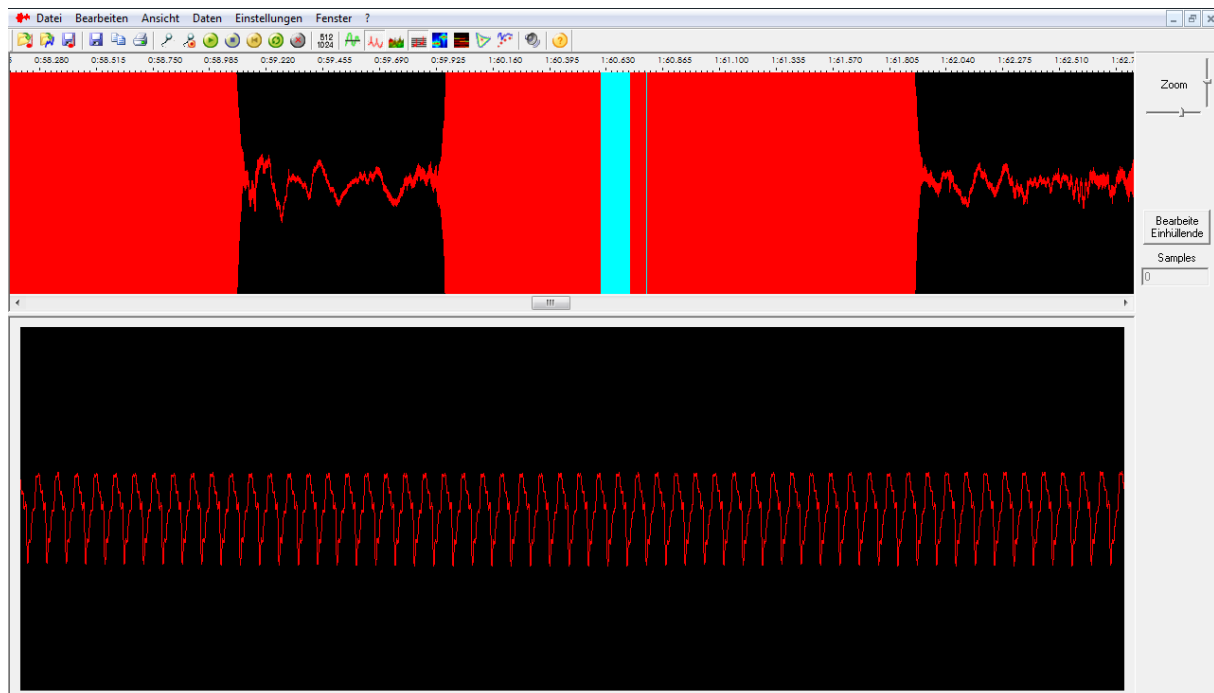


Abbildung 10: Screenshot des Darstellungsfensters des Software-Programms Sounds. Im oberen Bereich ist das akustische Signal zu sehen, welches mit den Schieberegler (rechts oben) vergrößert wurde. Das untere Fenster zeigt eine Vergrößerung des Oszillogramms der cyan-gefärbten Markierung im oberen Fenster.

Die Darstellung im Notenbild bietet die Möglichkeit, alle Obertöne zu dem Grundton des Schallereignisses einschließlich der Intensität anzuzeigen, welche durch die Länge des roten Strichs dargestellt ist. Außerdem sind die Frequenzen der einzelnen Töne bis auf 1 Hz exakt angegeben, wie auch der Abstand zwischen zwei Obertönen bzw. zwischen Grundton und erstem Oberton angetragen ist (vgl. Abbildung 12). Somit ist leichter zu überprüfen, ob das abgespielte akustische Signal ein Klang oder ein Geräusch ist. Ebenfalls bietet die Darstellung im Notenbild einige Modifikationen. Man kann wiederum zwischen einer linearen oder logarithmischen Darstellung wählen und auch die Anzahl der angezeigten Obertöne lässt sich manuell verändern.

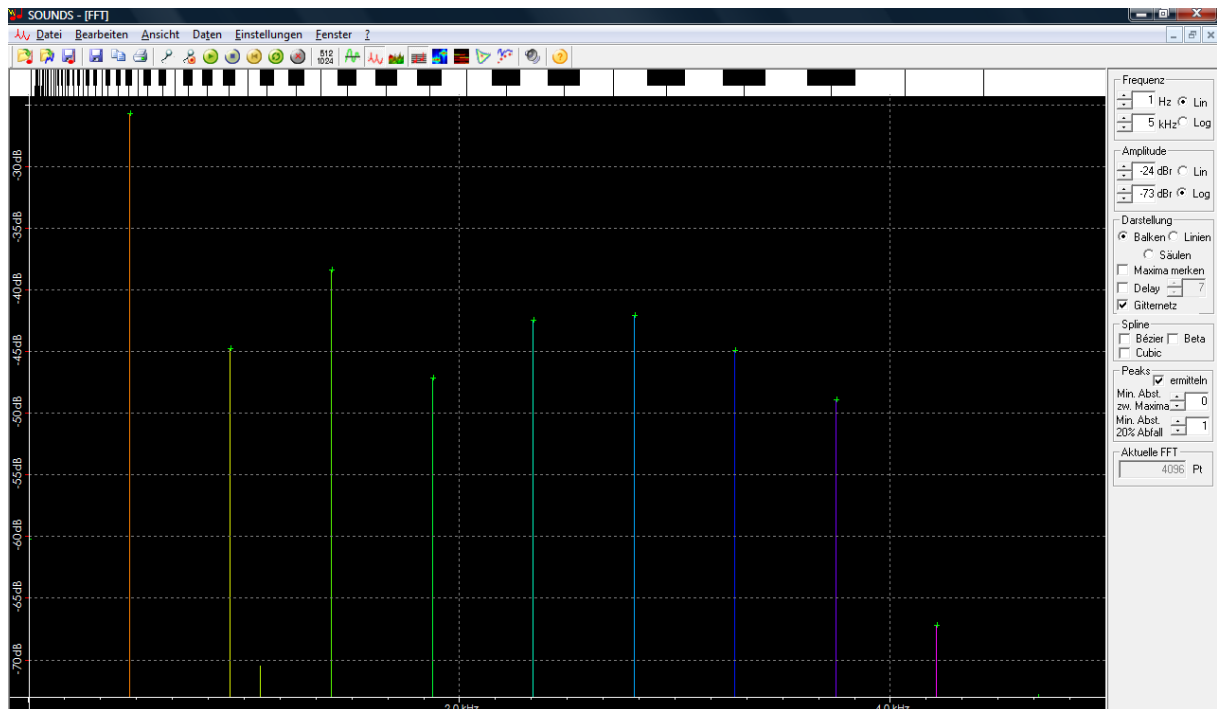


Abbildung 11: Screenshot der Frequenzdarstellung für das Signal bei Abbildung 10. Im rechten Bereich des Fensters können neben der Wahl der Darstellung der Achsen auch Splines ausgewählt werden, mit welchen die Auftragung interpolierbar ist. Durch Setzen eines Hakens werden die Peaks durch kleine grüne Kreuze angezeigt.

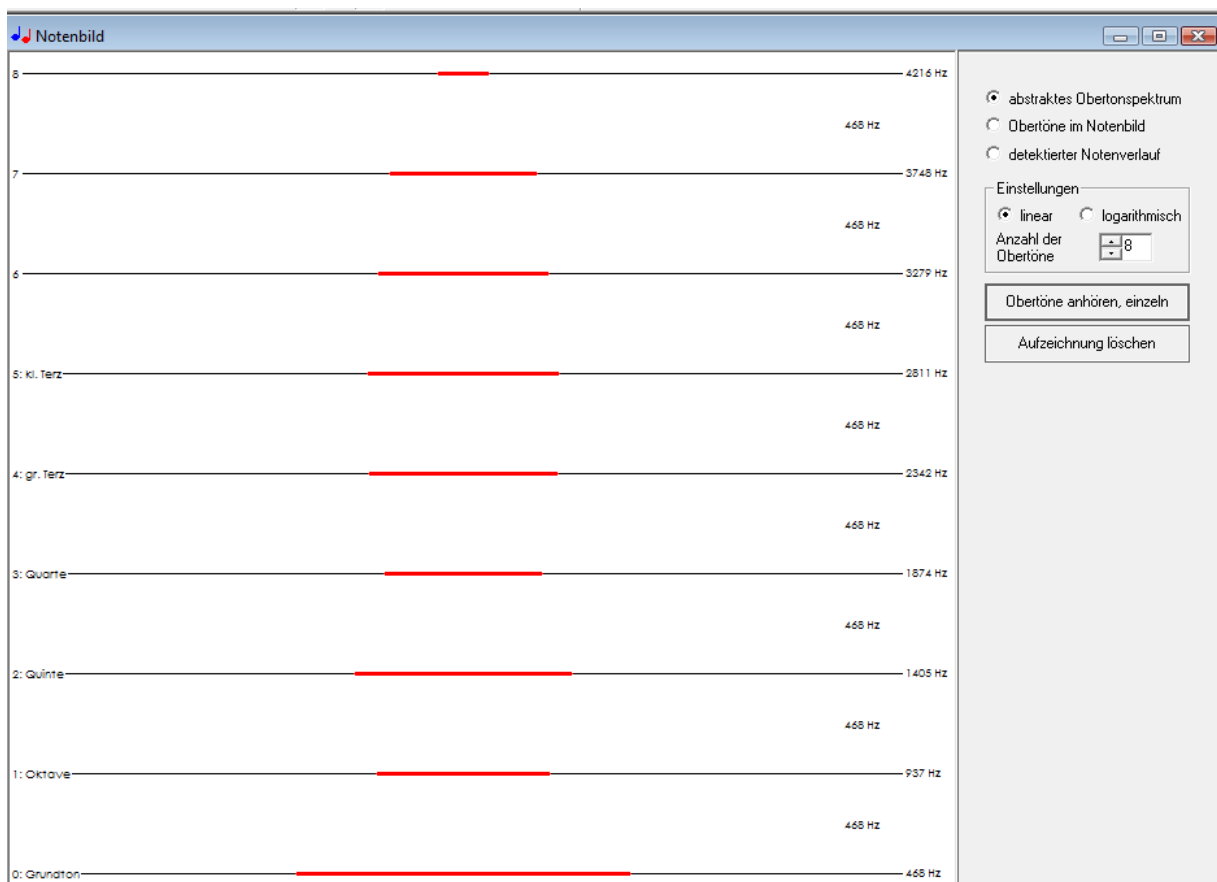


Abbildung 12: Screenshot des Notenbildes. In linearer Form sind acht Obertöne des Signals aus Abbildung 10 dargestellt. Der Grundton hat eine Frequenz von 468 Hz und die Obertöne sind dessen Vielfache. Da die Stellen nach dem Komma nicht dargestellt sind, kann es teilweise sein, dass die Summe der vorherigen Frequenz mit dem Abstand von 468 Hz nicht den Angaben für die Frequenzen der Obertöne entspricht. Zur Rekonstruktion des akustischen Signals mit Praat sind diese Angaben allerdings ausreichend.

---

Zusammen mit der Frequenzdarstellung bietet das Notenbild alle Hilfestellungen, um ein akustisches Signal zu rekonstruieren. Die Darstellung des Signals im Oszillogramm bietet ebenfalls die Möglichkeit, das nachgebaute Schallereignis mit dem ursprünglichen abzugleichen und gegebenenfalls die verwendete Formel für die Schallerzeugung mit Praat zu modifizieren. Unter Verwendung des Programms Sound kann ein akustisches Signal im Softwareprogramm Praat so implementiert werden, dass akustisch zwischen den beiden Schallereignissen kaum ein Unterschied zu registrieren ist. Die Oszillogramme sind jedoch nicht deckungsgleich, was auf die Beteiligung der Obertöne zurückzuführen ist, welche nicht vollständig berücksichtigt werden können.



## 6. Elementarisierung und deren didaktische Begründung

Die fachlichen Erklärungen der drei einzelnen Themengebiete Physik, Phonetik und Mathematik werden in den Erläuterungen zu der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ nach den Kriterien einer didaktischen Rekonstruktion, welche fachgerecht, schülergerecht und zielgerecht sein sollte (Kircher, et al. S. 118ff), den Schülerinnen und Schülern vermittelt. Ein besonderes Augenmerk bei der Elementarisierung der Inhalte wurde auf das Lernziel der Station gerichtet. Im Mittelpunkt steht hier die Frage, was die Lernenden an der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ erlernen und welche zentralen Inhalte ihnen vermittelt werden sollen. Die Station wurde so ausgelegt, dass die Schülerinnen und Schüler vornehmlich ein qualitatives Wissen über die akustische Phonetik und die Darstellung von Schallereignissen im Oszillogramm erwerben. Vor diesem Hintergrund wurden die theoretischen Hintergründe didaktisch aufbereitet.

Die allgemeine Schwingungs- und Wellenlehre ist im bayerischen Lehrplan der zehnten Jahrgangsstufe verankert und kann im Profilbereich noch um die Akustik erweitert werden. Ebenfalls ist hierbei die Fourier-Analyse thematisierbar, deren Grundlagen in Jahrgangsstufe neun und zehn im Mathematikunterricht gelegt werden (Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München, 2004). Darauf aufbauend wurde bei der Konzipierung der Station davon ausgegangen, dass die Schülerinnen und Schüler mit den zentralen Begriffen der Schwingungs- und Wellenlehre vertraut sind und diese nur noch einmal wiederholt werden müssen, wozu es unter anderem vor der Durchführung des Lehr-Lern-Labors eine Einführung gibt. Um den Lernenden vornehmlich ein qualitatives Wissen zur akustischen Phonetik zu vermitteln, wird in der Station auf Formeln zur Beschreibung der Longitudinalwellen verzichtet und die physikalischen Eigenschaften Frequenz, Amplitude und Intensität einer Welle in Textform erläutert. Die Erklärungen zu den vier akustischen Signalen – Ton, Klang, Geräusch und Knall – beschränken sich im Wesentlichen auf die Unterscheidung nach der Anzahl und dem Verhältnis der jeweils beteiligten Frequenzen und deren Amplitude. Zur Abgrenzung eines Tones von einem Klang wird eine Frequenzskala eingeführt, welche nur über eine vertikale Achse verfügt, an welcher die Frequenz anzutragen ist (vgl. Abbildung 13). Diese Skala wurde den Schülerinnen und Schülern bereits in der Einleitung zu dem Lehr-Lern-Labor vorgestellt.

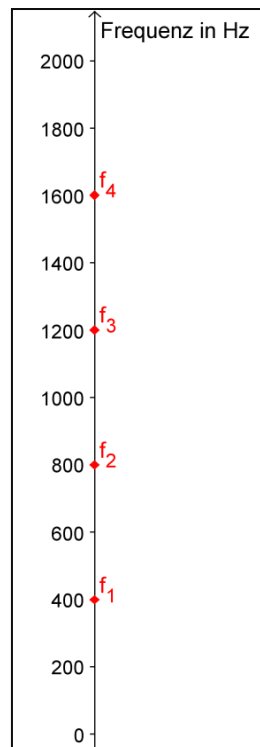


Abbildung 13: Die Frequenzskala ohne Abszisse. Das Bild zeigt die Auftragung von vier an einem Klang beteiligten Frequenzen, wobei der Grundton eine Frequenz von 400 Hz und die Obertöne Frequenzen von 800 Hz, 1200 Hz und 1600 Hz aufweisen. Die Darstellung wurde mit GeoGebra erstellt.

Diese vereinfachte Auftragung ermöglicht einen anschaulichen Vergleich zwischen den beiden Schallereignissen im Hinblick auf die Frequenzen, aus welchen die Signale zusammengesetzt sind. Des Weiteren dient sie als Vorbereitung zum Sonagramm, welches in der Station D „Akustische Phonetik – Sonagramme“ behandelt wird.

Die Beschreibung der Schallereignisse verzichtet auf eine Darstellung mittels trigonometrischer Funktionen, sodass auf die Frequenzen fokussiert werden kann. Naheliegend ist in diesem Zusammenhang auch, dass die Beschreibung der Fourieranalyse und -synthese zur Untersuchung eines Klangs nicht thematisiert wird. Beide sind für eine effektive Durchführung der Versuche und ein grundlegendes Verständnis der akustischen Phonetik nicht notwendig und außerdem mit dem zeitlichen Rahmen der Station nicht vereinbar.

Aus sprachwissenschaftlicher Sicht gesehen, ist es für die Durchführbarkeit der Station ebenfalls nicht von Nöten, dass die Schülerinnen und Schüler hier die Erzeugungsart und den Ort eines Lautes und seine damit verbundene Bezeichnung kennen. Wichtig ist, dass sie unterscheiden lernen, wie die einzelnen Laute im Oszillogramm aussehen und anschließend Rückschlüsse auf eine allgemeine Zuordnung von Frikativ, Plosiv, Nasal und Vokal zu den Schallereignissen Geräusch, Knall und Klang ziehen können. Des Weiteren wird die

Entstehung und Artikulation der Laute in Station A und B innerhalb des Lehr-Lern-Labors thematisiert.

Für die Verwendung der Software ist es wenig sinnvoll, die Schülerinnen und Schüler an jeder Station mit einer anderen Software arbeiten zu lassen. Aus diesem Grund wird an jeder Station die auch in der Sprachwissenschaft weit verbreitete Software Praat verwendet. Für die Schülerinnen und Schüler besteht somit ein Wiederholungseffekt, da sie an einigen Stationen die gleichen zentralen Elemente – Aufnahme oder Darstellung – mit Praat durchführen. Jedoch liegt an jeder Station eine andere Form der Gebrauchsanweisung vor, sodass keine Ermüdungseffekte bei der Bearbeitung auf Grund eintöniger, stets gleicher Vorgangsbeschreibungen auftreten. Ein Nachteil der unterschiedlichen Darbietungen der Anleitung zur Software Praat ist in eben dieser selbst zu sehen. Die Schülerinnen und Schüler könnten beim Lesen der neuen Anleitung feststellen, dass sie das Programm bereits für die gleiche Aktivität genutzt haben. Dieser Aspekt gilt insbesondere für die Aufnahme, denn diese ist Bestandteil aller Stationen, welche Praat verwenden. Weiterführende Aufgaben unterscheiden sich dann in ihrer Verwendung von Praat. Jedem Studierenden wurde es jedoch in seiner Konzeptionierung des Arbeitsmaterials frei gestellt, wie und wo die Anleitung zur Software eingebunden wird. Dies führte zu unterschiedlichen Ausarbeitungen, was für die Lernenden auch mehr Abwechslung bietet und somit ebenso als klarer Vorteil gesehen werden kann.

Weiterhin soll die Station und vor allem das Arbeitsheft durch abwechslungsreiche Versuche und verschiedene Formen der Ergebnissicherung motivierend gestaltet werden. Dies zeigt außerdem, mit welchen unterschiedlichen Methoden in der Wissenschaft gearbeitet werden kann und vermittelt den Schülerinnen und Schülern einen kleinen Einblick in unterschiedliche Arbeitsweisen eines Wissenschaftlers.


In der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ ist dieser Anspruch an die Vermittlung des Wissens und der Motivation der Schülerinnen und Schüler bestmöglich umgesetzt. Dies wird im Kapitel 8 eingehender beschrieben.


## 7. Station 0: Einführung des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“


Im Rahmen der Konzeptionierung des Lehr-Lern-Labors ergab sich, dass in vielen Stationen Begriffe verwendet werden, die als bekannt vorausgesetzt werden müssen. Die Studierenden einigten sich deswegen auf eine kurze Einführung, welche diese zentralen Begriffe wiederholen sowie den Inhalt und die Ziele des Labors darlegen soll. Da es sich vornehmlich um physikalisches Grundwissen handelte, wurde die Einführung im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellt und wird daher hier genauer betrachtet.

Mit der persönlichen Eingangsfrage, was BioPhysik & Sprache überhaupt mit einem selber zu tun habe, sollen sich die Schülerinnen und Schüler direkt angesprochen fühlen. Zusätzliche Abbildungen (vgl. Abbildung 14) zeigen ihnen zudem auf, dass man im Alltag täglich mit den drei Gebieten konfrontiert wird, den Zusammenhang dieser jedoch oft nicht als solchen erkennt. Bei der täglichen Kommunikation ist die Verknüpfung aller drei Gebiete gegeben – die Biologie beschreibt die Sprachproduktion und Verarbeitung, die Physik die Schallübertragung und die Sprachwissenschaft die Sprache an sich – was allerdings den meisten nicht bewusst ist. Selbiges gilt ebenfalls für die moderne Kommunikation und das Erlernen von Fremdsprachen.

**Lehr – Lern – Labor**  
**BioPhysik & Sprache**







**Direkte alltägliche Kommunikation**

**BioPhysik & Sprache:  
Was hat das mit mir zu tun?**



**moderne Kommunikations-Mittel** (Handynutzung, Spracherkennungsprogramme...)

**Erlernen von Fremdsprachen**


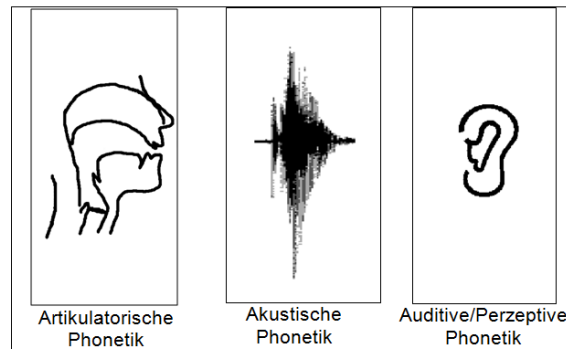


Abbildung 14: Screenshot der Powerpoint-Folie zur Hinführung zum Thema. Die drei Bilder sollen die Bereiche veranschaulichen, in denen eine Verbindung zwischen Biologie, Physik und Sprache vorhanden ist.

An der Schnittstelle der drei Disziplinen befindet sich die Phonetik, welche unter Verwendung von Aspekten der Biologie, der Physik und der Sprachwissenschaft die gesprochene Sprache beschreibt. Um die drei Bereiche der Phonetik – artikulatorische, akustische und perzeptive Phonetik – anschaulich zu verdeutlichen, wird den Schülerinnen und Schülern eine Abbildung, bestehend aus drei Bildern, gezeigt, welche die charakteristischen Merkmale eines Bereiches darstellen (vgl. Abbildung 15).



**Abbildung 15: Ikonische Darstellung der drei Bereiche der Phonetik. Die Anordnung der Bilder erfolgt nach einer bestimmten Reihenfolge. Zuerst werden die Laute produziert (artikulatorische Phonetik), anschließend als Schallwellen transportiert (akustische Phonetik) und zum Schluss vom Ohr aufgenommen und im Gehirn verarbeitet (auditive/perzeptive Phonetik).**

Nach dieser allgemeinen Einführung in die Thematik der Station erfolgen die Definitionen von einzelnen Begriffen, welche immer wieder an den Stationen verwendet werden. Diese Begriffe bilden die Grundlage zur erfolgreichen Bearbeitung der Stationen. Es werden nacheinander die Begriffe Frequenz und Amplitude sowie drei Schallereignisse Ton, Klang und Geräusch ikonisch und sprachlich dargebracht. Die Präsentationsfolien zu diesem Block sind in zwei Bereiche aufgeteilt. Auf der linken Seite findet sich ein Oszillogramm, welches stets in schwarzer Farbe die Auftragung eines Tons enthält. Die rechte Seite dagegen zeigt die oben beschriebene Frequenzskala ohne Abszisse, an welcher die Frequenzen als Punkte angetragen werden (vgl. Abbildung 17). Die Amplitude wird exemplarisch an einem Ton bei gleichbleibender Frequenz aufgezeigt (vgl. Abbildung 16), wobei die Amplitude mit den Begriffen Schalldruck und Intensität gleichgesetzt wird.

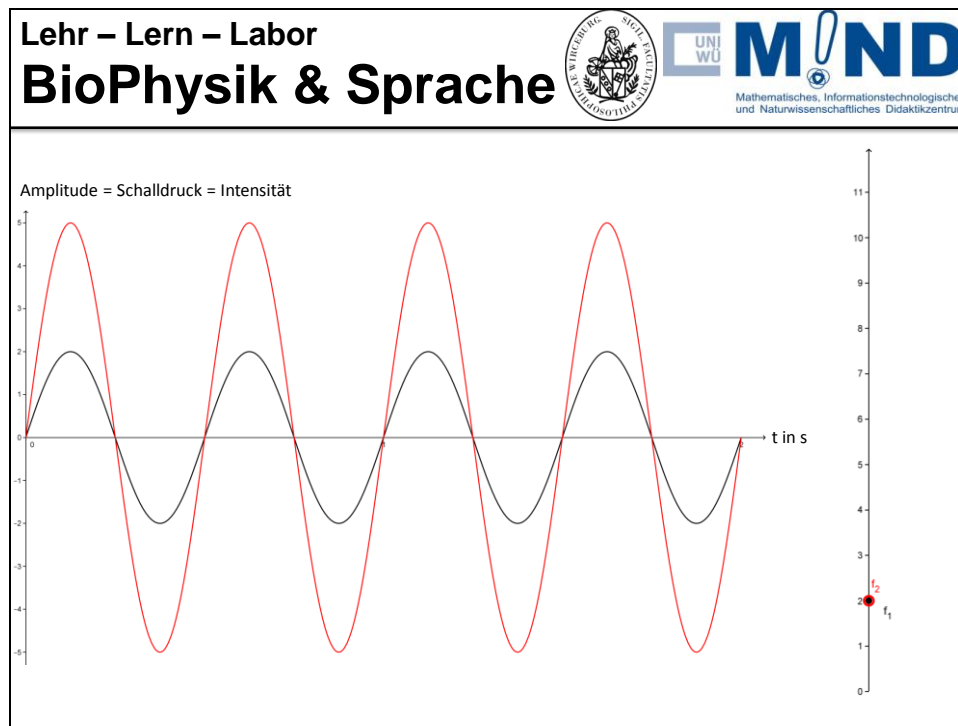


Abbildung 16: Die abgebildete Präsentationsfolie zeigt zweimal denselben Ton jedoch mit unterschiedlicher Amplitude. Auf der rechten Seite ist die Anzahl der Schwingungen für beide Schallereignisse (schwarz und rot) angetragen. Der Begriff Frequenz ist zu diesem Zeitpunkt im Rahmen des Lehr-Lern-Labors noch nicht definiert, weshalb die Achse nicht beschriftet ist.

