Johann Wolfgang Goethe-Universität

Frankfurt am Main

Wissenschaftliche Hausarbeit im Rahmen der Ersten Staatsprüfung für das Lehramt an Grundschulen im Fach **Sachunterricht**, eingereicht der Hessischen Lehrkräfteakademie - Prüfungsstelle Frankfurt -.

Thema:

Schülerlabor zum Schall für den Sachunterricht

Verfasserin: Tabea Hautz

Gutachter: Prof. Dr. Thomas Wilhelm

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung **1**

Teil 1: theoretische Grundlagen

2. Außerschulische Lernorte **4**

2.1 Zur Entwicklung außerschulischer Lernorte 4

2.2 Begriffserklärung und Kategorisierung außerschulischer Lernorte…….…5

2.3 Methodische und didaktische Möglichkeiten des außerschulischen Lernen…..……..…7

2.4 Einsatz in der Grundschule…….…….8

2.5 Möglichkeiten und Grenzen des außerschulischen Lernens 10

3. Schülerlabore……...……...…….**11**

3.1 Ablauf im Schülerlabor……..…….……..12

3.2 Leitziele des Schülerlabors…….……..…….13

3.3 Kategorisierung der Schülerlabore……...…….……14

3.4 Wirksamkeit von Schülerlaboren……..……..……..15

4. Forschend-Entdeckendes Lernen……..……**16**

4.1 Experimentieren……...…….18

4.1.1 Der Experimentierzyklus…….18

4.1.2 Beobachten als Grundlage zum Experimentieren……..…….20

4.2 Klassifikation von physikalischen Schulexperimenten…….21

4.3 Freihandexperimente…….22

4.4 Schülerexperimente und ihre Leitziele……..23

4.5 Wirksamkeit……..24

4.6 Offenes Experimentieren……..25

Teil 2: Sachanalyse und Schülervorstellungen zum Thema Schall

5. Schall……...…….**26**

5.1 Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen……26

5.2 Frequenzbereiche……..27

5.3 Ton, Geräusch, Klang, Knall……28

5.4 Schallfeld……..30

5.5 Schallsender……..32

5.6 Schallempfänger……36

5.7 Lautstärke und Lärm……38
5.8 Erscheinungen der Schallausbreitung……..39
5.8.1 Reflexion……40
5.8.2 Brechung……40
5.8.3 Beugung……41
5.8.4 Absorption und Dissipation……...42
6. Schülervorstellungen im Unterricht……42
6.1 Schülervorstellungen zum Schall……44

Teil 3: Entwicklung des Schülerlabors

7. Didaktische Überlegungen zum Schülerlabor Schall…..……46
7.1 Bezug zum Lehrplan……46
7.2 Überfachliche Kompetenzen……47
7.3 Perspektivrahmen……..49
7.4 Lebensweltbezug und Lernvoraussetzungen……50
7.5 Didaktische Reduktion……51
8. Methodische Überlegungen zum Schülerlabor Schall……..……..53
8.1 Ablauf des Schülerlabors……53
8.2 Organisation des Lernortes……..53
8.3 Konstruktion von Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht……...54
8.4 Differenzierung……55
8.5 Sozialform……56
8.6 Stationenarbeit……..58
8.7 Überprüfung und Bewertung des Lernprozesses……...59
9. Experimentierheft……...60
9.1 Aufbau……...60
9.2 Differenzierungsmöglichkeiten……..…62
10. Die Experimente und Stationen des Schülerlabors……..62
10.1 Station 1: Schall erzeugen und wahrnehmen……63
10.1.1 Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang……..63
10.1.2 Experiment 1b: Wir erzeugen Schall……...64
10.1.3 Experiment 1c: das Gläserrätsel……..65
10.2 Station 2: Schall durch Schwingungen……...66
10.2.1 Experiment 2a: das schwingende Lineal……66
10.2.2 Experiment 2b: die kitzelnde Stimmgabel……...67

10.2.3 Experiment 2c: die Dosengitarre……...69
10.2.4 Experiment 2d: die Triangel……..70
10.3 Station 3: Wie breitet sich Schall aus?.....71
10.3.1 Experiment 3a: der wandernde Ton……71
10.3.2 Experiment 3b: tanzende Körner……72
10.3.3 Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?.....73
10.3.4 Experiment 3d: das Dosentelefon……...73
10.4 Sternen-Station……..74
10.4.1 Richtungshören……...75
10.4.2 Unser Ohr……75