Im Folgenden wird der Begriff Frequenz eingeführt bzw. wiederholt, da die Schülerinnen und Schüler je nach Klassenstufe ein anderes Vorwissen mitbringen. Analog zur Amplitude wird hier ein Ton dargestellt, der die gleiche Amplitude wie der Ausgangston, jedoch eine andere Frequenz besitzt (vgl. Abbildung 17 schwarze und grüne Auftragung). Zuvor wurde bei der Erklärung der Amplitude der Begriff Frequenz umschrieben als Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Diese Beschreibung wird nun als Definition für die Frequenz verwendet. Die Frequenzen der beiden Töne werden wiederum an der jetzt als Frequenzskala bezeichneten Achse angetragen.

Nach der Einführung bzw. Wiederholung der Begriffe Amplitude und Frequenz werden die einzelnen Schallereignisse im Oszillogramm dargestellt. Bei der ikonischen Darstellung der akustischen Signale wird mit Hilfe der Amplitudenauftragung gegenüber der Zeit auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Ereignissen fokussiert. Diese Unterscheidung erfolgt ebenfalls durch eine farblich abgegrenzte Darstellung und ist in Abbildung 17 zu sehen. Es werden jedoch nur der Ton, der Klang und das Geräusch unterschieden, wobei hierbei die Darstellung im Oszillogramm und die beteiligten Frequenzen im Zentrum stehen.

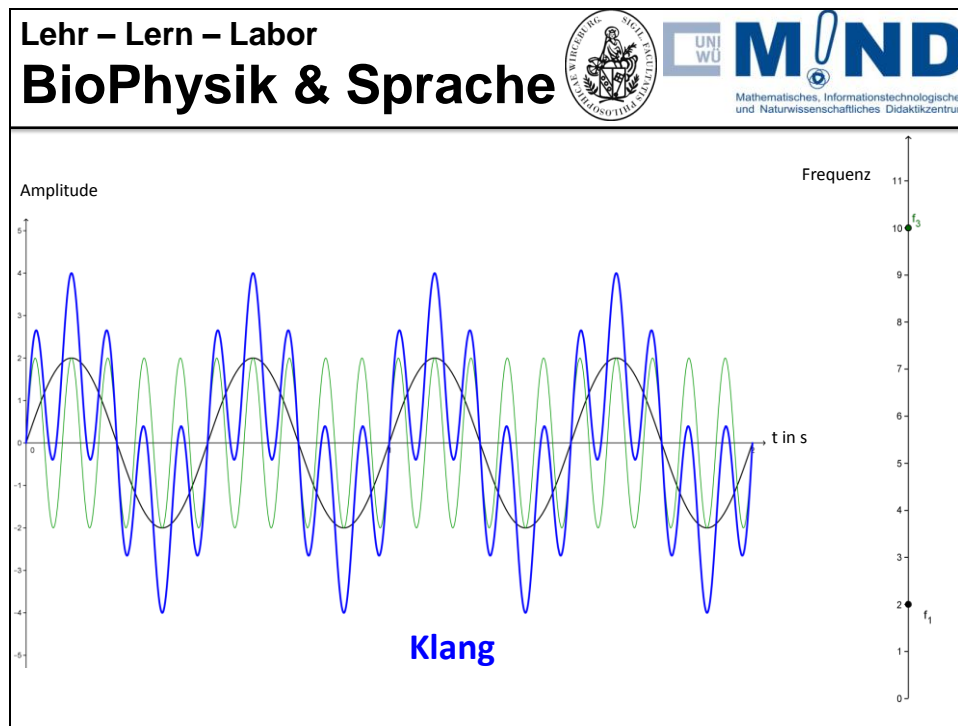


Abbildung 17: Screenshot einer Präsentationsfolie. Die abgebildete Folie dient zur Unterscheidung von Klang (blau) und Ton (schwarz, bzw. grün). Der Klang ist eine Überlagerung aus den beiden Tönen schwarz und grün. Die Frequenzskala auf der rechten Seite zeigt die am Klang beteiligten Frequenzen ( $f_1$  und  $f_3$ ).

Im Anschluss an die Begriffsdefinition und die Vorstellung ausgewählter akustischer Signale folgt ein Vergleich zwischen der Alltagssprache bzw. der Verwendung bestimmter Begriffe in der Musiktheorie und den korrekten physikalischen Bezeichnungen. Selbst den Studierenden waren die Unterschiede bei der Konzeption ihrer Stationen nicht bewusst und die Begriffe wurden oft falsch gewählt. Sie erachteten es als sinnvoll den Schülerinnen und Schülern die Unterscheidung ebenfalls aufzuzeigen, damit diese die Bezeichnungen richtig verwenden können. Ebenfalls soll diese Gegenüberstellung den Lernenden bewusst machen, dass sie im Alltag Begriffe oft physikalisch unkorrekt verwenden und es auch je nach Wissenschaft andere Definitionen für ein und dasselbe akustische Signal gibt. Hervorzuheben sei hier exemplarisch der Ton, welcher physikalisch gesehen nur aus einer Frequenz besteht und in der Natur so gut wie nie vorkommt. Die Umgangssprache oder auch die Musikwissenschaft verwendet den Begriff Ton für ein Schallereignis, welches physikalisch gesehen ein Klang ist. Für die Schülerinnen und Schüler soll dieser Vergleich zudem ein Ansporn sein, dass sie sich auch bei unkorrekter Verwendung im Alltag der richtigen Begriffsbedeutung bewusst sind und die Bezeichnungen vor allem bei der Durchführung des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ richtig einsetzen.

Mit dieser Einführung erhalten alle Schülerinnen und Schüler dieselben Grundlagen, um sich während der Bearbeitung der Stationen wissenschaftlich korrekt auszudrücken und ohne

Nachfragen der Standardbegriffe selbstständig die Inhalte zu erarbeiten. Eine abschließende Präsentationsfolie enthält die wichtigsten organisatorischen Informationen zur Durchführung des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“. Im Anschluss daran bilden die Lernenden Arbeitsgruppen, in denen sie die Stationen in beliebiger Reihenfolge durchführen. Ist eine Station gerade frei, so kann sie von einer Schülergruppe bearbeitet werden.



## 8. Station C: „Akustische Phonetik – Oszillogramme“

Die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ wurde im Rahmen des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik&Sprache“ als eine von acht Stationen konzipiert. Durchgeführt wurde das Labor einmal mit allen Stationen, wobei jede Station von einer Schülergruppe aus drei bis fünf Schülerinnen und Schülern zwei- oder dreimal bearbeitet wurde. Im Folgenden werden nach einer kurzen Einordnung der Station in das Labor sowohl die Versuche der ersten Durchführung als auch eine überarbeitete Version beschrieben.

### 8.1 Einordnung der Station in das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik&Sprache“

Die zentralen Themen der Phonetik – Artikulation, Akustik und Perzeption – wurden jeweils von zwei Studierenden in Gruppenarbeit erarbeitet, um im Anschluss zwei eigenständige Stationen zu erstellen. Die sechs speziellen und die beiden themenübergreifenden Stationen wurden im Plenum in eine Reihenfolge gebracht, welche jedoch keine Verpflichtung bezüglich der Reihenfolge der Durchführung darstellt. Die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ erhielt in diesem Zusammenhang den Buchstaben „C“ und bildet zusammen mit Station „D“ eine Einheit zur akustischen Phonetik. Die einzelnen Stationen bauen nicht aufeinander auf und können somit unabhängig voneinander durchgeführt werden. An einzelnen Stationen wird auf Aspekte anderer Stationen verwiesen oder gleiche Inhalte, je nach Themenschwerpunkt, ausführlicher oder unter Beschränkung auf das Wesentliche beschrieben. Jede Station wurde so konzipiert, dass sie ohne Vorwissen aus den anderen Stationen separat durchführbar ist. Um den Schülerinnen und Schülern jedoch ein umfassendes Wissen über die Phonetik zu vermitteln, sollten nach Möglichkeit alle Stationen oder mindestens eine aus jedem Themenbereich – Artikulation, Akustik und Perzeption – bearbeitet werden.

### 8.2 Schülerversuche – Version 1

Die im Folgenden beschriebene Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ setzt sich aus vier unterschiedlichen Versuchen zusammen, welche jeweils einen anderen Aspekt der akustischen Phonetik behandeln. Der Station vorangestellt ist eine kurze Einführung zum Thema, welcher sich die Versuche anschließen. Im Folgenden werden neben der

Beschreibung eines Versuchs auch didaktische Kommentare bezüglich der Funktion des Betreuers und der Zielsetzung gegeben.

### 8.2.1 Einführung

Als Hinführung zum Thema dient eine kurze Einführung. In dieser wird erklärt, was der Gegenstandsbereich der akustischen Phonetik ist, was man unter einem Oszillogramm versteht und wie die Station aufgebaut ist. Zur Motivation und als Einstieg in das Themengebiet dient die Abbildung eines Oszillogramms mit den vier verschiedenen akustischen Signalen (vgl. Abbildung 18).

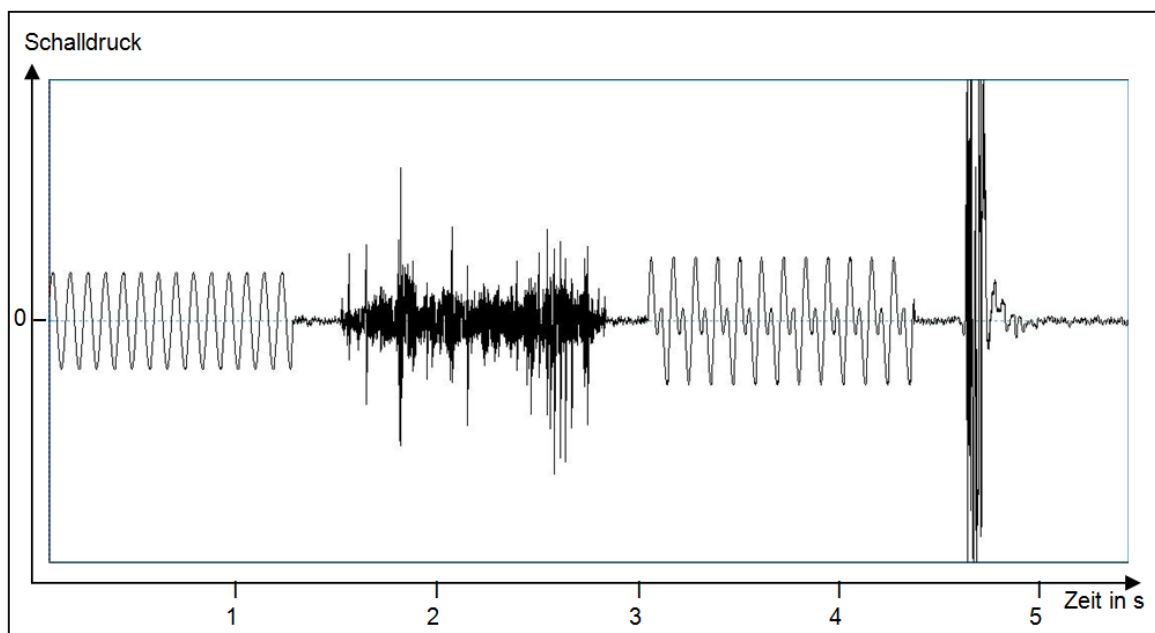


Abbildung 18: Screenshot des auf der Arbeitsanweisung abgebildeten Oszillogramms zur Einführung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“. Die Grafik wurde mit Praat erstellt und die Achsen mit Word ergänzt.

Diese Abbildung wird den Schülerinnen und Schülern innerhalb der Station wieder begegnen. Zusammen mit der letzten Station bildet die Einführung eine Einheit. Im Arbeitsheft befindet sich ebenfalls eine kurze Einführung mit einem Überblick über die einzelnen Versuche an der Station. Damit soll es den Schülerinnen und Schülern bei einem späteren Durchlesen des Heftes erleichtert werden, sich an die Inhalte der Station zurück zu erinnern. Außerdem sollen sie beim Lesen der Einführung schnell (wieder)erkennen, was die zentralen Inhalte bei der Beschäftigung mit Oszillogrammen im Bereich der akustischen Phonetik sind. Die Einführung dient somit sowohl in der Arbeitsanweisung als auch im Arbeitsheft als Hinführung zum Thema und als Überblick über die im Anschluss behandelten Aspekte der akustischen Phonetik unter Betrachtung der Oszillogramme.

### 8.2.2 Versuch 1 – „Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“

Die Schülerinnen und Schüler beschäftigen sich in diesem Versuch mit den Grundlagen der Aufzeichnung eines Oszillogramms, indem sie Texte lesen und Versuche durchführen. Ziel des Versuches ist es, dass die Schülerinnen und Schüler verschiedene Auftragungsmöglichkeiten der Schwingung einer Stimmgabel erstellen können. Zum einen wird hier die manuelle Aufzeichnung thematisiert und zum anderen die computergestützte Auftragung unter Verwendung geeigneter Software erarbeitet, bei welcher die Schallwellen einer Stimmgabel (hier: 440 Hz) sichtbar gemacht werden.

Der Versuch gliedert sich in zwei Teilversuche. Im ersten Teil zeichnen die Schülerinnen und Schüler die Schwingung einer Stimmgabel auf, welche keinen hörbaren Ton erzeugt und mit einer montierten Mine versehen ist. Dazu müssen sie ein weißes Papier an den Rand des Tisches legen und die Stimmgabel über das Papier halten. Ein Mitschüler zieht nach Anschlagen der Stimmgabel mit der Hand das Papier unter der Stimmgabel hindurch, sodass die Schwingung über die montierte Mine aufgezeichnet wird. Die Anleitung (vgl. Abbildung 19) gibt noch den Hinweis, dass mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden muss und der Versuch durchaus mehrmals durchführbar ist.

- a) Führen Sie das erste Experiment in folgenden Schritten durch:
- Legen Sie das Papier möglichst nahe am Rand auf den Tisch.
  - Nehmen Sie die Stimmgabel so in die Hand, dass die Mine der Stimmgabel das Blatt auf der Seite berührt, die gegenüber vom Tischrand ist.
  - Bevor Sie die Stimmgabel mit der freien Hand anschlagen, bestimmen Sie einen Mitschüler, der nach dem Anschlagen das Blatt schnell vom Tischrand zur Mitte hin zieht. **Hinweis: Das Blatt muss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden. Machen Sie deshalb mehrere Versuche.**

Abbildung 19: Arbeitsauftrag zum ersten Versuchsteil.

Im Anschluss daran sollen die Schülerinnen und Schüler eine Stimmgabel mit dem Programm „Praat“ aufnehmen und nach vorgegebenen Gesichtspunkten analysieren. Dazu verwenden sie eine Stimmgabel in einem Metallständer, welche sie mit Knetmasse auf dem Tisch befestigen. Dieser Vorgang ist notwendig, da das Programm sehr empfindlich auf die geringsten Schwankungen reagiert. Jedoch soll in dem Versuch nur die reine Sinusschwingung, welche eine Stimmgabel erzeugt, aufgezeichnet werden. Der Metallständer wurde gewählt, um einen festen Stand für die Stimmgabel zu gewährleisten und damit die Stimmgabel während der Aufnahme stets die gleiche Entfernung vom Mikrofon hat. Dies ist nicht gewährleistet, wenn man die Stimmgabel in der Hand hält. Da jedoch die Schwingung der Stimmgabel über den

Metallständer an den Tisch übertragen wird, bringt man zur Dämpfung und Vermeidung von Resonanzeffekten Knetmasse zwischen Tisch und Metallständer an. Würde man die Stimmgabel in einem der zugehörigen Holzkästen befestigen, käme es zu Resonanzeffekten, da der Holzkasten ein Resonanzkörper ist. In vorherigen Versuchen wurde die hier von den Schülern angewendete Methode als am effektivsten gesehen, um die reine Sinusschwingung der Stimmgabel aufzuzeichnen. Umgebungsgeräusche spielen dann bei der Auftragung nur eine geringe Rolle, wobei es hilfreich ist, wenn die Schülergruppe oder der Betreuer vor der Aufnahme kurz um Ruhe im Raum bittet. Bevor die Schülerinnen und Schüler allerdings die Aufnahme starten, sollen sie die Bedienungsanleitung des Softwareprogramms „Praat“ lesen, welche mit Bild auf der Arbeitsanweisung abgedruckt ist, und anschließend an dieser orientiert die Aufnahme durchführen. Um mit dem Oszillogramm zu arbeiten, soll die Grundfrequenz aus der Auftragung bestimmt werden. Dazu ist vorher das Programm vom Betreuer so einzustellen, dass im unteren Bildausschnitt erst nach einer Vergrößerung des Oszillogramms ein blauer Streifen zu sehen ist. Auf der rechten Seite des unteren Analysefensters befindet sich dann die passende Frequenzangabe. Bei optimalen Aufnahmebedingungen befindet sich die Frequenzangabe im Bereich um die 440 Hz. Abbildung 20 zeigt exemplarisch eine Aufnahme der Stimmgabel.

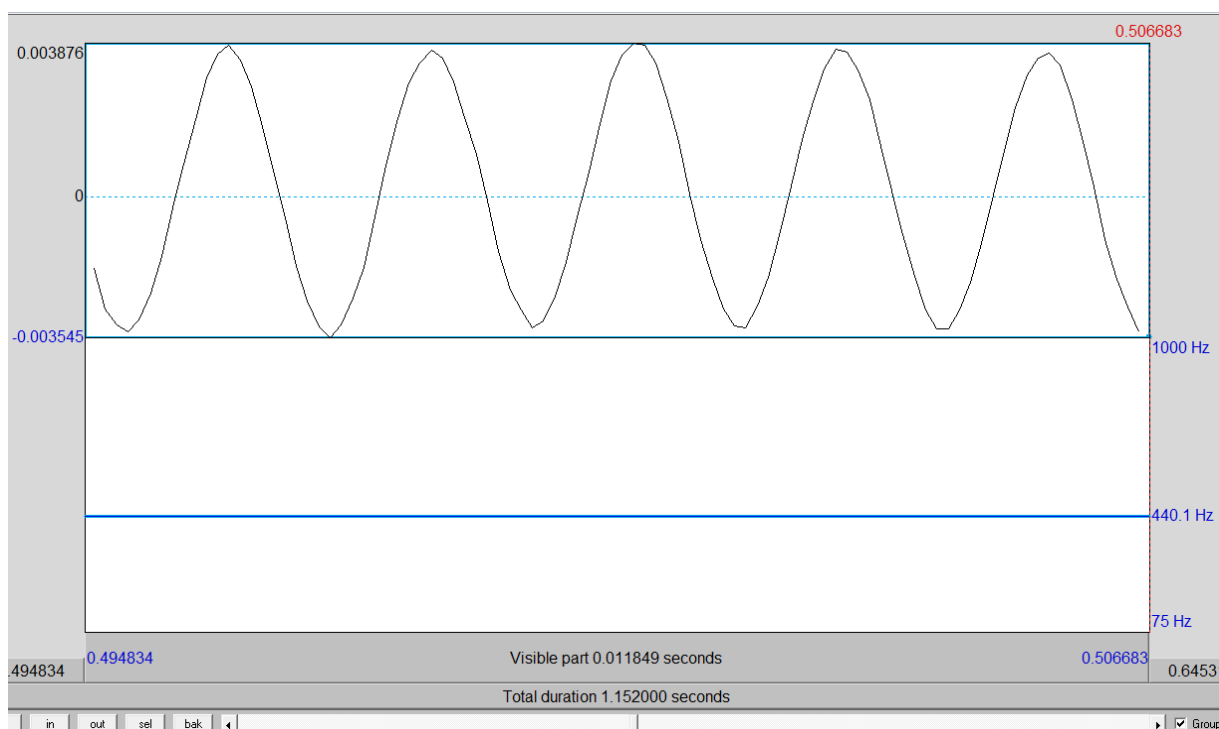


Abbildung 20: Mögliches Oszillogramm im oberen Fenster mit Anzeige der Grundfrequenz (Pitch) im unteren Fenster. Aufnahme und Darstellung mit Praat. Das während der Durchführung aufzunehmende Oszillogramm sollte ähnlich zu diesem hier abgebildeten aussehen.

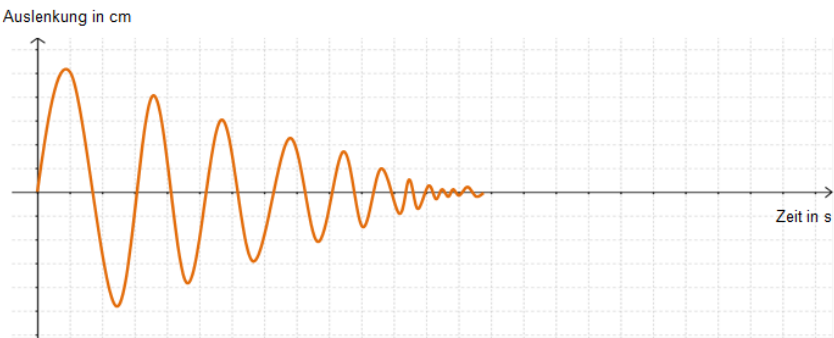
Weist der ausgewählte Ausschnitt des Oszillogramms starke Abweichungen von einer Sinusschwingung oder der auf der Stimmgabel angegebenen Frequenz auf, sollte ein anderer Ausschnitt des Oszillogramms betrachtet werden. Die maximale Differenz zwischen Angabe auf der Stimmgabel und angezeigter Grundfrequenz im Programm darf höchstens 5 Hz betragen. Die unterschiedlichen Werte, welche von Umgebungsgeräuschen oder dem Einschwingvorgang der Stimmgabel herrühren können, sind mit den Schülerinnen und Schülern in der Gruppe zu diskutieren.

Nach der Aufnahme soll der Lückentext im Arbeitsheft ausgefüllt werden. Dieser fasst die zentralen Aspekte der mechanischen, manuellen Aufzeichnung und die der computergestützten zusammen und fragt zudem weitere Punkte ab, welche bisher nicht aufgetaucht sind. Außerdem ist gefordert, dass eine Skizze der mechanisch aufgezeichneten Schwingung in das Arbeitsheft übernommen wird, damit die Schülerinnen und Schüler neben dem Oszillogramm, welches im Arbeitsheft abgedruckt ist, auch eine mechanisch aufgezeichnete Schwingung zum Vergleich vorliegen haben (vgl. Abbildung 21).

**Ergebnisse:**

Bei der **mechanischen** Aufzeichnung ist die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit aufgetragen. In einem **Oszillogramm** wird die Änderung des Schalldrucks gegen die Zeit dargestellt. Bei der Aufzeichnung mit der Hand schwächt die Auslenkung auf Grund von großer **Reibung** sehr schnell ab. Dieser Effekt ist beim Oszillogramm nur sehr gering.

Zeichnen Sie die manuelle Aufzeichnung der Schwingung der Stimmgabel in das folgende Koordinatensystem sinngemäß ein.



**Abbildung 21: Sicherung der Ergebnisse des ersten Versuches. Musterlösung mit geplotteter Schwingungsfunktion, erzeugt mit GeoGebra.**

Die Arbeit mit zwei verschiedenen Auftragungsmethoden wird bewusst in einem Versuch behandelt, damit die Schülerinnen und Schüler beide Methoden nebeneinander vergleichen können. Bei der ersten Methode wird die Schwingung einer Stimmgabel direkt aufgetragen. Diese Schwingung ist mit der verwendeten Stimmgabel gut beobachtbar. Hingegen wird bei

der zweiten Methode die Schallwelle aufgenommen und dargestellt, die durch die kaum sichtbare Schwingung der Stimmgabel erzeugt wurde. Diese Unterscheidung soll den Schülerinnen und Schülern bewusst gemacht und als zentraler Aspekt des Versuchs behalten werden. Durch die eigene Aufnahme beider Stimmgabeln und der Arbeit mit dem Computer wird die Textlastigkeit des Versuches kompensiert. Ebenso dient die Abbildung zur Durchführung einer Aufnahme mit „Praat“ dazu, dass die vorherige Bedienungsanleitung nur einmal gelesen werden muss, da danach das Programm mit Hilfe der zusätzlichen Abbildung in der Arbeitsanweisung selbsterklärend ist. Auch dient die Zusammenfassung erst am Ende des Versuchs der Rekapitulation der bearbeiteten Inhalte.

### 8.2.3 Versuch 2 – „Verschiedene akustische Signale im Vergleich (Versuch)“

Im Mittelpunkt des zweiten Versuchs stehen die Darstellung verschiedener akustischer Signale im Oszillogramm und die physikalische Klassifizierung hinsichtlich Frequenz und Amplitude. Als Vorbereitung zu diesem Versuch wurden mit Praat drei Signale aufgenommen und eines synthetisch nachgebaut. Die Aufnahmen einer Flöte, von Papierrascheln und eines zerplatzenden Luftballons sowie der nachgebaute Klang der Flöte sind im Praat-Hauptfenster hinterlegt und sollen von den Schülerinnen und Schülern abgespielt und im Oszillogramm, ohne Anzeige weiterer Analyse-Parameter, untersucht werden. Zuvor muss der Betreuer einige Einstellungen vornehmen. Damit nur noch das Oszillogramm sichtbar ist, muss der Haken für die Darstellung des „Pitch“ im Menü entfernt werden. Als Hilfe dienen ihnen hierbei der Informationstext zum Abspielen einer Datei mit Praat und der Hinweis, dass man mit der Software ein synthetisches Signal von einem realen Signal, wie zum Beispiel einer Flöte, erzeugen kann. Die Frequenzen, welche zur Rekonstruktion des Flötenklangs verwendet wurden, sind ebenfalls im Informationstext enthalten. Es wurde in diesem Zusammenhang jedoch darauf verzichtet, den Schülerinnen und Schülern zu erklären, wie die einzelnen Frequenzen ermittelt und modelliert wurden, um einen ähnlichen Klang mit der Software zu erzeugen. Die Hintergründe der Fouriertransformation sind in dem vorgegebenen zeitlichen Rahmen nicht behandelbar, können jedoch bei Nachfrage der Schülerinnen und Schüler mit diesen kurz erörtert werden.

Neben dem Abspielen und Betrachten der Oszillogramme steht bei diesem Versuch vor allem das aktive Gespräch innerhalb der Gruppe im Vordergrund. Zu jedem Arbeitsauftrag gibt es eine Frage, den Unterschied der einzelnen Signale betreffend, welche von den Schülerinnen und Schülern gegebenenfalls unter Anleitung des Betreuers zu diskutieren ist. Hierzu ist

zuerst nichts zu notieren, die Ergebnisse werden jedoch am Ende des Versuches in einem Lückentext zusammengetragen.

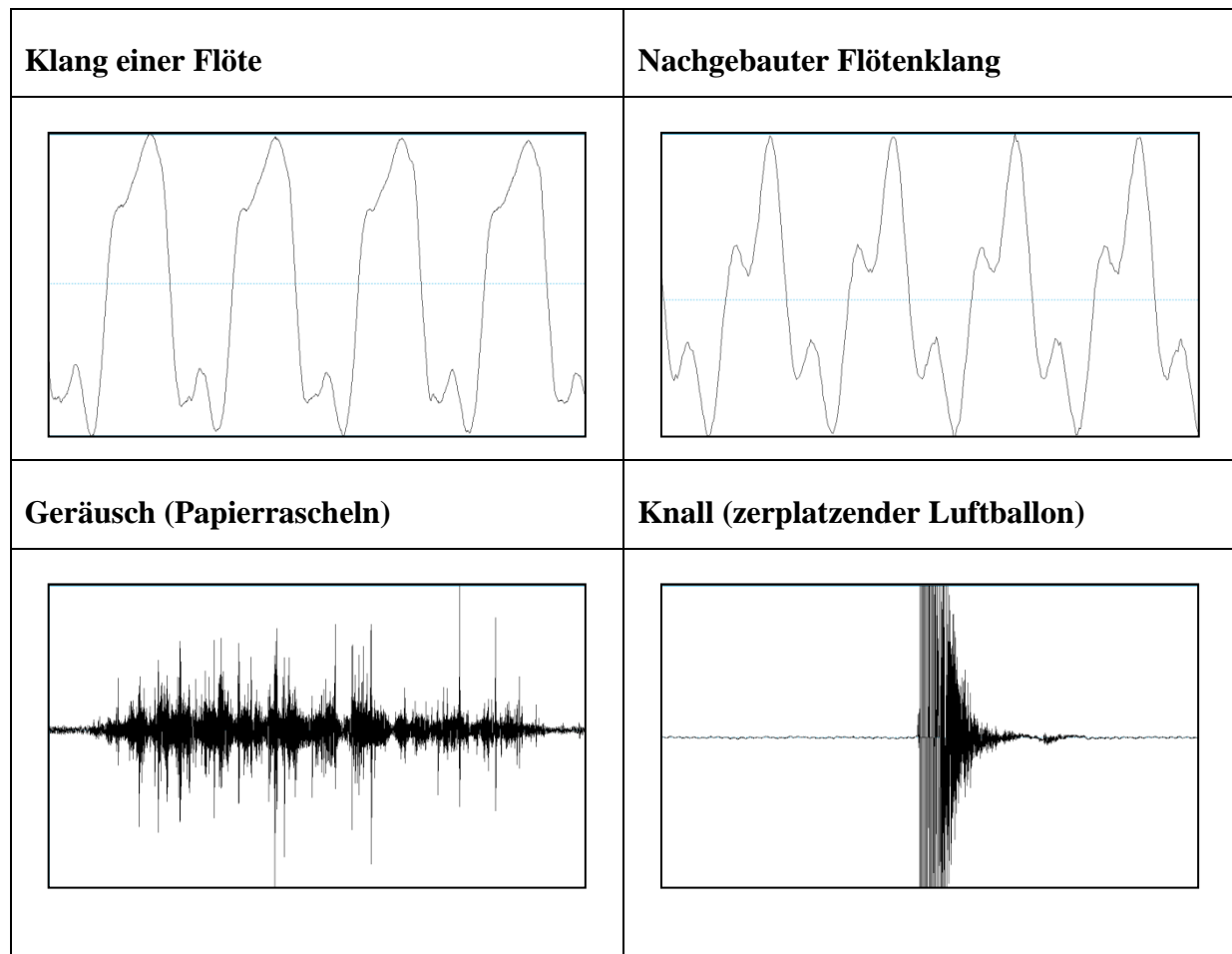


Abbildung 22: Oszillogramme der drei akustischen Signale Klang, Geräusch und Knall sowie das nachgebaute Klangereignis.

Beim Abspielen der beiden Klänge ist zu bemerken, dass diese sich sehr ähnlich anhören, wohingegen die Auftragungen im Oszillogramm sich deutlich unterscheidet. Es ist somit von den Schülerinnen und Schülern festzustellen, dass zwei akustische Signale ähnlich klingen können, sich jedoch bei genauerer Analyse hinsichtlich der physikalischen Eigenschaften unterscheiden. Die beiden weiteren Schallereignisse Geräusch und Knall werden ebenfalls abgespielt, jedoch lediglich um deren Unterscheidung auch akustisch darzustellen. Das Geräusch wird im Vergleich zum Klang betrachtet, wobei hier der Fokus auf der Ausprägung der Schwingung liegt, welcher keine Regelmäßigkeit anzusehen ist. Darauf aufbauend sollen die Schülerinnen und Schüler schließen, dass der Unterschied zwischen Klang und Geräusch in dem Verhältnis der beteiligten Frequenzen zueinander liegt. Der Knall wird vom Geräusch durch seine sehr große Amplitude zu Beginn des Signals und die schnelle Abschwächung unterschieden. Abbildung 22 zeigt die vier Schallereignisse in ihrer Oszillogramm-Darstellung.

Im Arbeitsheft werden die zentralen Elemente des Versuchs aufgeschrieben. Hierbei wird von den Schülerinnen und Schülern erwartet, dass sie die beteiligten Frequenzen für den Ton aus Versuch 1 und für den nachgebauten Klang an einer Frequenzskala antragen können und das ganzzahlige Verhältnis der am Klang beteiligten Frequenzen erkennen (vgl. Abbildung 23). In einem Lückentext werden die physikalischen Eigenschaften hinsichtlich der beteiligten Frequenzen des Geräuschs und des Knalls festgehalten.

*Ergebnisse:*

Tragen Sie die Frequenzen des Tones aus Teil 1 und die des nachgebauten Klanges an den Frequenzskalen (a) und (b) an.

(a)

2000  
1800  
1600  
1400  
1200  
1000  
800  
600  
400  
200  
0

$f_1$

(b)

2000  
1800  
1600  
1400  
1200  
1000  
800  
600  
400  
200  
0

$f_3$   
 $f_2$   
 $f_1$

Was können Sie beim Klang über das Verhältnis der Frequenzen zueinander anhand der Frequenzskala sagen?

Die Frequenzen sind ganzzahlige Vielfache voneinander.

---

Ein Ton besteht physikalisch gesehen aus nur einer Frequenz. Beim Klang sind die Frequenzen ganzzahlige Vielfache voneinander. Ein Geräusch enthält viele verschiedene Frequenzen, die keiner Gesetzmäßigkeit folgen. Der Knall ist eine kurzzeitige Überlagerung von vielen Frequenzen eines großen Bereiches.

Abbildung 23: Ergebnisse zu Versuch 2. Auf den beiden Frequenzskalen sind die Frequenzen für den Ton (links) und den Klang (rechts) angetragen. Die Frequenz für den Ton ist aus Versuch 1 zu 440 Hz zu entnehmen und die Frequenzen des Klangs aus dem Informationstext zu Versuch 2. Die ausgefüllten Lücken dienen dem Betreuer als Orientierung, d.h. sinnliche Worte sind ebenfalls möglich.

Die Gegenüberstellung von Ton und Klang an einer Frequenzskala wurde bewusst gewählt, damit die Schülerinnen und Schüler auch eine ikonische Darstellung von dem zentralen Unterschied zwischen den beiden akustischen Signalen vorliegen haben. Außerdem ist es einfacher anhand einer Frequenzskala die Regelmäßigkeit des Abstands der Frequenzen eines Klangs zu erkennen und somit auf die Vielfachheit zu schließen. Der Vergleich eines realen



Klangs und des gleichen, allerdings synthetisch erzeugten, Signales soll verdeutlichen, dass man durch einfache Mittel das Hörerlebnis simulieren kann. Unter genauerer Betrachtung und Analyse nach physikalischen Aspekten erkennt man allerdings, dass diese Konstruktion nicht exakt die Wirklichkeit widerspiegelt, da in der Realität mehr Frequenzen beteiligt sind, als die Anzahl der zur Rekonstruktion verwendeten. Ziel des Versuchs ist somit, dass die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Schallereignisse im Oszillogramm erkennen und nach physikalischen Maßstäben klassifizieren können. Durch verschiedene Zugänge vom Anhören über das Oszillogramm bis hin zur Frequenzdarstellung werden hierbei in dem Versuch verschiedene Wahrnehmungs- und Darstellungsarten verwendet, sodass jede Schülerin und jeder Schüler sich mit mindestens einer Analysemethode identifiziert und deren Resultat verinnerlicht.

#### 8.2.4 Versuch 3 – „Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)“

Das Lehr-Lern-Labor verbindet die BioPhysik mit der Sprache, weshalb auch eine eher naturwissenschaftlich ausgerichtete Station auf Aspekte der Sprachwissenschaft eingehen sollte. Diese Verknüpfung wurde für die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ mit dem dritten Versuch hergestellt. Nach den beiden vorherigen Versuchen, in welchen die Schülerinnen und Schüler die Grundlagen der Auftragung von Schallereignissen und die Unterscheidung nach vier akustischen Signalen kennengelernt haben, sollen sie sich in der dritten Station mit der Sprachaufzeichnung und der Analyse von Sprache unter Zuhilfenahme des Oszillogramms beschäftigen.

Im Mittelpunkt steht die Aufnahme der fünf Laute [s], [p], [a], [m] und [b], die im Oszillogramm dargestellt und analysiert werden (vgl. Abbildung 24). Um eine weitere Verbindung zur Sprachwissenschaft herzustellen, unterscheiden die Schülerinnen und Schüler die Konsonanten ebenfalls nach stimmhaft und stimmlos. Diese Unterscheidung basiert auf einem Experiment, bei welchem sie durch Legen einer Hand an den Kehlkopf die Schwingung der Stimmbänder erspüren, oder durch Zuhalten der Ohren den Resonanzeffekt des Körpers bei stimmhaften Konsonanten erhören. Die einzelnen Laute lassen sich den vier akustischen Signalen eindeutig anhand des Oszillogramms zuordnen. Der Vokal [a] und das stimmhafte [m] sind als Klänge zu identifizieren. Dies erkennt man bei Vergrößerung des Oszillogramms, denn beide Laute weisen eine Darstellung auf, welche einem idealen Klang sehr ähnlich ist. Der stimmlose Konsonant [s] ist bereits bei geringer Auflösung des

Oszillogramms als Geräusch zu erkennen und auch das stimmlose [p] sowie das stimmhafte [b] sind meistens eindeutig dem Knall zuzuordnen.

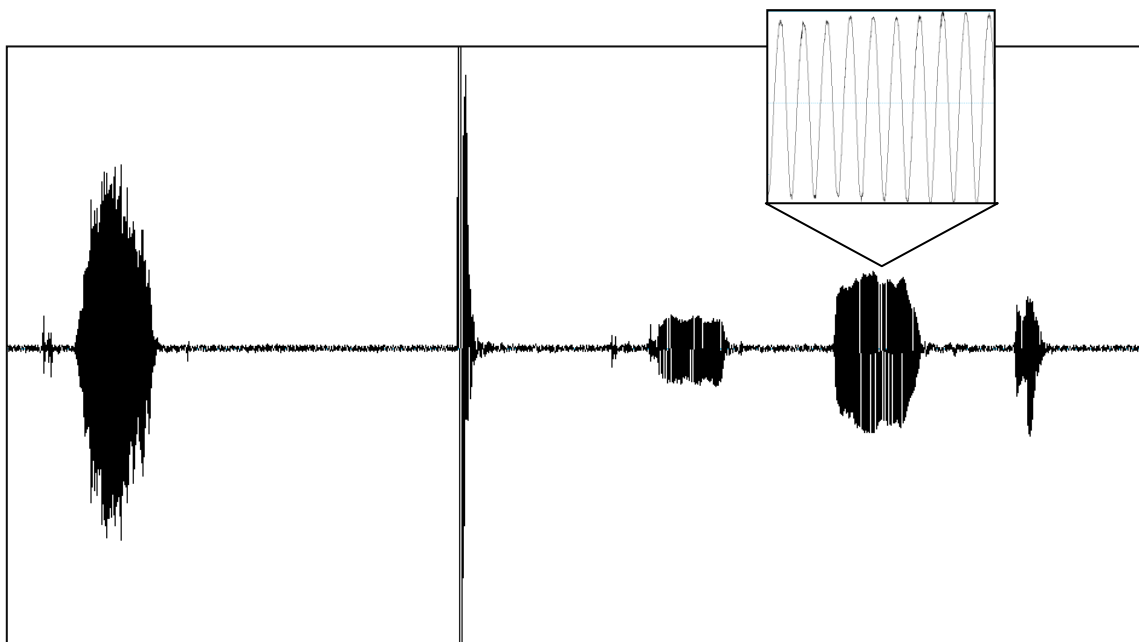


Abbildung 24: Oszillogramm der Laute s, p, a, m und b von links nach rechts gelesen. Das s ist bereits bei dieser Auflösung als Geräusch zu erkennen, wohingegen beim a und m erst in das Oszillogramm hinein gezoomt werden muss, um diese dem Klang zuzuordnen. Das p ist offensichtlich ein Knall. Bei dieser Aufnahme ist das b nicht eindeutig zuordenbar, jedoch lässt die sehr kurze Zeitdauer und das schnelle Abflachen der Schwingung auf einen Knall schließen. Die Vergrößerung zeigt einen Ausschnitt des Lautes m, bei dem der Konsonant fast schon wie das Oszillogramm eines Tons aussieht.

Ein Informationstext vermittelt zusätzlich noch Wissen über die Bezeichnung von Lauten nach sprachwissenschaftlichen Aspekten. Es wird kurz auf die Begriffe Plosiv, Frikativ, Nasal und Vokal eingegangen, jedoch nur, damit die Schülerinnen und Schüler, welche sich noch nicht mit Station B – diese behandelt die einzelnen Bezeichnungen genauer – beschäftigt haben, einen Überblick bekommen und die Laute ebenfalls anhand der sprachwissenschaftlichen Benennungen zuordnen können. Weiterhin ist in dem Informationstext angegeben, wie die einzelnen Lautgruppen im Oszillogramm aussehen und welche physikalischen Eigenschaften ihnen deswegen zuordenbar sind. Wichtig ist bei diesem Versuch, dass beim Einsprechen der Laute darauf geachtet wird, dass diese ohne Vor- bzw. Nachsilben, wie zum Beispiel bei den Lauten „b“ und „s“, deren Aussprache im Alltag „be“ und „es“ ist, ausgesprochen werden. Hierzu dient den Schülerinnen und Schülern der Hinweis, dass sie die Laute wie in der Grundschule gelernt aussprechen sollen.

Die Klassifizierung der fünf Laute tragen die Schülerinnen und Schüler in eine Tabelle ein (vgl. Abbildung 25), welche ihnen einen Überblick über die unterschiedlichen Schallereignisse und -eigenschaften der Sprache gibt.

**3. Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)**

In diesem Teilbereich lernen Sie, wie die Sprache anhand des Oszillogramms den akustischen Signalen zu zuordnen ist. Sie sollen verschiedene Laute in einem Oszillogramm erkennen und stimmhafte (sh) und stimmlose (sl) Konsonanten unterscheiden können.

*Ergebnisse:*

Laut	sh	sl	Merkmal/Aussehen im Oszillogramm
a			Klangähnlich
b	X		Knallähnlich, jedoch nur mit einem geringen Ausschlag zu Beginn
m	X		Klangähnlich, sehr regelmäßige Schwingung, nahezu schon Tonähnlich
p		X	Knallähnlich; starker Ausschlag am Anfang der schnell abklingt
s		X	Geräuschähnlich, mit sehr unregelmäßiger Schwingung

Abbildung 25: Auszug aus dem Arbeitsheft zu Versuch 3. Neben der Ergebnissicherung in Form einer Tabelle findet sich bei jedem Versuch noch eine kurzer Überblick zu den gelernten Inhalten, damit die Schülerinnen und Schüler bei späteren Durchlesen des Handouts wissen, was bei jedem Versuch erarbeitet wurde.

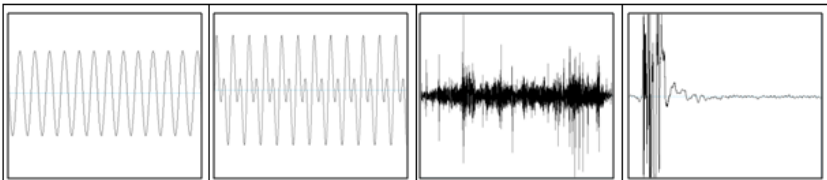
Ziel dieser tabellarischen Auftragung, in welcher physikalische und sprachwissenschaftliche Klassifikationen notiert werden, ist, dass die Schülerinnen und Schüler erkennen, dass Sprache innerhalb unterschiedlicher Disziplinen analysierbar ist und man bei einer einseitigen Betrachtung nicht alle wichtigen Aspekte herausfindet. Somit dient dieser Versuch auch zur Unterstützung des Leitgedanken des Lehr-Lern-Labors, dem Aufzeigen, dass die verschiedenen Wissenschaften nicht getrennt voneinander arbeiten, sondern zusammen und sogar untereinander vernetzt sind. Die Schülerinnen und Schüler profitieren gerade bei der Analyse und Unterscheidung der einzelnen sprachlichen Äußerungen von den interdisziplinären Lösungsansätzen.

### 8.2.5 Versuch 4 – „Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm“

Dieser abschließende Versuch greift alle zentralen Aspekte der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ noch einmal auf. Um die Einheit zu schließen, wird in diesem Versuch auf das in der Einführung dargestellte Oszillogramm zurückgegriffen und dieses nun in seine einzelnen akustischen Signale unterteilt. In Form eines Zuordnungsspiels, bei welchem die Schülerinnen und Schüler zwölf verschiedene Karten auf einem Spielbrett horizontal und vertikal einsortieren sollen, wird spielerisch ein Abschluss der Station gebildet. Die zwölf Karten bestehen jeweils aus einer Vorder- und Rückseite. Richtig angeordnet ergeben die

Silben auf der Rückseite vier Lösungswörter – Oszillogramm, Schallwelle, Akustik und Phonetik – wobei die Reihenfolge, in welcher sie untereinander angeordnet sind, keine Rolle spielt, nur die vertikale Sortierung muss korrekt sein. Auf der Vorderseite findet sich zu jedem der vier akustischen Signale je ein Oszillogramm, ein Objekt oder Material mit welchem diese Schalleigenschaft erzeugbar ist und eine physikalische Definition des jeweiligen akustischen Ereignisses. Aufgabe der Schülerinnen und Schüler ist es, die Karten richtig zuzuordnen und die Tabelle im Arbeitsheft auszufüllen. Im Gegensatz zum Spielbrett sind im Arbeitsheft bereits die vier Oszillogramme zu den Schallereignissen vorgegeben und die Schülerinnen und Schüler müssen mit Hilfe der Zuordnung auf dem Spielbrett den Begriff, die wichtigste physikalische Eigenschaft und das Material bzw. Objekt notieren (vgl. Abbildung 26). Zusätzlich, um nochmals eine Verbindung zur Sprache aufzuzeigen, sollen in der Tabelle lautsprachliche Äußerungen, d.h. die Laute aus Versuch 3, zugeordnet werden.

*Ergebnisse:*



<b>Begriff</b>	Ton	Klang	Geräusch	Knall
<b>Wichtigste physikalische Eigenschaft</b>	Nur eine Frequenz	Mehrere Frequenzen in ganzzahligem Verhältnis	Viele verschiedene Frequenzen, keine Gesetzmäßigkeit	In einem kurzen Zeitintervall viele Frequenzen eines großen Bereiches
<b>Material oder Objekt</b>	Stimmgabel	Flöte	Papierrascheln	Luftballon zerplatzen
<b>Lautsprachliche Äußerung</b>		m, a	s	p, b

Abbildung 26: Tabelle mit allen zentralen Lerninhalten der Station. Vorgegeben sind die vier Bilder der Oszillogramme und die Begriffe auf der linken Seite. Die orangenen Ergebnisse sind von den Schülerinnen und Schülern einzutragen. In Zeile zwei zu den physikalischen Eigenschaften, dienen die hier ausformulierten Elemente dem Betreuer als Richtlinie. Ähnliche Formulierungen mit dem gleichen Sinngehalt werden hier von den Schülerinnen und Schülern erwartet.

Zum Ende des Versuchs und auch der Station steht noch eine Frage bezüglich der Sprache und ihrer Zuordnung zu den einzelnen akustischen Signalen. Hierbei sollen die Schülerinnen und Schüler Revue passieren lassen, aus welchen Schallereignissen die Sprache besteht und warum der reine Ton in der Natur kaum vorkommt. Ebenso sollen sie notieren, wodurch die

unterschiedlichen Laute mit ihren physikalischen Eigenschaften hervorgerufen werden. Ziel des Versuchs ist, dass die Schülerinnen und Schüler wiedergeben können, warum die Sprache sich aus vielen unterschiedlichen akustischen Signalen zusammensetzt und nach welchen Gesichtspunkten – sprachwissenschaftlicher und naturwissenschaftlich-physikalischer Art – diese unterscheidbar sind.

### 8.3 Erfahrungen bei der Durchführung der Station

Um die ausgearbeitete Station nach Möglichkeit zu verbessern, ist es sinnvoll eine Durchführung mit einer Schulklasse oder Gruppe von Schülerinnen und Schülern zu absolvieren. Die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ wurde nur in ihrer ersten Version durchgeführt. Die Erfahrungen bei dieser Durchführung werden im Folgenden aufgezeigt und basieren auf Anmerkungen der Schülerinnen und Schüler, und der begleitenden Lehrkraft sowie auf der subjektiven Wahrnehmung des Betreuers.

Bei der Durchführung der Station mit einem BioPhysik-Kurs (zur Erklärung siehe 3.2) der elften Klasse haben sich einige Schwachstellen bei der Konzeption der Station aufgezeigt. Bereits die Lernvoraussetzungen waren nicht optimal. Zuerst ist zu erwähnen, dass die Schülerinnen und Schüler ihren freien Nachmittag für die Durchführung des Lehr-Lern-Labors aufwenden mussten, was sich negativ auf ihre Motivation auswirkte, teilweise sogar zu einer Arbeitsverweigerung führte. Des Weiteren wurde speziell die Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ nur von zwei Gruppen, welche nur aus Jungen bestanden, bearbeitet. Dieser Aspekt machte sich besonders beim Lesen der zahlreichen Texte negativ bemerkbar, wodurch sich ebenfalls das Vorurteil, dass Jungen unmotivierter lesen, bestätigte. Konsequenz der Verweigerung, die Texte vollständig zu lesen, war, dass die Gruppen nicht wussten, wie sie vorgehen sollten und permanente Anleitung durch den Betreuer benötigten. Bei Nachfrage, ob sie das Thema nicht interessiere, gaben die Schüler jedoch an, dass das Thema der Station für sie durchaus von Interesse wäre, sie allerdings auf Grund der Uhrzeit und des langen Schultags erschöpft und nur noch schwer zu motivieren seien. Die einzelnen Versuche mussten deswegen durch den Betreuer angeleitet werden, sodass die Schüler wenigstens die zentralen Aspekte der Station kennen lernen und mit nachhause nehmen konnten.