Teil 4: Auswertung und Reflexion des Schülerlabors

11. Auswertung und Reflexion des Schülerlabors……..……**76**
11.1 Lerngruppenanalyse……77
11.2 Zeitmanagement……...78
11.3 Partnerarbeit……79
11.4 Differenzierung……80
11.5 Auswertung der einzelnen Stationen……81
11.5.1 Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang……...81
11.5.2 Experiment 1b: Wir erzeugen Schall……81
11.5.3 Experiment 1c: das Gläserrätsel……82
11.5.4 Experiment 2a: das schwingende Lineal……83
11.5.5 Experiment 2b: kitzelnde Stimmgabel……84
11.5.6 Experiment 2c: die Dosengitarre……85
11.5.7 Experiment 2d: die Triangel……...……86
11.5.8 Experiment 3a: der wandernde Ton……88
11.5.9 Experiment 3b: tanzende Körner……89
11.5.10 Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?.....90
11.5.11 Experiment 3d: das Dosentelefon……...90
11.5.12 Sternen-Station……...91

12. Fazit……..**92**
13. Literaturverzeichnis……..……**94**
14. Quellenverzeichnis…….……**98**
15. Abbildungsverzeichnis……..….**99**

16. Tabellenverzeichnis…….……**100**

Anhang……**101**

Eigenständigkeitserklärung……...**148**

1. Einleitung

Das Fach Sachunterricht und das damit verbundene sachunterrichtliche Lernen trägt zur grundlegenden Bildung von Grundschüler*innen bei. Damit leistet der Sachunterricht einen Beitrag zur Identitätsbildung der Kinder und dem Erlernen von verantwortungsbewussten Handlungsweisen sowie einem bewussten Umgang mit der Umwelt (vgl. Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU) 2013: 9). Durch seine Vielseitigkeit unterstützt der Sachunterricht die Lernenden, sich in ihrer sozialen, kulturellen, naturwissenschaftlichen und technischen Umwelt orientieren zu können und darin mitzuwirken. Der Sachunterricht ist Teil eines umfangreichen Lernprozesses und ermöglicht die Entwicklung verschiedener Kompetenzen und Kenntnisse als Basis zum weiterführenden Lernen (vgl. GDSU 2013: 9f). Das sachunterrichtliche Lernen basiert auf den lebensweltlichen Erfahrungen der Schüler*innen, mit dem Ziel diese zu erweitern. Die Lernenden sollen die Inhalte nicht nur verstehen, sondern auch mit ihrem Alltag verknüpfen, sie reflektieren und umsetzen können (vgl. ebd.: 10). Durch den Sachunterricht wird demnach „systematisches, reflektierendes und nachhaltiges Lernen“ (GDSU 2013: 10) ermöglicht. Damit die Schüler*innen ihre Welt erschließen können, sollten sie mit vielen naturwissenschaftlichen und technischen Phänomenen konfrontiert werden. Dadurch machen sie praktische Erfahrungen im Umgang mit ihrer Umwelt. Dazu tragen besonders handlungsorientierte, explorierende und forschende Handlungsweisen bei (vgl. Giest 2009: 17), welche sowohl im Unterricht als auch an außerschulischen Lernorten gefördert werden können. Letztere ermöglichen die direkte Begegnung mit den Inhalten des Unterrichts innerhalb authentischer Situationen und machen die Lerninhalte dadurch greifbarer (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 17). Das außerschulische Lernen fördert den lebensweltbezogenen Wissensaufbau sowie nachhaltiges, vernetztes Wissen (vgl. ebd.: 17). Schülerlabore stellen einen äußerst beliebten außerschulischen Lernort dar. Sie bieten eine motivierende Lernatmosphäre zur Interesseförderung der Schüler*innen für naturwissenschaftlich-technische Inhalte. Durch eigenständiges Experimentieren ermöglicht sie sachunterrichtliches Lernen (vgl. Plasa 2013: 9).

Die folgende Arbeit befasst sich mit der Entwicklung und Auswertung eines Schülerlabors zum Thema *Schall*. Die Motivation, mich mit diesem Thema zu beschäftigen, liegt vor allem in meinem Interesse für das Fach Sachunterricht. Bereits in der Grundschule konnte ich mich dafür begeistern und auch in meinem Studium

hatte ich die Möglichkeit, mich als zukünftige Lehrkraft in diesem Fach didaktisch und fachlich ausbilden zu lassen. Während Praktika und meiner Tätigkeit als U+-Kraft konnte ich feststellen, dass der Sachunterricht der Grundschule zum Teil sehr eintönig ist und wenig exploratives und selbstständiges Handeln der Schüler*innen beinhaltet. Gerade der 45-Minuten-Takt des Unterrichts macht dies aufgrund anfallender Aufgaben nicht möglich. Schülerlabore ermöglichen eine intensive Auseinandersetzung mit dem Thema und bieten dabei viele Handlungsspielräume zum aktiven Experimentieren. Das Ziel dieser Arbeit ist es, das Thema Schall abwechslungsreich und motivierend aufzubereiten, sodass daraus ein für Lernende ansprechendes Schülerlabor und Experimentierheft entsteht.