Weiterhin fielen während der Durchführung durch die Schüler einige kleine Schwachstellen, aber auch positive Ansätze und Umsetzungen in der Arbeitsanleitung auf. Bei der

Beschreibung der Aufzeichnung der Stimmgabel mit montierter Mine zeigte sich, dass den Schülern nicht klar war, wie sie die Stimmgabel über dem Papier halten sollen und wie die Aufzeichnung im Anschluss aussehen soll. Hier wurde angemerkt, dass durch Einfügen von Bildern der Sachverhalt einfacher und klarer verständlich sei. Ebenso empfanden die Schüler es als sinnentleert, die Schwingung der Stimmgabel in das Arbeitsheft einzuzeichnen. Die Bedienungsanleitung zu Praat war für die Schüler nachvollziehbar und umsetzbar. Die Diskussion zu den einzelnen Schallereignissen bei Versuch 2 erwies sich als wenig erfolgreich und umsetzbar und wurde von den Schülern kaum geführt. Mit dem Abspielen der unterschiedlichen Audiodateien und der Unterscheidung im Oszillogramm konnten sie jedoch soweit umgehen, dass es ihnen möglich war, den Lückentext auszufüllen. Der Sinn des Antragens der Frequenzen an den beiden Skalen für den Ton und den Klang wurde erkannt, war auf Grund der sehr ungenauen Auftragungsmöglichkeiten jedoch schwer umsetzbar. Zur Beantwortung der Frage nach dem Frequenzverhältnis beim Klang wurde die Skala dennoch herangezogen, was ihre Darstellung nicht sinnlos machte. Die Aufzeichnung der eigenen Sprache bereitete den Schülern Spaß und motivierte sie ebenfalls zum Ausprobieren. Eine der beiden Gruppen testete sogar, wie ein Laut im Oszillogramm aussieht, wenn er nicht wie in der Grundschule gelernt, ausgesprochen wird. Auch beim Herausfinden, ob ein Laut stimmhaft oder stimmlos sei, zeigten die Schüler Engagement und Freude am Ausprobieren. Das Ausfüllen der Tabelle zu diesem Versuch gestaltete sich, auf Grund der sinkenden Motivation bezüglich des Lesens und Schreibens, vor allem hinsichtlich der physikalischen Merkmale schwierig, wurde jedoch von den meisten Schülern intuitiv richtig gemacht. Der abschließende Versuch erwies sich als gelungener Abschluss zu der Station, denn trotz vorheriger Demotivation war es allen Schülern möglich, die Karten richtig zuzuordnen und die Tabelle im Arbeitsheft korrekt und vollständig auszufüllen. Bei der abschließenden Frage notierten die Schüler nur Stichworte, jedoch ergab sich bei jeder der beiden Gruppen eine kleine Diskussion über die Frage und deren Beantwortung. Trotz anfänglicher Schwierigkeiten erhielten die Lernenden am Ende der Bearbeitung der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ ein umfassendes Wissen über den Zusammenhang zwischen der Untersuchung von Sprache nach sprach- und naturwissenschaftlichen Aspekten.

Das größte Problem bei der Durchführung war der zeitliche Aspekt. Die Station war für maximal 30 Minuten konzipiert. Es zeigte sich jedoch, dass beide Schülergruppen wesentlich länger brauchten. Ungeachtet der mangelnden Motivation der Lernenden erwiesen sich die Versuche als in 30 Minuten nicht durchführbar. Dies liegt zum einen an der Fülle der Texte,

die gelesen werden mussten, zum anderen an der Zeitdauer der Durchführung der einzelnen Versuche, die zu knapp kalkuliert war.

Die hier beschriebenen Schwierigkeiten und Kritikpunkte der Station wurden bei der Überarbeitung berücksichtigt und verbessert. Eine genaue Beschreibung der Umsetzung ist im Folgenden erläutert.

#### 8.4 Überarbeitung der Station

Bei der Durchführung der oben beschriebenen Version der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ wurden einige Aspekte, welche einer Überarbeitung bedürfen, festgestellt (vgl. dazu Kapitel 8.3). Das Konzept der überarbeiteten Versuche unterscheidet sich im Aufbau der einzelnen Versuche untereinander wenig, weist jedoch eine grundlegende Änderung bezüglich der Arbeitsform an der Station auf. Die vormals vier Versuche werden auf drei reduziert, dazu sind Versuch 2, dieser behandelt die einzelnen Schallereignissen, und Versuch 3 zu der Sprachaufnahme in einem Versuch zusammengefasst, ohne jedoch den theoretischen Input qualitativ zu verringern – dieser ist lediglich umverteilt. Der zentrale Unterschied der beiden Ausarbeitungen liegt in der Vermittlung und Umsetzung der Inhalte sowie einer Einbeziehung der Bildungsstandards für die Sekundarstufe I für das Fach Physik, deren Umsetzung bei jedem Versuch kurz erläutert ist. In der vorherigen Version arbeiten stets alle Schülerinnen und Schüler, meistens bei einer Gruppengröße von vier bis sechs Mitgliedern, gemeinsam anhand der Vorgaben in der Arbeitsanweisung die Arbeitsaufträge ab und notieren die Ergebnisse zusammen im Arbeitsheft. Die Idee hinter dem neuen Konzept ist ähnlich der eines Gruppenpuzzles. Hierbei wird die Schülergruppe per Losverfahren nochmals in zwei Kleingruppen unterteilt. Eine der beiden Gruppen (blau) beschäftigt sich vornehmlich mit den Theorien hinter den einzelnen Versuchen, wohingegen die andere Gruppe (grün) die Experimentatoren stellt. Die Unterlagen zum Bearbeiten der Versuche befinden sich in nummerierten Umschlägen, welche an einem roten Faden befestigt sind und nacheinander abgearbeitet werden sollen. Dieses neu konzipierte Arbeitsmaterial weicht in seiner Struktur auf Grund des Konzeptwechsels etwas von der für alle Stationen festgelegten Strukturierung ab. Deswegen ist in den Beschreibungen der Versuche auch jeweils die Abweichung genannt und diese didaktisch begründet. Um Unstimmigkeiten innerhalb der Großgruppe zu vermeiden, arbeiten beide Kleingruppen nicht getrennt voneinander, sondern sind aufeinander angewiesen und müssen sich in ständigem Austausch befinden. Der Gedanke hinter dieser Aufteilung ist, dass keine Gruppe ohne die andere einen Versuch bearbeiten

kann, und somit alle Texte gelesen werden müssen. Es wird damit, um an die Bildungsstandards anzuknüpfen, vermehrt Wert auf Kommunikation innerhalb der Gruppe gelegt. Außerdem sollen die Schülerinnen und Schüler durch eigene Erfahrungen lernen, dass es auch innerhalb einer Wissenschaft verschiedene Gruppierungen geben kann, die ebenfalls nicht isoliert voneinander arbeiten, sondern miteinander Projekte gestalten. Der zeitliche Aspekt der Station wurde bei der Überarbeitung nur am Rande betrachtet. Jedoch wurde durch die Umverteilung der Lehrinhalte versucht, eine Zeiteinsparung zu erreichen. Die genaue Umsetzung ist in den folgenden Abschnitten beschrieben, wurde allerdings nicht mit einer Durchführung auf Umsetzbarkeit überprüft.

### 8.4.1 Einführung

Ebenso wie bei der vorherigen Konzeption enthält die überarbeitete Version eine Einführung zum Thema der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“. Die Hinführung unterliegt keiner Änderung im Vergleich zur ersten Version, ist allerdings durch eine Beschreibung der Vorgehensweise innerhalb der Station erweitert worden. Diese enthält die Anweisung, sich erneut per Losverfahren in zwei Gruppen aufzuteilen. Dazu liegt an der Station ein Behältnis aus, welches je nach Gruppengröße eine festgelegte Anzahl an unterschiedlich beschrifteten Losen enthält. Die Lose unterscheiden sich durch zwei Aufschriften. Eine Sorte ist grün markiert und die andere blau. Alle Markierungen wurden so vorgenommen, dass sie von den Schülerinnen und Schülern beim Ziehen nicht ersichtlich sind. Bei einer geraden Gruppengröße gibt es genau so viele grüne wie blaue Lose. Besteht die Gruppe aus einer ungeraden Anzahl, gibt es ein grünes Los mehr. Die Lose sind vorab vom Betreuer entsprechend in das Behältnis zu geben. Je nach gezogener Farbe werden sich die Schülerinnen und Schüler im Verlauf der Station mit den grünen bzw. blauen Briefumschlägen beschäftigen. Abbildung 27 zeigt die Briefumschläge, welche an einem roten Faden mit Wäscheklammern befestigt sind. Die Beschreibung des Losverfahrens enthält zusätzlich noch die Bemerkung, dass die Schülergruppen zwar ihre Umschläge bearbeiten sollen, jedoch immer mit der anderen Gruppe in Verbindung und Austausch stehen müssen, denn sonst sind die Versuche nicht angemessen durchführbar und die Aufträge im Arbeitsheft nur ungenügend zu bearbeiten. Die Aufteilung der Gruppe in zwei weitere kleinere Arbeitsgruppen dient insbesondere dem Aufzeigen von wissenschaftlichem Arbeiten. Denn es ist durchaus nicht unüblich, dass sich verschiedene Gruppen mit dem gleichen Problem befassen, um dann gemeinsam ein Ergebnis zu erhalten. Dieser Prozess wird durch die Gruppenaufteilung nachempfunden. Des Weiteren wurde durch die nochmalige Trennung die



Textlastigkeit der ersten Version reduziert. Auch soll durch die Aufteilung die Kommunikation innerhalb der Gruppe gefördert werden, denn ohne einen konstruktiven Austausch untereinander können die Versuche nicht durchgeführt werden. Neben dem Erwerb von Wissen, also der Einbeziehung der Kompetenz Fachwissen, werden somit auch soziale Kompetenzen der Schülerinnen und Schülern gefordert und insbesondere gefördert.

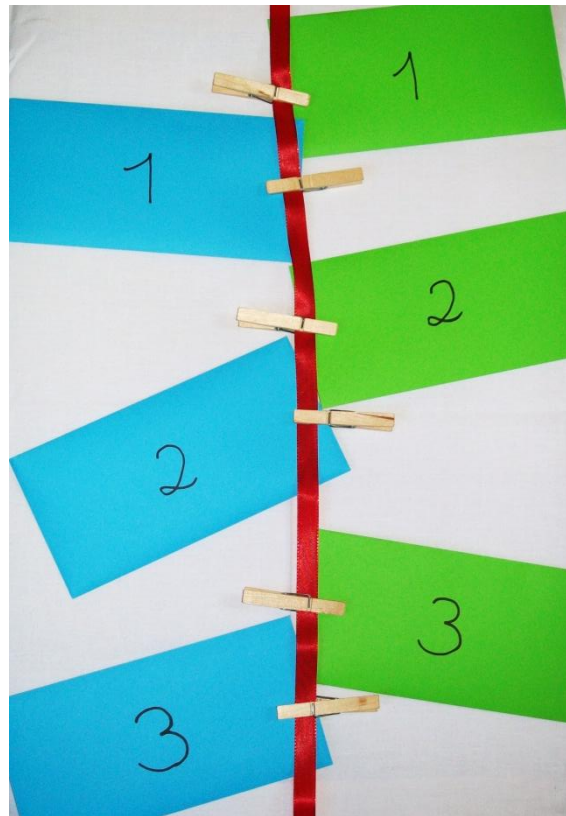


Abbildung 27: Das Bild zeigt eine mögliche Anordnung der Briefumschläge mit dem Arbeitsmaterial. Die grünen Umschläge enthalten die Arbeitsanweisungen für die Experimentiergruppe. In den blauen Umschlägen finden sich die Arbeitsanweisungen für die Theoretiker.

#### 8.4.2 Versuch 1 – „Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“

Der erste Versuch beschäftigt sich wie bereits zuvor mit der Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel. Die Arbeitsaufträge sind für beide Gruppen wiederum in zwei Versuchsteile untergliedert, die nacheinander bearbeitet werden. Der Fokus der Bearbeitung liegt allerdings bei den beiden Gruppen auf einem anderen Gegenstandsbereich.

Die Experimentiergruppe, welche die grünen Umschläge mit den Arbeitsaufträgen bearbeitet, beschäftigt sich zuerst mit der Auftragung der Schwingung der Stimmgabel mit der montierten Mine. Die Arbeitsanweisung wurde mit Bildern ergänzt, so dass für die Schülerinnen und Schüler, neben der geschriebenen Vorgangsbeschreibung, eine ikonische Darstellung das Verständnis zur Umsetzung der Aufträge begünstigt (vgl. Abbildung 28).

*Arbeitsauftrag:*

## Versuchsteil 1: Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel

- a) Legen Sie das Papier möglichst nahe am Rand auf den Tisch (Abb. 2 c).
- b) Nehmen Sie die Stimmgabel mit der montierten Mine so in die Hand, dass die Mine der Stimmgabel das Blatt auf der Seite berührt, die gegenüber vom Tischrand ist (Abb. 2 b).
- c) Bevor Sie die Stimmgabel mit der freien Hand anschlagen, bestimmen Sie einen Mitschüler, der nach dem Anschlagen das Blatt schnell vom Tischrand zur Mitte hin zieht (Abb. 2 a). Schlagen Sie die Stimmgabel nun an und ziehen Sie das Papier, um die Schwingung aufzuzeichnen. **Hinweis: Das Blatt muss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden. Machen Sie deshalb mehrere Versuche.**

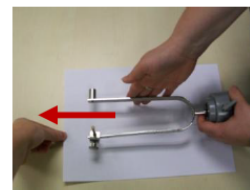
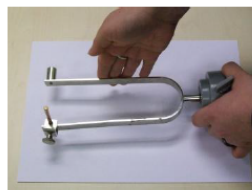
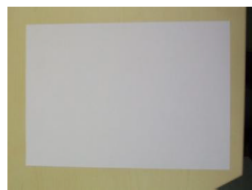


Abb. 2 c: Papier am Tischrand    Abb. 2 b: Stimmgabel über Papier    Abb. 2 a: Ziehen des Papiers

**Abbildung 28: Auszug aus den Arbeitsanweisungen für die Experimentiergruppe zu Versuchsteil 1. Die Hintergründe der hier beschriebenen Aufzeichnung der Stimmgabel sind im Informationstext der Theoriegruppe verankert.**


Der Theoriegruppe dagegen liegt ein kurzer informativer Absatz vor, in dem erklärt wird, dass die einfachste Art der Auftragung einer Schwingung mit einem Schwingungsschreiber ausführbar ist. Die Gruppe kann je nach Interesse beim Experimentieren zuschauen, sollte jedoch danach unvermittelt zu Versuchsteil 2 übergehen.

Bei dem zweiten Versuchsteil besteht die vornehmliche Aufgabe der Theoretiker im Lesen der Gebrauchsanweisung und Bedienen des Computers, während die Experimentatoren das Mikroskop richtig anschließen müssen und die Stimmgabel nach Vorgabe aufzubauen haben. Nachdem beide Gruppen die notwendigen Vorbereitungen getroffen haben, ist gemeinsam die Schallwelle der Stimmgabel aufzunehmen, im Oszillogramm darzustellen und die Frage in der Arbeitsanweisung zu beantworten sowie der Lückentext im Arbeitsheft zu bearbeiten. Zur Verdeutlichung der unabdingbaren Zusammenarbeit der beiden Kleingruppen sind die letzten drei Arbeitsanweisungen zu dem Versuch identisch formuliert. Unter Einbeziehung der Bildungsstandards ist der beschriebene Versuch in den Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung einzuordnen. Anhand der Experimente, welche nach Anleitung durchgeführt werden, und deren Auswertung erlangen die Schülerinnen und Schüler Erkenntnisse über physikalische Zusammenhänge. Ebenso dokumentieren sie ihre Ergebnisse im Arbeitsheft. Es werden somit zwei Standards für den genannten Kompetenzbereich in diesen Versuch integriert und umgesetzt.

Die Ergebnissicherung im Arbeitsheft ist im Vergleich zur ersten Version gekürzt worden (vgl. Abbildung 29). Die Schülerinnen und Schüler müssen die Schwingung der Stimmgabel nicht mehr nachzeichnen, können jedoch die Aufzeichnung mitnehmen, welche sie in Versuchsteil 1 gemacht haben. Auf die Zeichnung der Schwingung wurde aus zweierlei Gründen verzichtet. Zum einen ergab es sich bei der Durchführung, dass die Schülerinnen und Schüler die Auftragung im Arbeitsheft als nicht-sinnvoll erachteten und diese Aufgabe deswegen nur ungenügend bearbeiteten, oder nichts aufzeichneten (vgl. Kapitel 8.3). Der andere Grund liegt darin, dass die Aufgabe für den weiteren Verlauf nicht von Bedeutung ist und weder die kognitiven noch motorischen Kompetenzen der Schülerinnen und Schüler dadurch sinnstiftend gefördert und gefordert werden. Dieser Aufgabenteil wurde deswegen entfernt und die Ergebnisse des Versuches nur noch in Form eines Lückentextes festgehalten.

### 1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)

In dieser Teileinheit sollen die Aufzeichnung eines Oszillogramms von der mechanischen hin zur computergestützten Aufzeichnung dargestellt und das Oszillogramm kennengelernt werden.



*Ergebnisse:*

Bei der **mechanischen** Aufzeichnung ist die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit aufgetragen. In einem **Oszillogramm** wird die Änderung des Schalldrucks gegen die Zeit dargestellt. Bei der Aufzeichnung mit der Hand schwächt die Auslenkung auf Grund von großer **Reibung** sehr schnell ab. Dieser Effekt ist beim Oszillogramm nur sehr gering.

**Abbildung 29: Überarbeitete Ergebnissicherung, welche nur noch den Lückentext enthält.**

Ebenfalls wird durch den verkürzten, auf das Wesentliche – die Grundlagen der Aufzeichnung – fokussierenden ersten Versuch eine zeitliche Einsparung bewirkt, wodurch für den zentralen zweiten Versuch der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ eine größere zeitliche Kapazität verfügbar ist.

### 8.4.3 Versuch 2 – „Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)“

Der zweite Versuch ist aus dem zweiten und dritten Versuch der Version 1 der Station C entstanden und enthält somit sowohl die theoretischen Grundlagen zu den Schallereignissen – ehemals Versuch 2 (vgl. 8.2.3) – als auch die Sprachaufzeichnung – vorher Versuch 3 (vgl. 8.2.4). Die Theoretiker-Gruppe, welche die Arbeitsanweisungen in den blauen Umschlägen bearbeitet, erhält bei diesem Versuch einen Überblick zu den verschiedenen akustischen Signalen und ihrer Auftragung im Oszillogramm sowie die nötigen Informationen, um die lautsprachlichen Äußerungen in Gruppen einzuordnen. Die Experimentiergruppe dagegen nimmt vorgegebene Laute auf und stellt diese zur Analyse im Oszillogramm dar. Abschließend wird wieder gemeinsam das Arbeitsheft ausgefüllt.

Bei der Unterscheidung der Schallereignisse wird zuerst anhand einer Frequenzdarstellung zwischen Ton und Klang unterschieden. Die Darstellung der Frequenzskala als Ordinate ist den Schülerinnen und Schülern aus der Einführung zum Lehr-Lern-Labor bekannt und wird hier nochmal als Wiederholung aufgeführt. Ebenso sind die Definitionen für Ton, Klang und Geräusch, welche in der Einführung nur verbal dargeboten wurden, in schriftlicher Form festgehalten. Die Schallereignisse werden um den Knall erweitert, da dieser neben dem Klang und dem Geräusch als lautsprachliche Äußerung vorkommt. Damit die Schülerinnen und Schüler die einzelnen Sprachäußerungen im Oszillogramm unterscheiden können, sind exemplarisch je ein Ton, ein Klang, ein Geräusch und ein Knall, welche mit Praat aufgenommen wurden, in der Arbeitsanleitung abgedruckt. Zu diesen Abbildungen gibt es jeweils einen Satz, der die zentralen Merkmale der Schallereignisse in der Oszillogramm-Darstellung benennt (vgl. Abbildung 30).

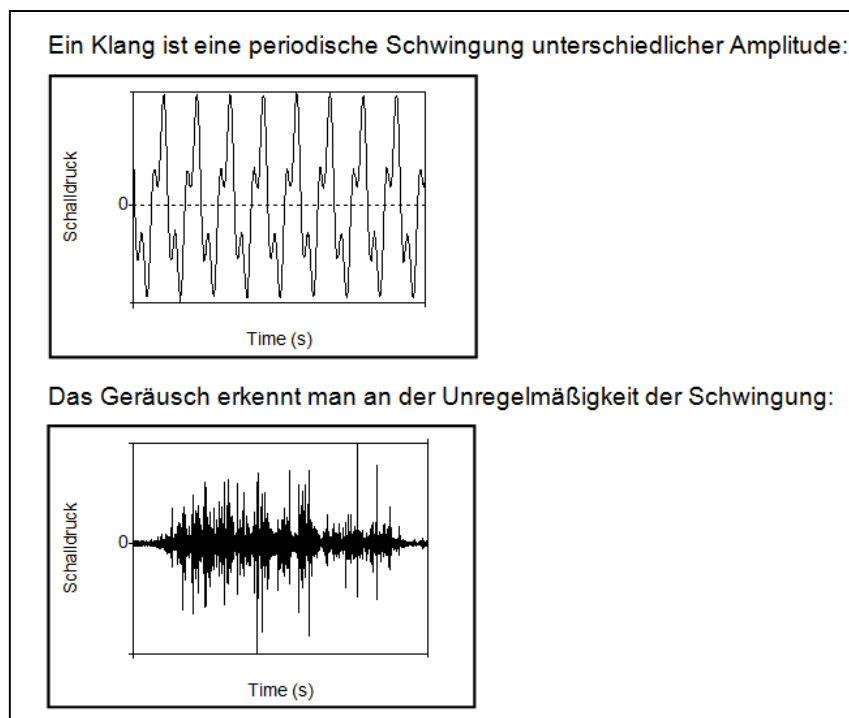


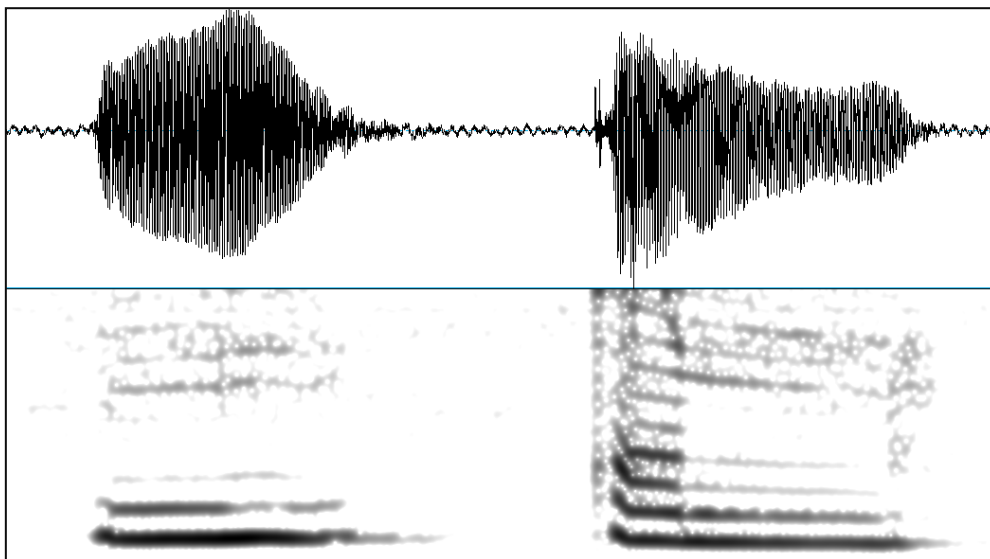
Abbildung 30: Screenshot der Arbeitsanweisung der Theoriegruppe, welcher die Darstellung des Klangs und des Geräuschs im Oszillogramm enthält, sowie jeweils den beschreibenden Satz mit den zentralen Erkennungsmerkmalen. Die Abbildungen wurden mittels Praat erstellt und basieren auf realen Schallereignissen, welche aufgenommen wurden und in der Druckansicht von Praat dargestellt sind.

Im Anschluss an die Darstellung sind die Begriffe Plosiv, Frikativ, Nasal und Vokal unter Beziehung auf Station B, in welcher diese erklärt werden, genannt. In dem vorliegenden Versuch sollen sie im Oszillogramm erkannt und unterschieden werden, wozu deren Darstellung mit den zuvor erläuterten Schallereignissen in Beziehung gesetzt wird. Der Plosiv ähnelt dem Knall, der Frikativ dem Geräusch und Nasale und Vokale sind Klänge.

Die Schülerinnen und Schüler der Theoriegruppe erhalten darüber hinaus Tipps, wie beim Sprechen zwischen stimmhaften und stimmlosen Konsonanten experimentell unterschieden werden kann. Zum einen kann man die Schwingung der Stimmbänder durch Auflegen der Hand von außen an den Kehlkopf erspüren oder zum anderen die Resonanzeffekte des Körpers erhören, indem man beide Ohren zuhält. Diese Informationen sind wichtig, damit die Tabelle im Arbeitsheft von der gesamten Gruppe ausgefüllt werden kann.

Während sich der eine Teil der Gruppe die Theorie aneignet, macht sich der andere Teil mit der Aufzeichnung von Sprache mit Praat vertraut und nimmt im Anschluss die Laute [s], [p], [a], [m] und [b] auf. Dieser ehemalige Versuch 3 erfuhr positive Rückmeldungen durch die Schülerinnen und Schüler, sodass er nahezu komplett für die Experimentiergruppe übernommen wurde. Ausschließlich die phonetische Bezeichnung der Laute und ihre Unterscheidung im Oszillogramm wurden entfernt und im Arbeitsmaterial der Theoriegruppe

hinzugefügt (siehe oben). Durch die Vereinigung von Versuch 2 und 3 steht den Lernenden bei der Erarbeitung von nun Versuch 2 mehr Zeit zur Verfügung, sodass sie ebenfalls weiterführende Experimente durchführen können. Es besteht zum Beispiel die Möglichkeit, die Laute in ihrer typischen alltäglichen Aussprache einzusprechen. Dies wurde bereits bei der Durchführung von einer Gruppe ausprobiert (vgl. 8.3). In ihrer phonetischen Schreibweise wären dies die Laute [es], [pe], [a], [em] und [be]. Hierbei lässt sich dann nicht mehr klar ein akustisches Signal zuordnen, denn die Laute bestehen aus einer Mischung aus Konsonanten, welche Plosiv, Frikativ oder Nasal sein können, und Vokalen, welche immer Klänge sind. Abbildung 31 zeigt zwei unterschiedlich ausgesprochene Laute, anhand deren die Unterscheidung im Oszillogramm ersichtlich wird.



**Abbildung 31: Oszillogramm und Sonagramm des Lautes m. Links als [m] artikuliert und rechts in der Umgangssprache als [em] ausgesprochen. Das Oszillogramm lässt schon erkennen, dass die beiden Sprachäußerungen zu unterscheiden sind. Anhand des Sonagramms wird diese Vermutung durch die Frequenzbeteiligung bestätigt.**

Zur Analyse der aufgenommenen Laute und zum Ausfüllen der Tabelle im Arbeitsheft arbeiten die beiden Kleingruppen wieder zusammen. Gemeinsam untersuchen die Schülerinnen und Schüler die Laute im Oszillogramm unter Verwendung der Informationen des theoretischen Inputs, den die Gruppe mit den blauen Umschlägen erhalten hat.

Der Aufbau der Tabelle wurde von Version 1 übernommen. Die Bezeichnung „Merkmal/Aussehen im Oszillogramm“ wurde jedoch geändert. Die Tabellenspalte, in welcher die Lernenden die Ähnlichkeit zu den genannten akustischen Signalen vermerken sollen, ist nun mit „Akustische Zuordnung“ überschrieben. Die vorzunehmende Eintragung unterscheidet sich nicht wesentlich, allerdings genügt es nun, wenn die Schülerinnen und Schüler vermerken, welchem Schallereignis ein Laut zuzuordnen ist (vgl. Abbildung 32).

Weitere Merkmale, wie zum Beispiel die Unterscheidung zwischen den Knallen [b] und [p] hinsichtlich ihrer Amplitude, sind nur noch als Addita zu sehen und nicht mehr explizit verlangt.

*Ergebnisse:*

Laut	<u>sh</u>	<u>sl</u>	Akustische Zuordnung
a			<b>Klangähnlich</b>
b	X		<b>Knallähnlich, jedoch nur mit einem geringen Ausschlag zu Beginn</b>
m	X		<b>Klangähnlich, sehr schöne Schwingung</b>
p		X	<b>Knallähnlich; starker Ausschlag am Anfang der schnell abklingt</b>
s		X	<b>Geräuschähnlich, mit sehr unregelmäßiger Schwingung</b>

Abbildung 32: Screenshot der Ergebnissicherung bei Versuch 2. Die fett-gedruckten Wörter in der Spalte „Akustische Zuordnung“ sollen von den Schülerinnen und Schülern genannt werden. Die weiteren Beschreibungen müssen nicht eingetragen werden, können allerdings in der Gruppe diskutiert und vermerkt werden. (vgl. hierzu auch Abbildung 25)

Durch die Veränderung der Arbeitsbedingungen im Vergleich zur ersten Version der Station liegt der Fokus in diesem Versuch jetzt vermehrt auf der Analyse der aufgezeichneten Laute nach wissenschaftlichen Kriterien und bietet den Schülerinnen und Schülern mehr Zeit zum Experimentieren. Die Lernenden erhalten zwar explizite Angaben, wie die lautsprachlichen Äußerungen aufzunehmen sind, jedoch besteht die Möglichkeit, weitere Aufnahmen zu machen und diese zu analysieren. Ebenso erfahren die Schülerinnen und Schüler durch die Zusammenarbeit der beiden Expertengruppen – die grüne Gruppe kennt sich mit der Software aus, die blaue mit der Interpretation der Schallereignisse im Oszillogramm –, dass besonders in der Wissenschaft das Ergebnis eines Projekts oft eine Gemeinschaftsproduktion von vielen Experten ist. Eine Teilgruppe alleine könnte die Tabelle im Arbeitsheft nicht ausfüllen, denn ihnen fehlen die notwendigen Informationen aus der anderen Teilgruppe. In Anlehnung an die Bildungsstandards lässt sich sagen, dass durch den Austausch der Spezialisten zusätzlich der Kompetenzbereich Kommunikation gefördert und gefordert wird, denn die Schülerinnen und Schüler werden zu eigenständigem Diskutieren und Austauschen über physikalische Erkenntnisse und Theorien veranlasst.

Die Ergebnissicherung ist im Vergleich zur Wichtigkeit des Versuches sehr kurz, jedoch werden in der Tabelle alle zentralen Aspekte festgehalten, welche die Schülerinnen und Schüler erlernen. Der letzte Versuch der Station knüpft zudem an Versuch 2 an, sodass die sie



in Verbindung beider ein umfassendes Wissen über die Aufzeichnung von Schallereignissen und deren Darstellung und Interpretation im Oszillogramm erhalten.

#### 8.4.4 Versuch 3 – „Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel““

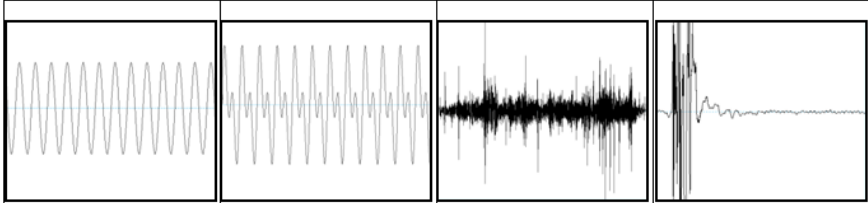
Der letzte Versuch der Station ist im Wesentlichen nicht verändert worden. Die Aufgabe der Schülerinnen und Schüler besteht, wie bereits in der vorherigen Version, in einer Zuordnung. Das Signal aus der Einleitung zur Station ist in seine einzelnen Schallereignisse zerlegt, welche auf Karten abgebildet sind. Weiterhin gibt es Karten mit den Begriffen sowie den physikalischen Eigenschaften.

Die Experimentiergruppe erhält die Anweisungen, die 12 Karten auf dem Spielbrett gemeinsam mit der blauen Gruppe anzuordnen. Die Theoriegruppe erfährt, dass nun das Signal vom Anfang der Station genauer untersucht wird und dies zusammen mit der anderen Gruppe in Form eines Zuordnungsspiels erfolgt. Ebenso erhalten sie den Hinweis, dass es zu jedem akustischen Signal drei Karten gibt und sie die Richtigkeit der Zuordnung durch Überprüfen der Lösungswörter auf der Rückseite der Karten feststellen können. Die letzte Arbeitsanweisung in der Station besteht für beide Gruppen aus der Aufforderung, die Tabelle im Arbeitsheft gemeinsam auszufüllen und die Frage zu beantworten.

Im Vergleich zur vorherigen Version der Station wurde sowohl die Vorgehensweise an der Station, als auch die Ergebnissicherung übernommen. Die Tabelle wurde allerdings modifiziert. In der ersten Version sollten die Schülerinnen und Schüler neben den Begriffen, physikalischen Eigenschaften und einem Objekt noch eine lautsprachliche Äußerung angeben. Diese letzte Tabellenspalte wurde gestrichen (vgl. Abbildung 33), da der Arbeitsschritt lediglich im Ablesen und Abschreiben der Tabelle von Versuch 3 besteht und keine neuen Erkenntnisse bringt. Die Eintragungen der anderen Tabellenspalten werden zwar im Grunde ebenfalls nur von dem Spielbrett notiert, jedoch besteht zuvor die Aufgabe die Karten richtig zu ordnen. Aus diesem Grund ist die Übertragung in das Arbeitsheft als Sicherung der Lerninhalte aufzufassen.



*Ergebnisse:*



<b>Begriff</b>	Ton	Klang	Geräusch	Knall
<b>Wichtigste physikalische Eigenschaft</b>	Nur eine Frequenz	Mehrere Frequenzen in ganzzahligem Verhältnis	Viele verschiedene Frequenzen, keine Gesetzmäßigkeit	In einem kurzen Zeitintervall viele Frequenzen eines großen Bereiches
<b>Material oder Objekt</b>	Stimmgabel	Flöte	Papierrascheln	Luftballon zerplatzen

Abbildung 33: Screenshot der Sicherung zu Versuch 3. Die orangefarbenen Begriffe und Aussagen sind von den Schülerinnen und Schülern einzutragen. Im Vergleich zu Abbildung 26, die die Tabelle der ersten Version der Station zeigt, wurde bei der Überarbeitung die letzte Spalte zu den lautsprachlichen Äußerungen entfernt.

Die abschließende Frage wurde von der vorherigen Version übernommen, denn die Antwort ist der zentrale Grund, warum sich die Schülerinnen und Schüler an der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ mit allen Schallereignissen beschäftigen. Sie sollen erkennen, dass man in der gesprochenen Sprache alle akustischen Signale außer dem Ton, der in der Natur sehr selten vorkommt, wiederfindet und zu deren genaueren Betrachtung physikalische Bezeichnungen und Analysemethoden verwendet werden.

Im Vordergrund steht bei diesem Versuch wieder die Kommunikation, jedoch ist auch der Kompetenzbereich Bewertung von großer Bedeutung. Besonders in der Beantwortung der Frage zu den akustischen Signalen in der Sprache wird diese Kompetenz gefördert. Die Schülerinnen und Schüler arbeiten Auswirkungen von physikalischen Erkenntnissen in gesellschaftlichen Zusammenhängen anhand des Beispiels der Verknüpfung von Physik und Sprache heraus. Der interdisziplinäre Aspekt des Lehr-Lern-Labors wird somit in der Station und besonders in den beiden letzten Versuchen besonders hervorgehoben, sodass die letzte Frage das zentrale Ziel der Station nochmals auffasst und somit zusammen mit der Einführung zur Station eine geschlossene Einheit bildet.

## 9. Zusammenfassung und Ausblick

Die Betrachtung der Sprache unter physikalischen Aspekten steht klar im Mittelpunkt der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“. Im Rahmen des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ übernimmt sie zusammen mit Station D „Akustische Phonetik – Sonagramme“ die Aufgabe, die den Schülerinnen und Schülern die Zusammenhänge zwischen Physik und Sprachwissenschaft aufzeigen soll. Basierend auf den Grundlagen der Schwingungs- und Wellenlehre und der akustischen Phonetik wurde eine Station konzipiert, die einen Überblick über die zentralen Merkmale der Vernetzung der Sprachwissenschaft und der Physik gibt. Diese Beziehungen werden von den Lernenden experimentell sowie textgestützt erarbeitet. Durch die Verwendung des Freeware Programmes Praat bietet sich den Schülerinnen und Schülern die Möglichkeit, das Erlernte in der Schule oder zuhause nachzuarbeiten und ihr Wissen zu dem Themenbereich der akustischen Phonetik selbstständig zu erweitern.

Die beiden Versionen der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ zeigen zwei unterschiedliche Wege auf, um zum einen Wissen zu vermitteln und zum anderen Arbeitsweisen aufzuzeigen. Mit der ersten, eher klassischen Konzeption der Station wird vornehmlich neues Wissen vermittelt oder mit Vorwissen vernetzt. Hier arbeiten die Schülerinnen und Schüler vorgegebene Anweisungen ab, die wenig Freiraum für Kreativität und Kommunikation in der Gruppe lassen. Dies wurde auch bei der Durchführung festgestellt (vgl. Kapitel 8.3) und dementsprechend in der Überarbeitung berücksichtigt. Durch die überarbeitete Version soll vor allem die Verständigung der Gruppenmitglieder gefordert und gefördert und auch die Kreativität der Schülerinnen und Schüler berücksichtigt werden. Der zweite Ansatz zeigt den Lernenden zudem durch die eigene Erfahrung, dass Wissenschaftler in der Regel nicht alleine sondern in einem Team aus Experten an einem Projekt arbeiten und dadurch gemeinsam ein Ergebnis erhalten. Ob dieser Weg Erfolg bringt, konnte leider nicht überprüft werden, denn eine weitere Durchführung hat nicht stattgefunden.

Doch bereits der eine Schülerdurchlauf zeigte, dass vor allem das Thema Phonetik an sich bei den Schülerinnen und Schülern großes Interesse hervorrief. Besonders der fächerübergreifende Aspekt zwischen Sprache und Naturwissenschaft begeisterte die Lernenden, weil dieser im Schulalltag nur selten oder überhaupt nicht thematisiert wird. Es würde sich somit auch anbieten, das eigentlich als Lehr-Lern-Labor geplante Thema

„BioPhysik & Sprache“ in den Unterricht zu integrieren. Allein aus der Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ ließe sich mit geeigneter Modifikation eine eigenständige Unterrichtsstunde entwickeln, die sowohl von Physik- als auch von Sprachenlehrern betreut werden könnte. Ebenfalls ist zu überlegen, ob das Thema bereits in einer niedrigeren Jahrgangsstufe thematisierbar ist. So ist im Lehrplan der Hauptschule bereits in Jahrgangsstufe sechs die Akustik verankert, was darauf schließen lässt, dass die Schülerinnen und Schüler bereits in diesem Alter die fachlichen Fähigkeiten besitzen, um die physikalischen Grundlagen zu verstehen. Außerdem würde eine frühere Auseinandersetzung mit dem Zusammenhang der Sprach- und Naturwissenschaft die Lernenden in jüngeren Jahren für die wissenschaftliche Arbeitsweise sensibilisieren.

Das gesamte Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ besteht aus acht Stationen, welche unabhängig voneinander bearbeitet werden können. Dies hat jedoch den Nachteil, dass oftmals für die Schülerinnen und Schüler bei der Durchführung keine Verbindung zwischen den Stationen herzustellen ist. Alle acht Stationen sind allerdings thematisch über die Phonetik verknüpft und betrachten lediglich unterschiedliche Aspekte dieser Wissenschaft. Eine Überarbeitung unter Berücksichtigung dieses Punktes sowie eine Evaluation über die Effektivität des Lehr-Lern-Labors „BioPhysik & Sprache“ stehen noch aus. Erst danach kann auch objektiv festgestellt werden, ob die erstrebten Ziele erreicht wurden.

Rein subjektiv betrachtet erfüllt das entwickelte Lehr-Lern-Labor und speziell die ausgearbeitete Station „Akustische Phonetik – Oszillogramme“ das Ziel sprachlich orientierte Schülerinnen und Schüler für die Naturwissenschaft zu begeistern und das Interesse der naturwissenschaftlichen Schülergruppen für die Sprache zu fördern. Insbesondere wird der Aspekt des Zusammenwirkens unterschiedlicher Wissenschaften von den Lernenden als Bereicherung für das Lernen angesehen, welcher vermehrt in den alltäglichen Unterricht integriert werden sollte. Abschließend lässt sich sagen, dass das Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“ nicht nur für die Schülerinnen und Schüler, sondern auch für die an der Entwicklung beteiligten Studierenden eine Bereicherung der alltäglichen Auseinandersetzung mit der Sprache und der Naturwissenschaft bedeutet.

## Literaturverzeichnis

**Boersma, Paul und Weenink, David.** *Praat: doing Phonetics by Computer.* [Online] [Zitat vom: 10. Februar 2014.] [www.praat.org](http://www.praat.org).

**Borucki, Hans.** *Einführung in die Akustik.* 3., erweiterte Auflage. Mannheim : BI-Wissenschaftsverlag, 1989.

**Engeln, Katrin und Euler, Manfred.** Experimentieren im Schülerlabor: Forschen statt Pauken. *Physikunterricht modernisieren - Erfahrungen aus Kooperationsprojekten zwischen Schule und Wissenschaft.* Kiel : IPN, 2005, S. 67-90.

**Euler, Manfred.** Schülerlabore in Deutschland - Zum Mehrwert authentischer Lernorte in Forschung und Entwicklung. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule: Außerschulische Lernorte.* Juni 2009, Heft 4/58.

**Kircher, Ernst, Girwidz, Raimund und Häußler, Peter.** *Physikdidaktik - Theorie und Praxis.* 2. Auflage. Würzburg : Springer, 2009.

**Kuhn, J., et al.** Kontextorientierter Physikunterricht. Konzeptionen, Theorien und Forschung zu Motivation und Lernen. *Praxis der Naturwissenschaften - Physik in der Schule.* 2010, 5/59.

**Kultusministerkonferenz.** Bildungsstandards im Fach Physik für den Mittleren Schulabschluss Beschluss vom 16.12.2004. *Beschlüsse der Kultusministerkonferenz.* München (u.a.) : Luchterhand, 2005.

**Lang, Christian B. und Pucker, Norbert.** *Mathematische Methoden in der Physik.* 2. Auflage. München : Elsevier, Spektrum Akademischer Verlag, 2005.

**Lüders, Klaus und von Oppen, Gebhard.** *Bergmann, Schaefer: Lehrbuch der Experimentalphysik: Mechanik, Akustik, Wärme.* 12. Auflage. Berlin : Walter de Gruyter, 2008. Bd. 1.

**M!ND-Center.** M!ND-Center: M!ND-Center. [Online] 2013. [Zitat vom: 10. Februar 2014.] [http://www.mind.uni-wuerzburg.de/mind\\_center/](http://www.mind.uni-wuerzburg.de/mind_center/).

**Meisenburg, Trudel und Selig, Maria.** *Phonetik und Phonologie des Französischen.* Stuttgart [u.a.] : Klett, 1998. S. 18 - 49.

**Priemer, Burkhard und Lewalter, Doris.** Schülerlaborbesuche - eine Bereicherung für den naturwissenschaftlichen Unterricht. *Praxis der Naturwissenschaften Physik in der Schule: Außerschulische Lernorte*. Juni 2009, Heft 4/58.

**Pustka, Elissa.** *Einführung in die Phonetik und Phonologie des Französischen*. Berlin : Schmidt, 2011. S. 43-73.

**Reetz, Henning.** *Artikulatorische und akustische Phonetik*. 2. Auflage. Trier : WVT Wissenschaftlicher Verlag Trier, 2003.

**Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung München.** Lehrplan für das Gymnasium in Bayern - Physik. [Online] 2004. [Zitat vom: 10. Februar 2014.] <http://www.isb-gym8-lehrplan.de>.

**Voßkühler, Adrian und Nordmeier, Volkhard.** Didaktik der Physik - FU -Berlin. [Online] [Zitat vom: 10. Februar 2014.] <http://didaktik.physik.fu-berlin.de/projekte/sounds/index.html>.

**Erklärung**

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit in allen Teilen selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Alle Abbildungen, soweit nicht anders erwähnt, wurden selbstständig mit den unterschiedlichen Software Programmen erstellt.

Weiterhin versichere ich, dass ich die Arbeit nicht schon als Doktor- oder Diplomarbeit an einer anderen Hochschule, als Hausarbeit oder Facharbeit bei einer anderen Lehramtsprüfung oder als Teil solcher Arbeiten eingereicht habe.



---

Ort, Datum und Unterschrift

### **Anhang A: Einführung zum Lehr-Lern-Labor „BioPhysik & Sprache“**

Die hier enthaltenen Abbildungen sind Powerpoint-Folien. Die vollständig animierte Präsentation findet sich auf der beiliegenden CD wieder.



Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**


Mathematisches, Informationstechnologisches  
 und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum

# Herzlich Willkommen

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**





Mathematisches, Informationstechnologisches  
 und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum




**Direkte alltägliche Kommunikation**

**BioPhysik & Sprache:  
 Was hat das mit mir zu tun?**




**moderne Kommunikations-Mittel** (Handynutzung, Spracherkennungsprogramme...)

**Erlernen von Fremdsprachen**





Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**

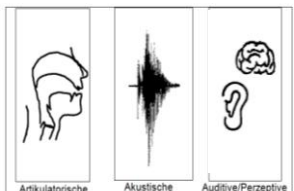
Mathematisches, Informationstechnologisches  
und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum

Wissenschaft an der Schnittstelle von Naturwissenschaften (v.a. Physik und Biologie) und Sprachwissenschaften, die die gesprochene Sprache in all seinen Realisierungen (siehe oben) untersucht:

## Phonetik


Verschiedene Bereiche der Phonetik:

- Artikulatorische
- Akustische
- Perzeptive



Artikulatorische Phonetik      Akustische Phonetik      Auditive/Perzeptive Phonetik


Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**

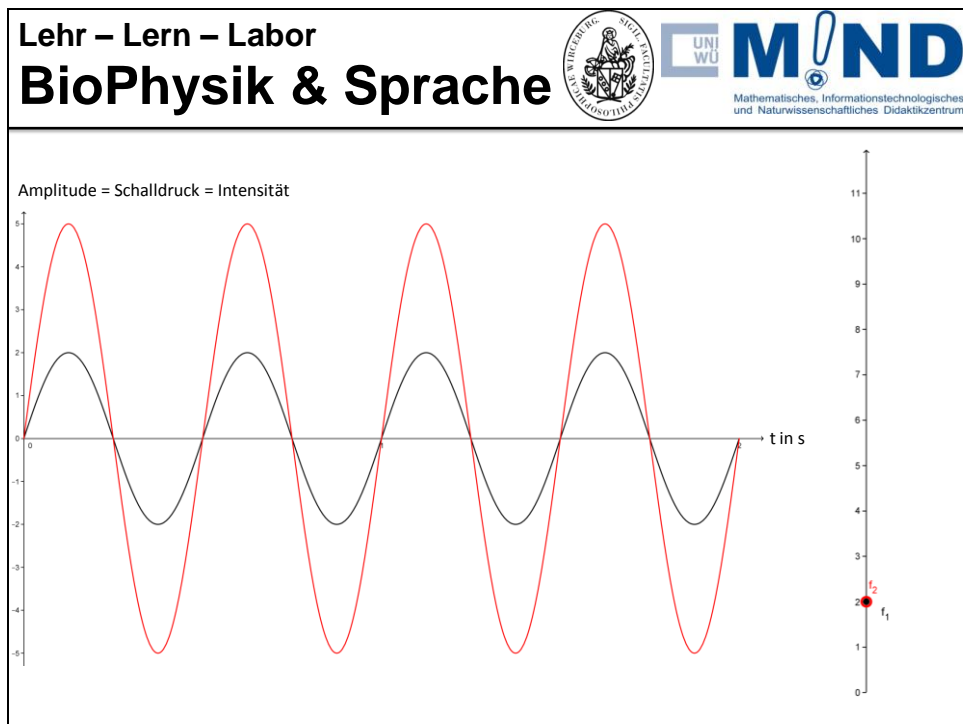
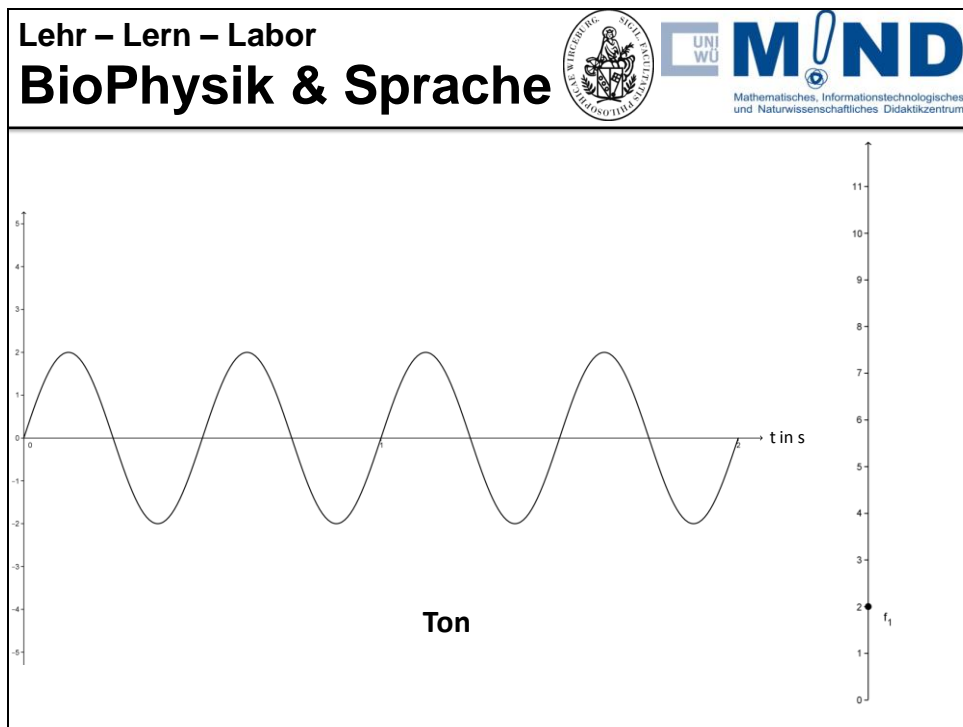
Mathematisches, Informationstechnologisches  
und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum

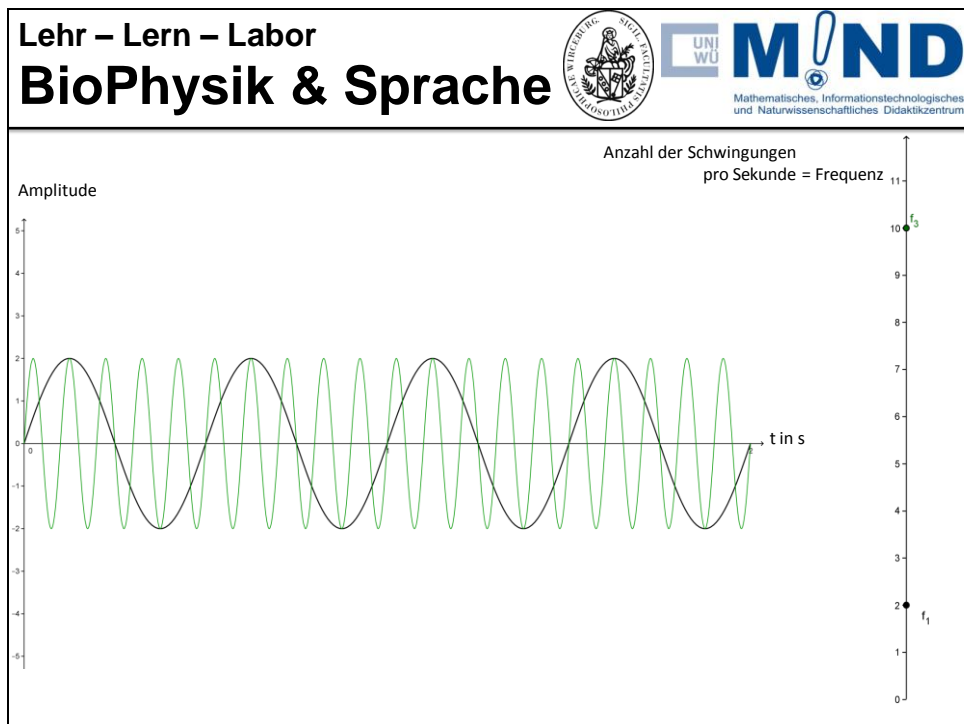
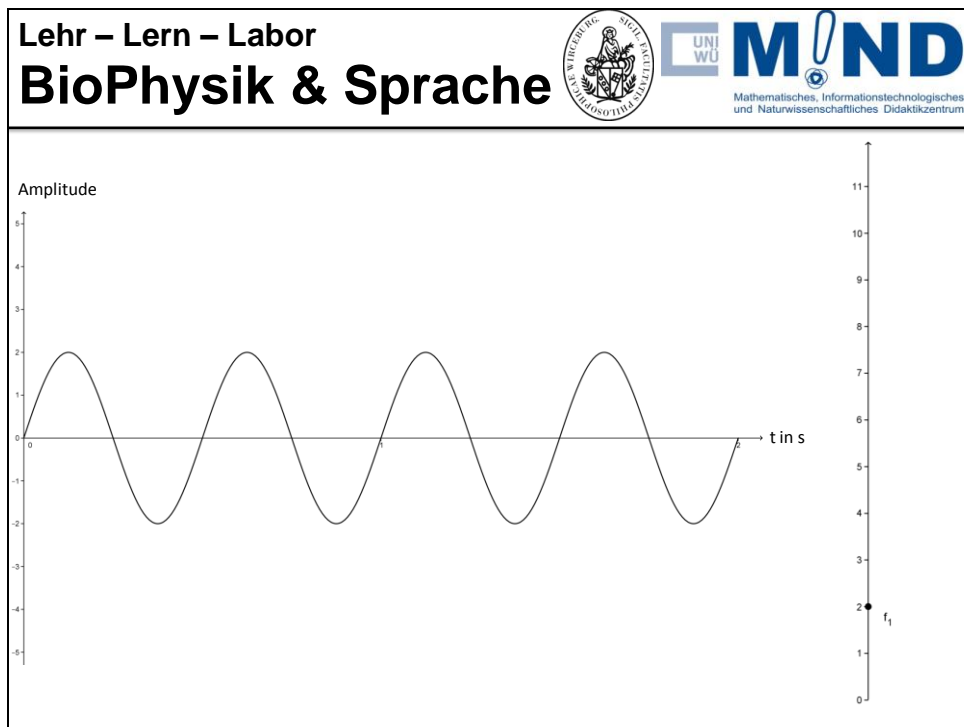
Wichtige Grundlagen:

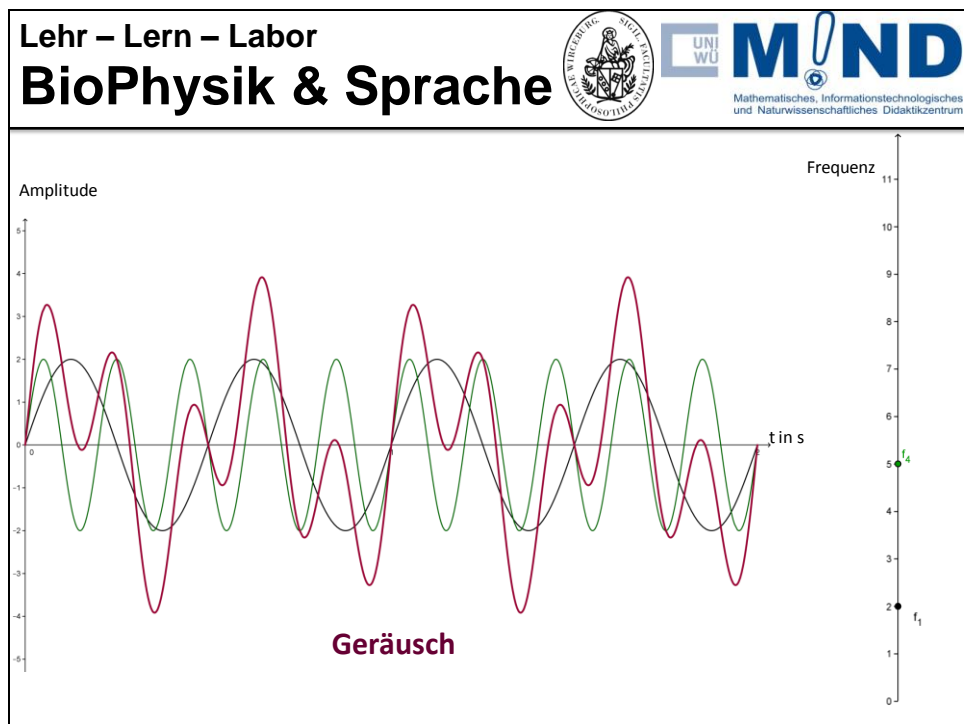
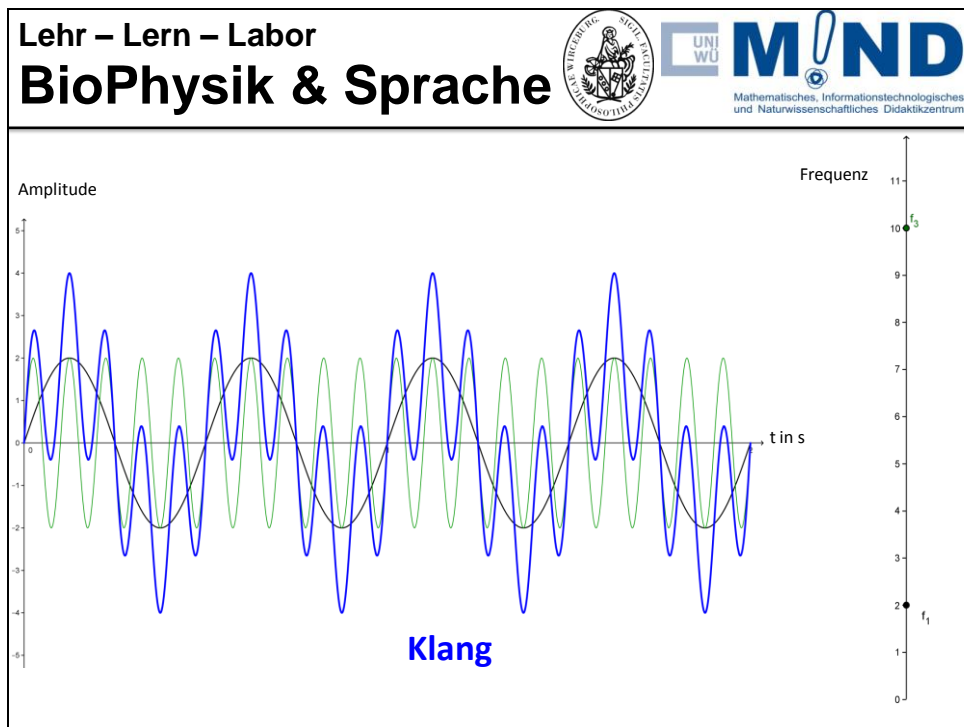
- Frequenz, Amplitude
- Akustische Signale / Schallereignisse
- Abgrenzung zur Musik



Welche Schallereignisse gibt es?









Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**




**Abgrenzung zwischen Musik und Akustik**

Physikalische Bezeichnungen	Musikalische Bezeichnungen
Ton = eine Frequenz	Gibt es keine, durch Musikinstrumente nicht zu erzeugen
Klang = mehrere Frequenzen in ganzzahligem Verhältnis	Wird als Ton bezeichnet, wenn z.B. ein Geiger ein a spielt.
Geräusche = mehrere Frequenzen in nicht ganzzahligem Verhältnis	Klänge z.B. Dreiklang c1(261Hz), e1(329Hz) und g1(391Hz)
	Oktaven sind physikalisch gesehen Klänge z.B. a1 (440Hz) und a2 (880Hz)

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**

**Organisatorisches**

- Stationen von A bis H, die unabhängig voneinander bearbeitet werden können
- Angedachte Bearbeitungszeit pro Station: 20 Minuten
- Arbeitsanleitung an der Station
- Arbeitsheft für jeden Schüler zum Mitnehmen
- Selbstständige Gruppenarbeit
- Gruppeneinteilung

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



Mathematisches, Informationstechnologisches  
und Naturwissenschaftliches Didaktikzentrum

**Viel Spaß!!!**

## **Anhang B: Arbeitsmaterial der ersten Version der Station**

Enthalten sind die ausgefüllten Lehrerversionen der Arbeitsanweisung und des Arbeitshefts als eingefügte Bilder. Die Word-Dokumente sowohl für Lehrer- als auch Schülerversion finden sich auf der beiliegenden CD.

## Arbeitsanleitung

### Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



#### Station C:

### Akustische Phonetik: Oszillogramme

Die Akustische Phonetik beschäftigt sich mit den Schalleigenschaften von lautsprachlichen Äußerungen. Zur Analyse der Schallereignisse oder akustischen Signale dienen Oszillogramme, in denen die Veränderung des Schalldrucks über die Zeit angetragen wird. Sie beschäftigen sich also in dieser Station mit der Auftragung von akustischen Signalen und analysieren diese nach physikalischen Gesichtspunkten. Zuerst werden Sie sich mit der Aufzeichnung eines Oszillogramms vertraut machen, um diese Auftragung später auswerten zu können. Im zweiten Schritt werden Sie sich mit vier akustischen Signalen beschäftigen und diese nach ihren Eigenschaften klassifizieren. Schließlich werden Sie einige Laute einsprechen und die dazugehörigen Oszillogramme vergleichen. Zum Schluss werden die Lerninhalte der Station in einer Anwendungsaufgabe zusammengefasst.

Damit Sie wissen, mit was Sie sich im Folgenden beschäftigen werden, ist hier ein Oszillogramm mit vier typischen akustischen Signalen abgebildet. Die einzelnen Bereiche sollten Sie am Ende der Station den Begriffen und Ereignissen zuordnen können.

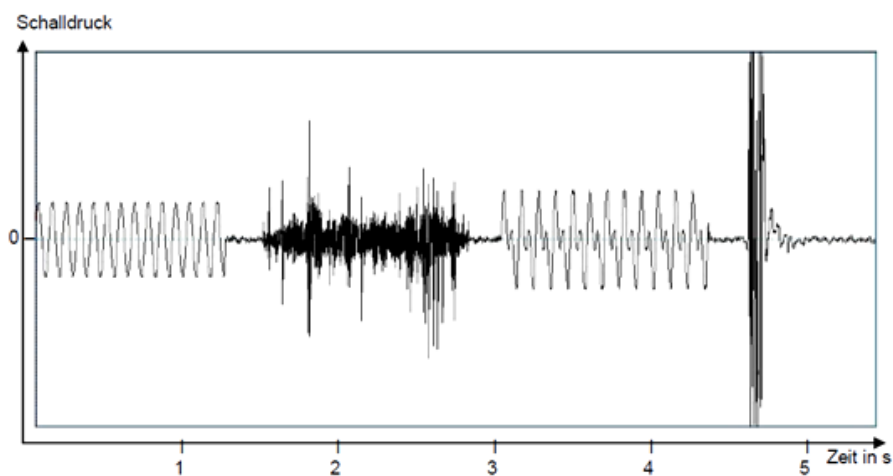


Abbildung 1: Oszillogramm mit vier verschiedenen akustischen Signalen

**Hinweis: Lesen Sie bitte immer zuerst die Arbeitsanweisungen, ansonsten ist es für Sie nicht möglich die Station zu bearbeiten!**



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache




### 1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)

Um akustische Signale zu analysieren, ist es hilfreich, diese aufzuzeichnen. Die einfachste Aufzeichnung erfolgt mit Hilfe einer Stimmgabel, die mit einem Stift versehen ist. Unter der Mine wird mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ein Papier durchgezogen, um somit die Schwingung aufzuzeichnen. Mit Hilfe der Software Praat kann man am Computer die Schallwellen, die beim Anschlagen einer Stimmgabel erzeugt werden, sichtbar machen. Diese beiden Aufzeichnungen werden Sie in diesem Teil der Station durchführen.

#### Material:

- Stimmgabel mit montierter Mine
- Papier
- 440 Hz Stimmgabel in Metallständer mit Klöppel
- Knete
- Mikrofon
- Computer

#### Arbeitsauftrag:

- a) Führen Sie das erste Experiment in folgenden Schritten durch:
  - Legen Sie das Papier möglichst nahe am Rand auf den Tisch.
  - Nehmen Sie die Stimmgabel so in die Hand, dass die Mine der Stimmgabel das Blatt auf der Seite berührt, die gegenüber vom Tischrand ist.
  - Bevor Sie die Stimmgabel mit der freien Hand anschlagen, bestimmen Sie einen Mitschüler, der nach dem Anschlagen das Blatt schnell vom Tischrand zur Mitte hin zieht. **Hinweis: Das Blatt muss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden. Machen Sie deshalb mehrere Versuche.**
- b) Überprüfen Sie, ob das Mikrofon an den Computer angeschlossen ist und befestigen Sie die Stimmgabel mit der Knete auf dem Tisch, um Resonanzeffekte zu vermeiden (vgl. nebenstehende Abbildung).
 
- c) Lesen Sie die Gebrauchsanweisung für das Software Programm Praat.
- d) Zeichnen Sie die 440Hz Stimmgabel mit dem Programm auf. **Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- e) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei 440Hz?
- f) Füllen Sie den Lückentext im Arbeitsheft aus.

Der Pitch sollte zwischen 439Hz und 441Hz liegen, die Nachkommastellen sind nicht relevant.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Gebrauchsanweisung von Praat

Das Praat-Hauptfenster sollte bereits geöffnet sein; andernfalls bitten Sie einen Betreuer, dies nachzuholen. Um eine neue Aufzeichnung zu starten, wählen Sie im Praat Hauptfenster „New“ und anschließend „Record mono Sound...“. Es öffnet sich ein neues Fenster. In diesem sollte unter „Channels“ „Mono“ gewählt sein und die „Sampling frequency“ stellen Sie auf 8000Hz ein. Bei Name geben Sie einen sprechenden Namen für die Aufzeichnung ein, z.B. „440Hz Stimmgabel 1“. (Der Name sollte so gewählt werden, dass Sie die Datei später zuordnen können). Zum Aufnehmen wird der „Record“-Button gedrückt und zum Stoppen wenige (1-2) Sekunden später der „Stop“-Button. Speichern Sie die Aufnahme mit „Save to list“, sie erscheint dann im Praat Hauptfenster unter dem von Ihnen gegebenen Titel. Zur Anzeige der Aufzeichnung gehen Sie zurück ins Hauptfenster, wählen die anzuzeigende Datei aus und „View & Edit“ auf der rechten Seite des Fensters. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einem Oszillogramm. Zoomen Sie mit „in“ am linken unteren Fensterrand solange in das Bild hinein, bis Sie im unteren Analysefenster einen blauen horizontalen Streifen sehen, der Ihnen die Frequenz Ihrer Stimmgabel angeben sollte. Dieser Streifen wird als „Pitch“ (Grundfrequenz) bezeichnet.

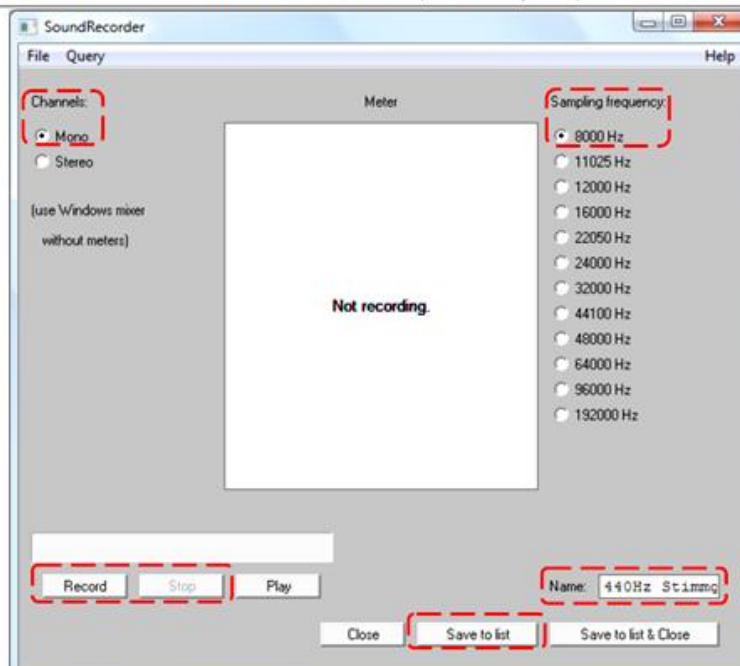


Abbildung 2: Aufnahme Fenster mit den vorzunehmenden Einstellungen und den Buttons zur Aufnahme (rot markiert)

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich (Versuch)

Das Oszillogramm aus dem ersten Teil der Station war das eines Tones. Im folgenden Teil werden Sie noch drei weitere akustische Signale kennenlernen: den Klang, das Geräusch oder Rauschen und den Knall. Ziel ist es, dass Sie die verschiedenen Schallereignisse im Oszillogramm unterscheiden können und ihre physikalischen Eigenschaften kennen.

#### Material:

- Computer

#### Arbeitsauftrag:

- Lesen Sie zuerst den Informationstext Nr.1.
- Im Praat Hauptfenster finden Sie die Dateien „Klang“ und „Klang\_nachgebaut“. Spielen Sie diese nacheinander ab und lassen Sie sich diese nebeneinander anzeigen. Diskutieren Sie kurz über die beiden Klangbeispiele (Wie hören sie sich an, wie sieht das Oszillogramm aus, ...).

Die Dateien hören sich ähnlich an, sehen aber unterschiedlich aus, da der Klang nicht nur aus drei Frequenzen sondern noch mehr besteht.

- Spielen Sie nun die Datei „Geräusch“ ab und schauen Sie sich das Oszillogramm dazu an. Welchen Unterschied erkennen Sie im Vergleich zum Klang?

Das Oszillogramm ist nicht regelmäßig.

- Verfahren Sie mit der Datei „Knall“ wie unter c). Was ist der Unterschied zum Geräusch?

Ein sehr großer Ausschlag zu Beginn, der schnell abklingt.

- Bearbeiten Sie die Aufgaben im Arbeitsheft.

#### Informationstext Nr.1 mit Gebrauchsanweisung zum Abspielen von Dateien in Praat

Eine Datei spielen Sie mit „**Play**“, im rechten oberen Bereich des Hauptfensters, ab. Der Lautsprecher des Computers sollte natürlich angeschaltet sein. Mit Praat kann man ebenfalls synthetisch akustische Signale nachbauen. Dies wurde mit dem Klang versucht. Die verwendeten Frequenzen waren 563Hz, 1126Hz und 1689Hz.



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 3. Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

Nachdem Sie die einzelnen akustischen Signale aufgezeichnet und ihre physikalischen Eigenschaften betrachtet haben, werden Sie sich in diesem Teilbereich mit der Sprache beschäftigen. Exemplarisch werden Sie vier verschiedene Laute aufnehmen und sie anhand ihres Oszillogramms in drei Gruppen einordnen.

#### Material:

- Mikrophon
- Computer

#### Arbeitsauftrag:

- Lesen Sie zuerst Informationstext Nr.2 und die Gebrauchsanweisung zur Aufnahme von Sprache mit Praat.
- Nehmen Sie die Laute „[s], [p], [a], [m], [b]“ in dieser Reihenfolge in kurzen Abständen (ca. 2s) nacheinander in einer Aufnahme auf und lassen Sie sich die Aufnahme im Oszillogramm, zur Analyse der einzelnen Laute, darstellen.
- Füllen Sie die Tabelle im Arbeitsheft aus.

#### Informationstext Nr. 2:

Im Oszillogramm lassen sich in einem Wort oder Satz nur wenige Laute gut voneinander unterscheiden, wenn sie jedoch einzeln nacheinander gesprochen werden, ist dies einfacher. Die **Plosive** sind im Oszillogramm am besten zu erkennen, **Frikative**, **Nasale** und **Vokale** lassen sich nur durch eine nähere Betrachtung unterscheiden (Auf die Bezeichnungen wird in Station B genauer eingegangen). Im Oszillogramm erkennt man den Plosiv daran, dass die Aufzeichnung einem Knall ähnelt. Frikative sind dagegen geräuschähnlich und die Vokale und Nasale als Klang zu identifizieren. Außerdem kann man zwischen **stimmhaften** und **stimmlosen Konsonanten** unterscheiden kann. Zur Unterscheidung der Konsonanten kann man die Schwingung der Stimmbänder erspüren, wenn man beim Sprechen die Hand an den Kehlkopf legt, oder man hält sich die Ohren zu und vernimmt somit ein inneres Dröhnen, da der Körper als Resonanzkörper wirkt.

#### Gebrauchsanweisung zur Sprachaufnahme mit Praat:

Das Aufnahmefenster sollte noch geöffnet sein, ansonsten verfahren Sie zur Öffnung wie unter 1. beschrieben. Unter „**Sampling frequency**“ stellen Sie **44100Hz** ein, dies ist die übliche Aufnahme Frequenz für Sprachaufzeichnungen. Sprechen Sie klar und deutlich und nur die Laute [s], [p], [a], [m], [b] – wie Sie deren Aussprache in der Grundschule gelernt haben und nicht wie diese im Alphabet typischerweise ausgesprochen werden.

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



#### 4. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm

In diesem letzten Teilbereich soll das Oszillogramm vom Anfang genauer analysiert und die verschiedenen Signale benannt und akustischen Ereignissen zugeordnet werden. Abschließend sollen Sie die Ähnlichkeiten zwischen den Lauten und den akustischen Signalen noch einmal zusammenfassen.

*Material:*

- 12 Karten
- Spielbrett

*Arbeitsauftrag:*

- a) Ordnen Sie je drei der 12 Karten einander auf dem Spielbrett zu. Es gibt drei Karten zum Ton, drei zum Klang, drei zum Geräusch und drei zum Knall. Haben Sie die Karten richtig zugeordnet, ergibt sich auf der Rückseite jeweils ein Lösungswort.

Ton: Os-zillo-gramm
Klang: Schall-wel-le
Geräusch: A-kus-tik
Knall: Pho-ne-tik

- b) Vervollständigen Sie die Tabelle im Arbeitsheft und beantworten Sie die Frage.

Arbeitsheft

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**

**Station C:****Akustische Phonetik: Oszillogramme**

Die Akustische Phonetik beschäftigt sich mit den Schalleigenschaften von lautsprachlichen Äußerungen. Zur Analyse der Schallereignisse, den akustischen Signalen, dienen Oszillogramme, in denen die Veränderung des Schalldrucks über die Zeit angetragen wird. In dieser Station werden zuerst die Auftragung eines Oszillogramms und anschließend die verschiedenen akustischen Signale in ihrer Oszillogramm-Darstellung thematisiert. Im dritten Teil wird kurz auf die Aufzeichnung von Sprachsignalen eingegangen, um zum Schluss einen Überblick über die akustischen Signale zu haben und die Sprache diesen zuordnen zu können.

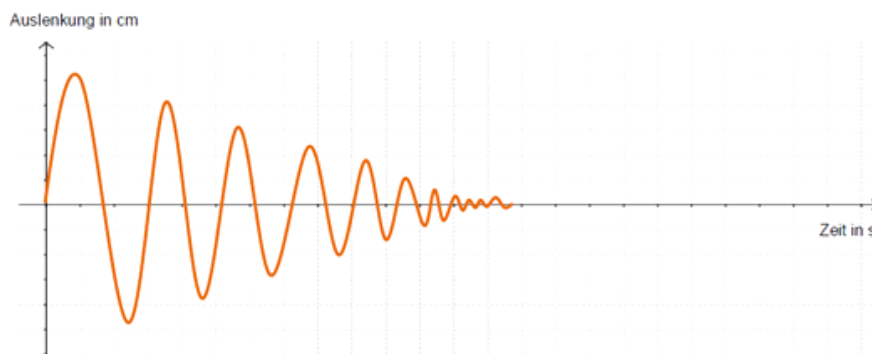
**1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)**

In dieser Teileinheit sollen die Aufzeichnung eines Oszillogramms von der mechanischen hin zur computergestützten Aufzeichnung dargestellt und das Oszillogramm kennengelernt werden.

*Ergebnisse:*

Bei der mechanischen Aufzeichnung ist die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit aufgetragen. In einem Oszillogramm wird die Änderung des Schalldrucks gegen die Zeit dargestellt. Bei der Aufzeichnung mit der Hand schwächt die Auslenkung auf Grund von großer Reibung sehr schnell ab. Dieser Effekt ist beim Oszillogramm nur sehr gering.

Zeichnen Sie die manuelle Aufzeichnung der Schwingung der Stimmgabel in das folgende Koordinatensystem sinngemäß ein.



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache

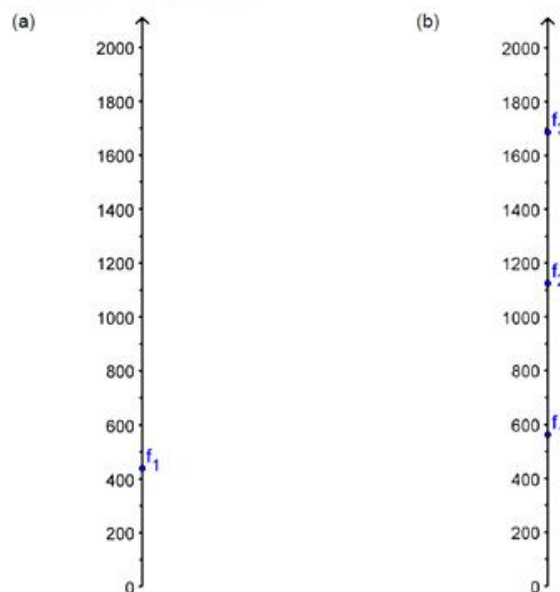


### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich (Versuch)

Ziel dieses Versuches ist es, dass Sie die verschiedenen Schallereignisse im Oszillogramm unterscheiden können und ihre physikalischen Eigenschaften kennen.

*Ergebnisse:*

Tragen Sie die Frequenzen des Tones aus Teil 1 und die des nachgebauten Klanges an den Frequenzskalen (a) und (b) an.



Was können Sie beim Klang über das Verhältnis der Frequenzen zueinander anhand der Frequenzkala sagen?

Die Frequenzen sind ganzzahlige Vielfache voneinander.

Ein Ton besteht physikalisch gesehen aus nur einer Frequenz. Beim Klang sind die Frequenzen ganzzahlige Vielfache voneinander. Ein Geräusch enthält viele verschiedene Frequenzen, die keiner Gesetzmäßigkeit folgen. Der Knall ist eine kurzzeitige Überlagerung von vielen Frequenzen eines großen Bereiches.



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 3. Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

In diesem Teilbereich lernen Sie, wie die Sprache anhand des Oszillogramms den akustischen Signalen zu zuordnen ist. Sie sollen verschiedene Laute in einem Oszillogramm erkennen und stimmhafte (sh) und stimmlose (sl) Konsonanten unterscheiden können.

*Ergebnisse:*

Laut	sh	sl	Merkmal/Aussehen im Oszillogramm
a			Klangähnlich
b	X		Knallähnlich, jedoch nur mit einem geringen Ausschlag zu Beginn
m	X		Klangähnlich, sehr schöne Schwingung, nahezu schon Tonähnlich
p		X	Knallähnlich; starker Ausschlag am Anfang der schnell abklingt
s		X	Geräuschähnlich, mit sehr unregelmäßiger Schwingung

### 4. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm

Nach dem Bearbeiten dieses Teilbereiches sollten Sie einen Überblick über die akustischen Signale und ihre physikalischen Eigenschaften haben und die Sprache diesen zuordnen können.

*Ergebnisse:*



Begriff	Ton	Klang	Geräusch	Knall
Wichtigste physikalische Eigenschaft	Nur eine Frequenz	Mehrere Frequenzen in ganzzahligem Verhältnis	Viele verschiedene Frequenzen, keine Gesetzmäßigkeit	In einem kurzen Zeitintervall viele Frequenzen eines großen Bereiches
Material oder Objekt	Stimmgabel	Flöte	Papierrascheln	Luftballon zerplatzen
Lautsprachliche Äußerung		m, a	s	p, b



Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



Notieren Sie, warum die Sprache nicht eindeutig einem akustischen Signal zu zuordnen ist.

Sprache lässt sich nicht eindeutig zuordnen, da sie sowohl Geräusche, knallartige Signale und sogar Klänge enthält. Je nach Artikulationsart und -ort und Stimmbeteiligung kommen die unterschiedlichen akustischen Signale zustande.

**Anhang C: Arbeitsmaterial der überarbeiteten Version**

Hier enthalten sind sowohl die Lehrer- und Schülerversionen der Arbeitsanweisung als auch die Lehrerversion des Arbeitsheftes. Die Lehrerversion der Arbeitsanweisung enthält zusätzlich noch Hinweise für den Betreuer hinsichtlich der vorzunehmenden Einstellung in Praat, sowie Anregungen zur Diskussion mit den Schülerinnen und Schülern und fachliche Hintergründe zur Erklärung bei Nachfragen der Lernenden.

## Arbeitsanleitung: Einführung und Vorgangsbeschreibung zur Bearbeitung der Station in zwei Kleingruppen

### Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Station C: Akustische Phonetik: Oszillogramme

Die Akustische Phonetik beschäftigt sich mit den Schalleigenschaften von lautsprachlichen Äußerungen. Zur Analyse der Schallereignisse oder akustischen Signale dienen Oszillogramme, in denen die Veränderung des Schalldrucks über die Zeit aufgetragen wird. Sie beschäftigen sich also in dieser Station mit der Auftragung von akustischen Signalen und analysieren diese nach physikalischen Gesichtspunkten. Zuerst werden Sie sich mit der Aufzeichnung eines Oszillogramms vertraut machen, um diese Auftragung später auswerten zu können. Im zweiten Schritt werden Sie sich mit vier akustischen Signalen beschäftigen und diese nach ihren Eigenschaften klassifizieren. Schließlich werden Sie einige Laute einsprechen und die dazugehörigen Oszillogramme vergleichen. Zum Schluss werden die Lerninhalte der Station in einer Anwendungsaufgabe zusammengefasst.

Damit Sie wissen, mit was Sie sich im Folgenden beschäftigen werden, ist hier ein Oszillogramm mit vier typischen akustischen Signalen abgebildet. Die einzelnen Bereiche sollten Sie am Ende der Station den Begriffen und Eigenschaften zuordnen können.

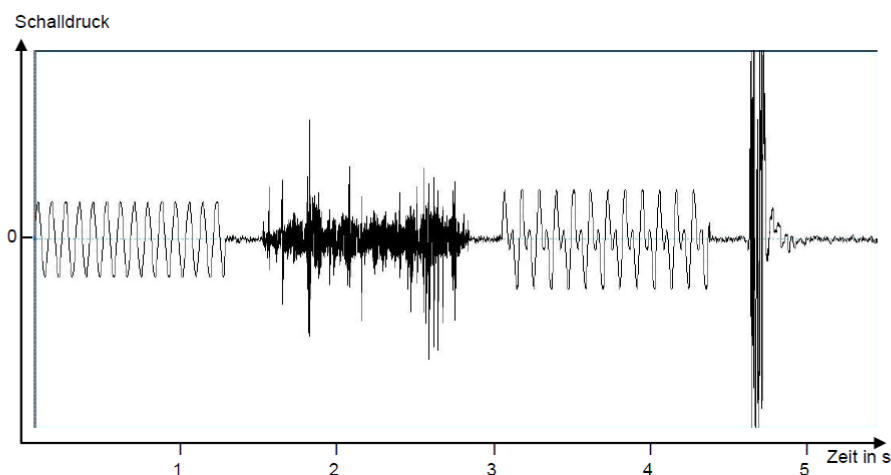


Abbildung 1: Oszillogramm mit vier verschiedenen akustischen Signalen

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Vorgehensweise:

1. An Ihrem Arbeitsplatz finden sie einen roten Faden, an welchem blaue und grüne Briefumschläge befestigt sind (s. Abb. 2).
2. Bilden Sie per Losverfahren durch Ziehen von Losen aus dem am Arbeitsplatz ausliegenden Behältnis zwei Gruppen. Die Lose sind mit grünen und blauen Markierungen versehen, welche die Gruppenzugehörigkeit angeben.
3. Bearbeiten Sie nun in den Kleingruppen die Aufgabenstellungen, welche in den Briefumschlägen enthalten sind, und denken Sie daran ihre neu gewonnenen Erkenntnisse in der großen Gruppe zusammenzutragen und das Arbeitsheft gemeinsam auszufüllen.

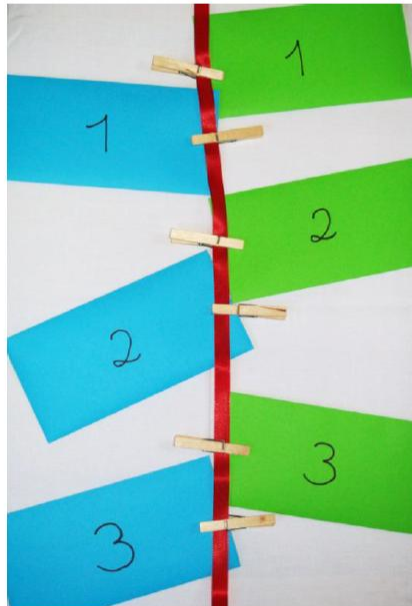


Abbildung 2: Briefumschläge, welche zur Orientierung mit Nummer beschriftet sind.

Viel Spaß!

**Arbeitsanweisung der Experimentiergruppe (grün) – Schülerversion:****Lehr – Lern – Labor  
BioPhysik & Sprache****1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)***Material:*

- Stimmgabel mit montierter Mine (1)
- Papier (1)
- 440 Hz Stimmgabel in Metallständer mit Klöppel (2)
- Knete (2)
- Mikrofon (2)
- Computer (2)



Abb. 1: links die Stimmgabel mit montierter Mine für Versuchsteil (1); links das Mikrofon, die Stimmgabel, die Knete und der Klöppel für Versuchsteil (2)

*Arbeitsauftrag:*

Versuchsteil 1: Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel

- Legen Sie das Papier möglichst nahe am Rand auf den Tisch (Abb. 2 c).
- Nehmen Sie die Stimmgabel mit der montierten Mine so in die Hand, dass die Mine der Stimmgabel das Blatt auf der Seite berührt, die gegenüber vom Tischrand ist (Abb. 2 b).
- Bevor Sie die Stimmgabel mit der freien Hand anschlagen, bestimmen Sie einen Mitschüler, der nach dem Anschlagen das Blatt schnell vom Tischrand zur Mitte hin zieht (Abb. 2 a). Schlagen Sie die Stimmgabel nun an und ziehen Sie das Papier, um die Schwingung aufzuzeichnen. **Hinweis: Das Blatt muss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden. Machen Sie deshalb mehrere Versuche.**

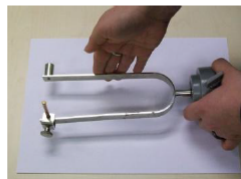


Abb. 2 c: Papier am Tischrand Abb. 2 b: Stimmgabel über Papier Abb. 2 a: Ziehen des Papiers

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Versuchsteil 2: Aufnahme einer Stimmgabel

- d) Überprüfen Sie, ob das Mikrofon an den Computer angeschlossen ist und befestigen Sie die Stimmgabel mit der Knete auf dem Tisch, um Resonanzeffekte zu vermeiden (Abb. 2).
- e) Zeichnen Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe die 440Hz Stimmgabel mit Praat auf.  
**Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- f) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei circa 440Hz?
- g) Füllen Sie gemeinsam den Lückentext im Arbeitsheft aus.



Abb. 3

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

#### Material:

- Mikrofon
- Computer

#### Arbeitsauftrag:

- Lesen Sie zuerst die Gebrauchsanweisung zur Aufnahme von Sprache mit Praat.
- Nehmen Sie die Laute „[s], [p], [a], [m], [b]“ in dieser Reihenfolge in kurzen Abständen (ca. 2s) nacheinander in einer Aufnahme auf und lassen Sie sich die Aufnahme im Oszillogramm, zur Analyse der einzelnen Laute, darstellen.
- Füllen Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe die Tabelle im Arbeitsheft aus.

#### Gebrauchsanweisung zur Sprachaufnahme mit Praat:

Um eine neue Aufzeichnung zu starten, wählen Sie im Praat Hauptfenster „**New**“ und anschließend „**Record mono Sound...**“. Es öffnet sich ein neues Fenster. In diesem sollte unter „**Channels**“ „**Mono**“ gewählt sein und die „**Sampling frequency**“ stellen Sie auf **44100Hz** ein, dies ist die übliche Aufnahme Frequenz für Sprachaufzeichnungen. Bei Name geben Sie einen sprechenden Namen für die Aufzeichnung ein, z.B. „Laute1“. (Der Name sollte so gewählt werden, dass Sie die Datei später zuordnen können).

Zum Aufnehmen wird der „**Record**“-Button gedrückt und zum Stoppen der „**Stop**“-Button. Speichern Sie die Aufnahme mit „**Save to list**“, sie erscheint dann im Praat Hauptfenster unter dem von Ihnen gegebenen Titel. Zur Anzeige der Aufzeichnung gehen Sie zurück ins Hauptfenster, wählen die anzuzeigende Datei aus und „**View & Edit**“ auf der rechten Seite des Fensters. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einem Oszillogramm. Mit „**in**“ am linken unteren Fensterrand können Sie in das Bild hinein zoomen.

**Hinweis:** Sprechen Sie klar und deutlich und nur die Laute [s], [p], [a], [m], [b] – wie Sie deren Aussprache in der Grundschule gelernt haben und nicht wie diese im Alphabet typischerweise ausgesprochen werden.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 3. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)

#### Material:

- 12 Karten
- Spielbrett

#### Arbeitsauftrag

Das Spiel bearbeiten Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe.

- a) Ordnen Sie je drei der 12 Karten einander auf dem Spielbrett zu.
- b) Vervollständigen Sie die Tabelle im Arbeitsheft und beantworten Sie die Frage.



**Arbeitsanweisung der Experimentiergruppe (grün) – Lehrerversion:****Lehr – Lern – Labor  
BioPhysik & Sprache****1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)***Material:*

- Stimmgabel mit montierter Mine (1)
- Papier (1)
- 440 Hz Stimmgabel in Metallständer mit Klöppel (2)
- Knete (2)
- Mikrofon (2)
- Computer (2)



Abb. 1: links die Stimmgabel mit montierter Mine für Versuchsteil (1); links das Mikrofon, die Stimmgabel, die Knete und der Klöppel für Versuchsteil (2)

*Arbeitsauftrag:*

Versuchsteil 1: Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel

- Legen Sie das Papier möglichst nahe am Rand auf den Tisch (Abb. 2 a).
- Nehmen Sie die Stimmgabel mit der montierten Mine so in die Hand, dass die Mine der Stimmgabel das Blatt auf der Seite berührt, die gegenüber vom Tischrand ist (Abb. 2 b).
- Bevor Sie die Stimmgabel mit der freien Hand anschlagen, bestimmen Sie einen Mitschüler, der nach dem Anschlagen das Blatt schnell vom Tischrand zur Mitte hin zieht (Abb. 2 c). Schlagen Sie die Stimmgabel nun an und ziehen Sie das Papier, um die Schwingung aufzuzeichnen. **Hinweis: Das Blatt muss mit gleichmäßiger Geschwindigkeit gezogen werden. Machen Sie deshalb mehrere Versuche.**



Abb. 2 b: Papier am Tischrand Abb. 2 c: Stimmgabel über Papier Abb. 2 a: Ziehen des Papiers

Die Mine ist vor der Durchführung immer auszuprobieren und gegebenenfalls auszutauschen.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Versuchsteil 2: Aufnahme einer Stimmgabel

- d) Überprüfen Sie, ob das Mikrofon an den Computer angeschlossen ist und befestigen Sie die Stimmgabel mit der Knete auf dem Tisch, um Resonanzeffekte zu vermeiden (Abb. 2).



Abb. 3

Wenn die SuS nicht wissen, was Resonanzeffekte sind, muss ihnen dies speziell für den Fall mit der Stimmgabel erklärt werden.

Die schwingende Stimmgabel zwingt den Metallständer und den Tisch zum Mitschwingen, sodass der Tisch in Schwingungen versetzt und der Ton der Stimmgabel verstärkt wird. Dies ist hier nicht gewünscht, da nur die Frequenz der Stimmgabel aufgenommen werden soll, ohne diese zu verstärken. Um zu verhindern, dass der Tisch zum Mitschwingen angeregt wird, wird die Stimmgabel durch die Knete gedämpft, sodass die Schwingung der Stimmgabel kaum auf den Tisch übertragen werden kann.

- e) Zeichnen Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe die 440Hz Stimmgabel mit Praat auf.  
**Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- f) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei circa 440Hz?

Der Pitch sollte zwischen 439Hz und 441Hz liegen, die Nachkommastellen sind nicht relevant.

- g) Füllen Sie gemeinsam den Lückentext im Arbeitsheft aus.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

#### Material:

- Mikrofon
- Computer

#### Arbeitsauftrag:

- Lesen Sie zuerst die Gebrauchsanweisung zur Aufnahme von Sprache mit Praat.
- Nehmen Sie die Laute „[s], [p], [a], [m], [b]“ in dieser Reihenfolge in kurzen Abständen (ca. 2s) nacheinander in einer Aufnahme auf und lassen Sie sich die Aufnahme im Oszillogramm, zur Analyse der einzelnen Laute, darstellen.

Es ist darauf zu achten, dass die SuS die Laute richtig aussprechen, denn sonst sind die Oszillogramme nicht eindeutig einem akustischen Signal

- Füllen Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe die Tabelle im Arbeitsheft aus.

#### Gebrauchsanweisung zur Sprachaufnahme mit Praat:

Um eine neue Aufzeichnung zu starten, wählen Sie im Praat Hauptfenster „**New**“ und anschließend „**Record mono Sound...**“. Es öffnet sich ein neues Fenster. In diesem sollte unter „**Channels**“ „**Mono**“ gewählt sein und die „**Sampling frequency**“ stellen Sie auf **44100Hz** ein, dies ist die übliche Aufnahme­frequenz für Sprachaufzeichnungen. Bei Name geben Sie einen sprechenden Namen für die Aufzeichnung ein, z.B. „Laute1“. (Der Name sollte so gewählt werden, dass Sie die Datei später zuordnen können). Zum Aufnehmen wird der „**Record**“-Button gedrückt und zum Stoppen der „**Stop**“-Button.

Speichern Sie die Aufnahme mit „**Save to list**“, sie erscheint dann im Praat Hauptfenster unter dem von Ihnen gegebenen Titel. Zur Anzeige der Aufzeichnung gehen Sie zurück ins Hauptfenster, wählen die anzuzeigende Datei aus und „**View & Edit**“ auf der rechten Seite des Fensters. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einem Oszillogramm. Mit „**in**“ am linken unteren Fensterrand können Sie in das Bild hinein zoomen.

**Hinweis:** Sprechen Sie klar und deutlich und nur die Laute [s], [p], [a], [m], [b] – wie Sie deren Aussprache in der Grundschule gelernt haben und nicht wie diese im Alphabet typischerweise ausgesprochen werden.

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



### 3. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)

*Material:*

- 12 Karten
- Spielbrett

*Arbeitsauftrag*

Das Spiel bearbeiten Sie gemeinsam mit der blauen Gruppe.

- a) Ordnen Sie je drei der 12 Karten einander auf dem Spielbrett zu.

Ton: Os-zillo-gramm Klang: Schall-wel-le Geräusch: A-kus-tik Knall: Pho-ne-tik
---

- b) Vervollständigen Sie die Tabelle im Arbeitsheft und beantworten Sie die Frage.

**Arbeitsanweisung der Theoriegruppe (blau) – Schülerversion:****Lehr – Lern – Labor  
BioPhysik & Sprache****1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)**

Versuchsteil 1: Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel

- a) Um akustische Signale zu analysieren, ist es hilfreich, diese aufzuzeichnen. Die einfachste, mechanische Aufzeichnung erfolgt mit Hilfe einer Stimmgabel, die mit einem Stift versehen ist. Unter der Mine wird mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ein Papier durchgezogen, um somit die Schwingung aufzuzeichnen. Hier wird die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit angetragen.

Versuchsteil 2: Aufnahme der Schallwelle einer Stimmgabel

- b) Mit Hilfe der Software Praat kann man am Computer die Schallwellen, die beim Anschlagen einer Stimmgabel erzeugt werden, sichtbar machen. Diese Aufzeichnung wird Oszillogramm genannt und zeigt die Schalldruckänderung über die Zeit.
- c) Lesen Sie die Gebrauchsanweisung für das Software Programm Praat.
- d) Zeichnen Sie gemeinsam mit der grünen Gruppe die 440Hz Stimmgabel mit Praat auf. **Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- e) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei 440Hz?
- f) Füllen Sie gemeinsam den Lückentext im Arbeitsheft aus.

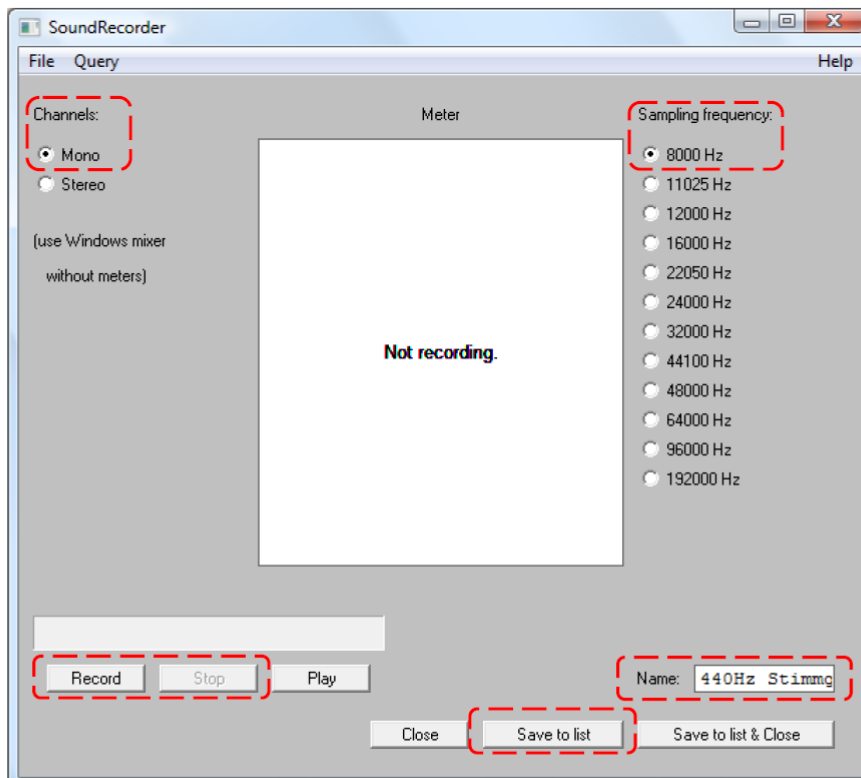
## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Gebrauchsanweisung von Praat

Das Praat-Hauptfenster sollte bereits geöffnet sein; andernfalls bitten Sie einen Betreuer, dies nachzuholen. Um eine neue Aufzeichnung zu starten, wählen Sie im Praat Hauptfenster „New“ und anschließend „Record mono Sound...“. Es öffnet sich ein neues Fenster. In diesem sollte unter „Channels“ „Mono“ gewählt sein und die „Sampling frequency“ stellen Sie auf 8000Hz ein. Bei Name geben Sie einen sprechenden Namen für die Aufzeichnung ein, z.B. „440Hz Stimmgabel 1“. (Der Name sollte so gewählt werden, dass Sie die Datei später zuordnen können).

Zum Aufnehmen wird der „Record“-Button gedrückt und zum Stoppen wenige (1-2) Sekunden später der „Stop“-Button. Speichern Sie die Aufnahme mit „Save to list“, sie erscheint dann im Praat Hauptfenster unter dem von Ihnen gegebenen Titel. Zur Anzeige der Aufzeichnung gehen Sie zurück ins Hauptfenster, wählen die anzuzeigende Datei aus und „View & Edit“ auf der rechten Seite des Fensters. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einem Oszillogramm. Zoomen Sie mit „in“ am linken unteren Fensterrand solange in das Bild hinein, bis Sie im unteren Analysefenster einen blauen horizontalen Streifen sehen, der Ihnen die Frequenz Ihrer Stimmgabel angeben sollte. Dieser Streifen wird als „Pitch“ (Grundfrequenz) bezeichnet.



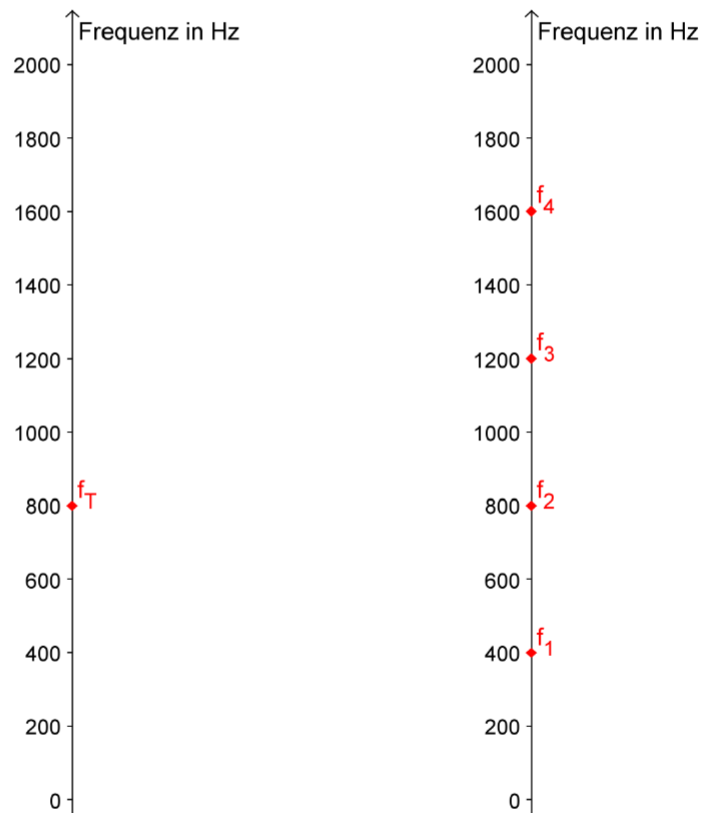
## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

Man unterscheidet zwischen vier verschiedenen akustischen Signalen. Das einfachste Schallereignis ist der Ton, der aus nur einer Frequenz besteht. Ein Klang ist eine Zusammensetzung aus verschiedenen Tönen, welche in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Ton und Klang kann man an der Frequenzskala gut unterscheiden.

*Frequenzdarstellung eines Tons und eines Klangs:*



Die linke Skala zeigt die Frequenz eines **Tons**. Die rechte Skala zeigt die verschiedenen Frequenzen des **Klangs**. Die tiefste Frequenz ist der Grundton, die darüber liegenden Frequenzen sind die Obertöne.

Weitere akustische Signale sind das Geräusch oder auch Rauschen genannt, das ebenfalls aus vielen Tönen besteht, welche jedoch keiner Gesetzmäßigkeit folgen. Beim Knall überlagern sich in einem kurzen Zeitintervall viele verschiedene Töne eines großen Frequenzbereiches.



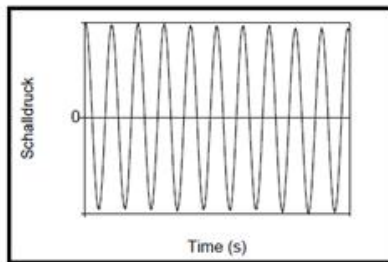
## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



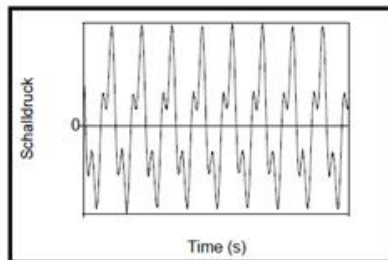
### *Darstellung im Oszillogramm:*

Die Darstellung im Oszillogramm ist für jedes Schallereignis anders und man kann diese deshalb gut unterscheiden.

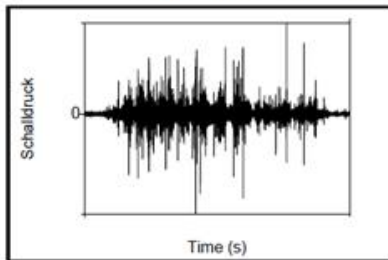
Ein Ton ist eine periodische Schwingung gleichbleibender Amplitude:



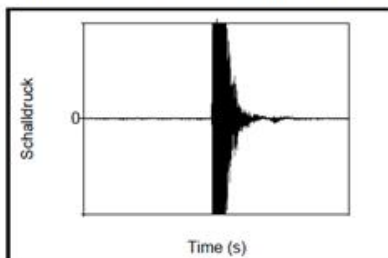
Ein Klang ist eine periodische Schwingung unterschiedlicher Amplitude:



Das Geräusch erkennt man an der Unregelmäßigkeit der Schwingung:



Der Knall zeichnet sich durch eine schnell abklingende Amplitude aus:





## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### *Darstellung von Sprache im Oszillogramm:*

Im Oszillogramm lassen sich in einem Wort oder Satz nur wenige Laute gut voneinander unterscheiden, wenn sie jedoch einzeln nacheinander gesprochen werden, ist dies einfacher.

Die **Plosive** sind im Oszillogramm am besten zu erkennen, **Frikative**, **Nasale** und **Vokale** lassen sich nur durch eine nähere Betrachtung unterscheiden (Auf die Bezeichnungen wird in Station B genauer eingegangen). Im Oszillogramm erkennt man den Plosiv daran, dass die Aufzeichnung einem Knall ähnelt. Frikative sind dagegen geräuschähnlich und die Vokale und Nasale als Klang zu identifizieren.

Außerdem lassen sich Unterschiede zwischen **stimmhaften** und **stimmlosen Konsonanten** erkennen. Zur Unterscheidung der Konsonanten kann man die Schwingung der Stimmbänder erspüren, wenn man beim Sprechen die Hand an den Kehlkopf legt, oder man hält sich die Ohren zu und vernimmt somit ein inneres Dröhnen, da der Körper als Resonanzkörper wirkt.

Füllen Sie nun gemeinsam mit der anderen Gruppe die Tabelle im Arbeitsheft aus.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 3. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)

In diesem letzten Teilbereich soll das Oszillogramm vom Anfang genauer analysiert und die verschiedenen Signale benannt und akustischen Ereignissen zugeordnet werden.

Dies passiert in Form eines Zuordnungsspiels, welches Sie gemeinsam mit der grünen Gruppe bearbeiten.

**Hinweis: Es gibt drei Karten zum Ton, drei zum Klang, drei zum Geräusch und drei zum Knall. Haben Sie die Karten richtig zugeordnet, ergibt sich auf der Rückseite jeweils ein Lösungswort.**

Abschließend werden die Ergebnisse in einer Tabelle zusammengetragen. Beantworten Sie außerdem die zugehörige Frage.

**Arbeitsanweisung der Theoriegruppe (blau) – Lehrerversion:****Lehr – Lern – Labor  
BioPhysik & Sprache****1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)**

Versuchsteil 1: Aufzeichnung der Schwingung einer Stimmgabel

- a) Um akustische Signale zu analysieren, ist es hilfreich, diese aufzuzeichnen. Die einfachste, mechanische Aufzeichnung erfolgt mit Hilfe einer Stimmgabel, die mit einem Stift versehen ist. Unter der Mine wird mit gleichmäßiger Geschwindigkeit ein Papier durchgezogen, um somit die Schwingung aufzuzeichnen. Hier wird die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit angetragen.

Versuchsteil 2: Aufnahme der Schallwelle einer Stimmgabel

- b) Mit Hilfe der Software Praat kann man am Computer die Schallwellen, die beim Anschlagen einer Stimmgabel erzeugt werden, sichtbar machen. Diese Aufzeichnung wird Oszillogramm genannt und zeigt die Schalldruckänderung über die Zeit.
- c) Lesen Sie die Gebrauchsanweisung für das Software Programm Praat.
- d) Zeichnen Sie gemeinsam mit der grünen Gruppe die 440Hz Stimmgabel mit Praat auf. **Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- e) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei 440Hz?
- f) Füllen Sie gemeinsam den Lückentext im Arbeitsheft aus.

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



- d) Zeichnen Sie gemeinsam mit der grünen Gruppe die 440Hz Stimmgabel mit Praat auf. **Hinweis: Starten Sie die Aufnahme kurz nach dem Anschlagen der Stimmgabel**
- e) Lassen Sie sich das Oszillogramm zu der Aufnahme anzeigen. Ist der „Pitch“ bei 440Hz? ⇨ **siehe Gruppe grün**
- f) Füllen Sie gemeinsam den Lückentext im Arbeitsheft aus.

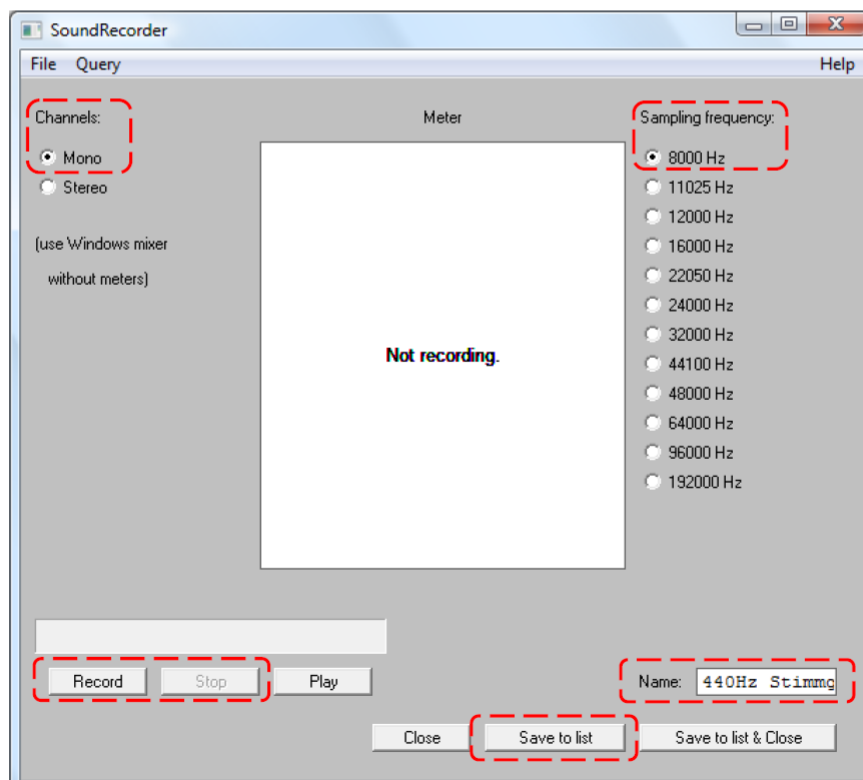
## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### Gebrauchsanweisung von Praat

Das Praat-Hauptfenster sollte bereits geöffnet sein; andernfalls bitten Sie einen Betreuer, dies nachzuholen. Um eine neue Aufzeichnung zu starten, wählen Sie im Praat Hauptfenster „New“ und anschließend „Record mono Sound...“. Es öffnet sich ein neues Fenster. In diesem sollte unter „Channels“ „Mono“ gewählt sein und die „Sampling frequency“ stellen Sie auf 8000Hz ein. Bei Name geben Sie einen sprechenden Namen für die Aufzeichnung ein, z.B. „440Hz Stimmgabel 1“. (Der Name sollte so gewählt werden, dass Sie die Datei später zuordnen können).

Zum Aufnehmen wird der „Record“-Button gedrückt und zum Stoppen wenige (1-2) Sekunden später der „Stop“-Button. Speichern Sie die Aufnahme mit „Save to list“, sie erscheint dann im Praat Hauptfenster unter dem von Ihnen gegebenen Titel. Zur Anzeige der Aufzeichnung gehen Sie zurück ins Hauptfenster, wählen die anzuzeigende Datei aus und „View & Edit“ auf der rechten Seite des Fensters. Es öffnet sich ein neues Fenster mit einem Oszillogramm. Zoomen Sie mit „in“ am linken unteren Fensterrand solange in das Bild hinein, bis Sie im unteren Analysefenster einen blauen horizontalen Streifen sehen, der Ihnen die Frequenz Ihrer Stimmgabel angeben sollte. Dieser Streifen wird als „Pitch“ (Grundfrequenz) bezeichnet.



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache

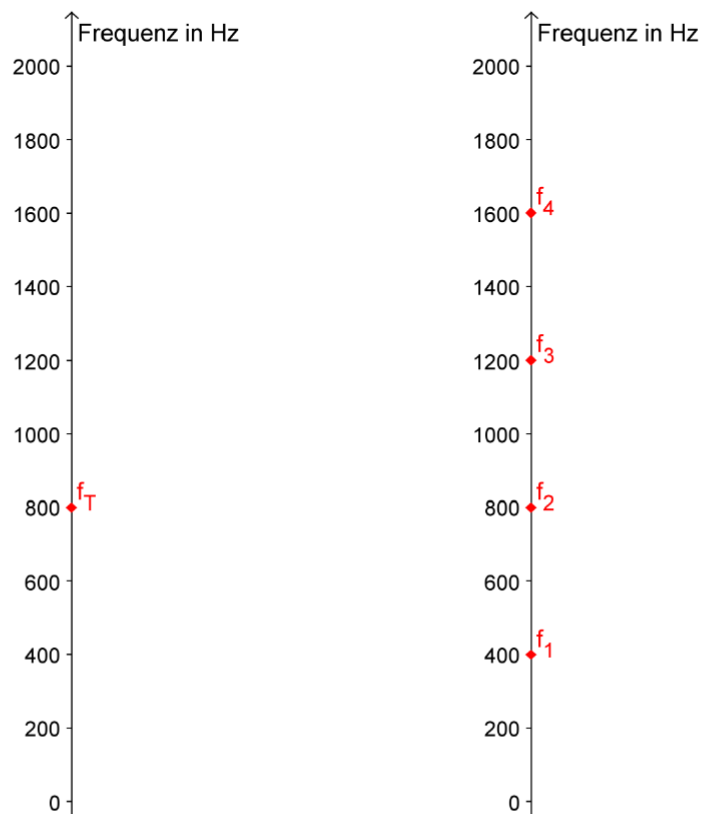


### 2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)

Während die SuS sich mit den Grundlagen für die Aufzeichnung beschäftigen, sollte der Betreuer die Ansicht des Pitchs im Oszillogramm entfernen, da dieser für die folgende Aufnahme nicht mehr benötigt wird und ohne dieses das Oszillogramm größer dargestellt wird, was zur Bearbeitung besser geeignet ist.

Man unterscheidet zwischen vier verschiedenen akustischen Signalen. Das einfachste Schallereignis ist der Ton, der aus nur einer Frequenz besteht. Ein Klang ist eine Zusammensetzung aus verschiedenen Tönen, welche in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. Ton und Klang kann man an der Frequenzskala gut unterscheiden.

*Frequenzdarstellung eines Tons und eines Klangs:*



## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



Die linke Skala zeigt die Frequenz eines **Tons**. Die rechte Skala zeigt die verschiedenen Frequenzen des **Klangs**. Die tiefste Frequenz ist der Grundton, die darüber liegenden Frequenzen sind die Obertöne.

Weitere akustische Signale sind das Geräusch oder auch Rauschen genannt, das ebenfalls aus vielen Tönen besteht, welche jedoch keiner Gesetzmäßigkeit folgen. Beim Knall überlagern sich in einem kurzen Zeitintervall viele verschiedene Töne eines großen Frequenzbereiches.

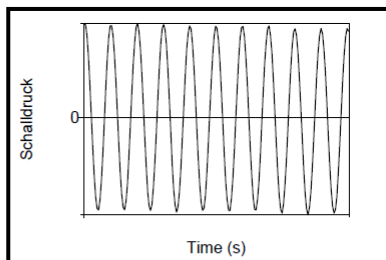
Man kann auch als Betreuer an dieser Stelle einschreiten und nachfragen, welche denn die Grundfrequenz bei oben dargestelltem Klang ist und in welchem ganzzahligen Verhältnis die Obertöne jeweils zum Grundton stehen.

Weiterhin kann man nachfragen, wie die SuS sich ein Oszillogramm eines Geräusches vorstellen

### Darstellung im Oszillogramm:

Die Darstellung im Oszillogramm ist für jedes Schallereignis anders und man kann diese deshalb gut unterscheiden.

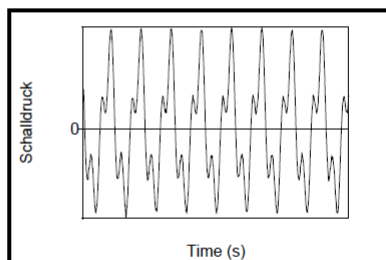
Ein Ton ist eine periodische Schwingung gleichbleibender Amplitude:



Der Begriff Sinusschwingung ist in jüngeren Jahrgangsstufen zu erklären.

Gleichmäßige Schwingung, bei welcher die Auslenkung nach unten und oben stets gleich groß ist und die Abstände nach welchen die Zeitachse geschnitten wird ebenfalls gleich weit voneinander entfernt sind.

Ein Klang ist eine periodische Schwingung unterschiedlicher Amplitude:



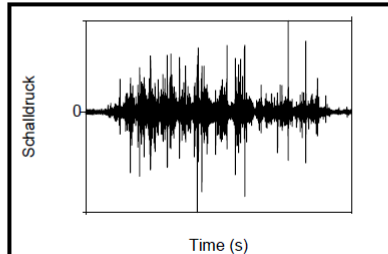
Die Begriffe periodisch und Amplitude sind in jüngeren Jgst. zu erklären.

Periodisch bedeutet zeitlich wiederkehrend. Amplitude ist die größte Auslenkung der Schwingung.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache

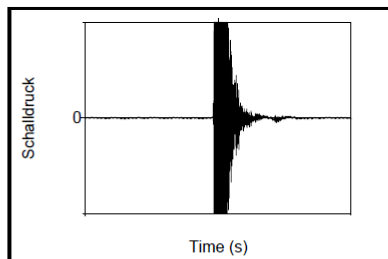


Das Geräusch erkennt man an der Unregelmäßigkeit der Schwingung:



Es ist darauf hin zuweisen, dass trotz eines sehr regelmäßigen Aussehens dieses Geräusches die einzelnen Amplituden in unterschiedlichen zeitlichen Abständen vorkommen und ungleichmäßig über das Schallereignis verteilt sind.

Der Knall zeichnet sich durch eine schnell abklingende Amplitude aus:



Dies ist ein qualitatives Bild eines Knalls, aus welchem die SuS erkennen sollen, dass der Knall schnell abschwächt und am Anfang eine sehr

### *Darstellung von Sprache im Oszillogramm:*

Im Oszillogramm lassen sich in einem Wort oder Satz nur wenige Laute gut voneinander unterscheiden, wenn sie jedoch einzeln nacheinander gesprochen werden, ist dies einfacher.

Die **Plosive** sind im Oszillogramm am besten zu erkennen, **Frikative**, **Nasale** und **Vokale** lassen sich nur durch eine nähere Betrachtung unterscheiden (Auf die Bezeichnungen wird in Station B genauer eingegangen). Im Oszillogramm erkennt man den Plosiv daran, dass die Aufzeichnung einem Knall ähnelt. Frikative sind dagegen geräuschähnlich und die Vokale und Nasale als Klang zu identifizieren.



Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



**Plosiv:** Bei einem Plosiv, hierzu gehören z.B. die Laute [p], [b], [g] und [k], liegt ein vollständiger oraler und nasaler Verschluss vor. Beim Aussprechen kommt es zu einer „Explosion“ im Mundraum.

**Frikativ:** Ein Frikativ wird durch eine zentrale, geräuschverursachende Enge des Mundraumes verursacht, wie es beispielweise bei [f], [s] und [z] der Fall ist.

**Nasale:** Ein Nasal, z.B. [m] und [n] ist gekennzeichnet durch einen totalen oralen Verschluss, wobei die Luft gleichzeitig durch die Nase entweicht.

**Konsonanten:** Die Luft kann nicht ungehindert aus dem Mundraum ausströmen. Hierzu zählen Plosive, Frikative und Nasale.

**Vokal:** Bei einem Vokal kann die Luft ungehindert aus dem Mundraum austreten.

Außerdem lassen sich Unterschiede zwischen **stimmhaften** und **stimmlosen Konsonanten** erkennen. Zur Unterscheidung der Konsonanten kann man die Schwingung der Stimmbänder erspüren, wenn man beim Sprechen die Hand an den Kehlkopf legt, oder man hält sich die Ohren zu und vernimmt somit ein inneres Dröhnen, da der Körper als Resonanzkörper wirkt.

Bei stimmhaften Konsonanten, wozu die Laute [b], [g], [m], [n] und [z] gehören, schwingen die Stimmlippen mit.

Bei stimmlosen Konsonanten, dazu gehören die Laute [p], [k], [f] und [s], vibrieren die Stimmlippen nicht.

Füllen Sie nun gemeinsam mit der anderen Gruppe die Tabelle im Arbeitsheft aus.

## Lehr – Lern – Labor BioPhysik & Sprache



### 3. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)

In diesem letzten Teilbereich soll das Oszillogramm vom Anfang genauer analysiert und die verschiedenen Signale benannt und akustischen Ereignissen zugeordnet werden.

Dies passiert in Form eines Zuordnungsspiels, welches Sie gemeinsam mit der grünen Gruppe bearbeiten.

**Hinweis:** Es gibt drei Karten zum Ton, drei zum Klang, drei zum Geräusch und drei zum Knall. Haben Sie die Karten richtig zugeordnet, ergibt sich auf der Rückseite jeweils ein Lösungswort. ⇒ siehe Gruppe grün

Abschließend werden die Ergebnisse in einer Tabelle zusammengetragen. Beantworten Sie außerdem die zugehörige Frage.

**Arbeitsheft – Lehrerversion:****Lehr – Lern – Labor  
BioPhysik & Sprache****Station C:****Akustische Phonetik: Oszillogramme**

Die Akustische Phonetik beschäftigt sich mit den Schalleigenschaften von lautsprachlichen Äußerungen. Zur Analyse der Schallereignisse, den akustischen Signalen, dienen Oszillogramme, in denen die Veränderung des Schalldrucks über die Zeit angetragen wird. In dieser Station werden zuerst die Auftragung eines Oszillogramms und anschließend die verschiedenen akustischen Signale in ihrer Oszillogramm-Darstellung thematisiert. Im zweiten Teil wird auf die Aufzeichnung von Sprachsignalen eingegangen, um zum Schluss einen Überblick über die akustischen Signale zu haben und die Sprache diesen zuordnen zu können.

**1. Grundlagen der Aufzeichnung (Textarbeit mit Versuch)**

In dieser Teileinheit sollen die Aufzeichnung eines Oszillogramms von der mechanischen hin zur computergestützten Aufzeichnung dargestellt und das Oszillogramm kennengelernt werden.

**Ergebnisse:**

Bei der **mechanischen** Aufzeichnung ist die Auslenkung der Stimmgabel gegen die Zeit aufgetragen. In einem **Oszillogramm** wird die Änderung des Schalldrucks gegen die Zeit dargestellt. Bei der Aufzeichnung mit der Hand schwächt die Auslenkung auf Grund von großer **Reibung** sehr schnell ab. Dieser Effekt ist beim Oszillogramm nur sehr gering.

**2. Verschiedene akustische Signale im Vergleich – Sprachaufzeichnungen (Textarbeit mit Versuch)**

In diesem Teilbereich lernen Sie verschiedene akustische Signale kennen und wie die Sprache anhand des Oszillogramms diesen zu zuordnen ist. Sie sollen verschiedene Laute in einem Oszillogramm erkennen und stimmhafte (sh) und stimmlose (sl) Konsonanten unterscheiden können.

Lehr – Lern – Labor  
**BioPhysik & Sprache**



Ergebnisse:

Laut	sh	sl	Akustische Zuordnung
a			Klangähnlich
b	X		Knallähnlich, jedoch nur mit einem geringen Ausschlag zu Beginn
m	X		Klangähnlich, sehr schöne Schwingung
p		X	Knallähnlich; starker Ausschlag am Anfang der schnell abklingt
s		X	Geräuschähnlich, mit sehr unregelmäßiger Schwingung

**3. Anwendung auf ein komplexes Oszillogramm („Spiel“)**

Nach dem Bearbeiten dieses Teilbereiches sollten Sie einen Überblick über die akustischen Signale und ihre physikalischen Eigenschaften haben und die Sprache diesen zuordnen können.

Ergebnisse:

<b>Begriff</b>	Ton	Klang	Geräusch	Knall
<b>Wichtigste physikalische Eigenschaft</b>	Nur eine Frequenz	Mehrere Frequenzen in ganzzahligem Verhältnis	Viele verschiedene Frequenzen, keine Gesetzmäßigkeit	In einem kurzen Zeitintervall viele Frequenzen eines großen Bereiches
<b>Material oder Objekt</b>	Stimmgabel	Flöte	Papierrascheln	Luftballon zerplatzen

Notieren Sie, warum die Sprache nicht eindeutig einem akustischen Signal zu zuordnen ist.

Sprache lässt sich nicht eindeutig zuordnen, da sie sowohl Geräusche, knallartige Signale und sogar Klänge enthält. Je nach Artikulationsart und -ort und Stimmbeteiligung kommen die unterschiedlichen akustischen Signale zustande.