Die folgende Arbeit unterteilt sich in insgesamt vier Teile. Im ersten Teil befasse ich mich mit den theoretischen Grundlagen der Arbeit. Dabei gehe ich auf außerschulische Lernorte (Kapitel 2) allgemein und Schülerlabore (Kapitel 3) ein. Beide Begriffe werden erklärt und ihre Wichtigkeit für sachunterrichtliches Lernen hervorgehoben. Daraufhin folgt ein Einblick in den Ansatz des entdeckend-forschenden Lernens (Kapitel 4). Wichtige Arbeitsweisen des Schülerlabors wie das Experimentieren und Beobachten werden hier didaktisch und methodisch betrachtet.

Der zweite Teil widmet sich der Sachanalyse (Kapitel 5) des physikalischen Themas Schall. Diese Sachanalyse bildet die fachliche Grundlage für das Schülerlabor, welches den Lernenden in didaktisch reduzierter Form präsentiert wird. Hierzu werde ich zunächst auf die Entstehung und Ausbreitung von Schallwellen eingehen, um dann die Schallwahrnehmung und die verschiedenen Schalleindrücke beschreiben zu können. Danach folgt ein Einblick in die verschiedenen Schallfeldgrößen, welche das Schallfeld beschreiben. Anschließend werden unterschiedliche Schallsender und der Schallempfänger – das Ohr – behandelt. Abschließend gehe ich auf verschiedene Erscheinungen des Schalls ein. In Kapitel 6 werden die Schülervorstellungen zum Thema Schall beschrieben.

Der dritte Teil der Arbeit enthält die didaktischen (Kapitel 7) und methodischen Überlegungen (Kapitel 8) zur Entwicklung des Schülerlabors. Diese Überlegungen bilden den Rahmen des Schülerlabors. So werden das Schülerlabor und das Thema Schall in die curricularen Vorgaben und den Perspektivrahmen eingeordnet. In Kapitel 8 werden Überlegungen zur Umsetzung des Schülerlabors bezüglich der Sozialform, der Differenzierung, der Organisation und der Konstruktion von Aufgaben formuliert.

In Kapitel 9 wird der Aufbau des Experimentierheftes und in Kapitel 10 die entsprechenden Experimente und Aufgaben erklärt.

Im vierten Teil der Arbeit werden die Erkenntnisse aus der Erprobung des Schülerlabors ausgewertet und reflektiert (Kapitel 11). Dabei gehe ich auf das Zeitmanagement, die Partnerarbeit sowie die Differenzierungsmaßnahmen ein. Danach werte ich jedes Experiment mithilfe von Schülerantworten aus und nenne Vorschläge zur Verbesserung.

Die Arbeit schließt mit einem Fazit (Kapitel 12) ab.

Teil 1: theoretische Grundlagen

2 Außerschulische Lernorte

Schülerlabore zählen zu den außerschulischen Lernorten, die eine wichtige Lerngelegenheit darstellen. Im Folgenden wird deshalb auf die Theorie und Praxis außerschulischer Lernorte als Lerngelegenheit außerhalb der Institution Schule eingegangen.

2.1 Zur Entwicklung außerschulischer Lernorte

Die Etablierung außerschulischen Lernens wird bereits Mitte des 17. Jahrhunderts durch den Pädagogen Johann Comenius beschrieben. Er betont die Wichtigkeit, das Wissen nicht nur aus Büchern zu erlangen, sondern aus der realen Begegnung mit dem Lerninhalt selbst (vgl. Dühlmeier 2010: 7). Rousseau spricht sich Mitte des 18. Jahrhunderts für ein erfahrungsorientiertes Lernen durch das Prinzip des Entdeckens aus (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 435). Im 19. Jahrhundert entwickelt der Pädagoge Friedrich August Finger einen Heimatkundekurs mit der Methodik des Anschauungsunterrichts und einem peripatetischen Teil. Dieser Teil, bestehend aus Exkursionen und Lehrwanderungen, soll den Lernenden den geografischen Lebensraum durch unmittelbare Begegnungen zugänglich machen (vgl. Dühlmeier 2010: 8).

Trotz dieser langen Historie kann ein Aufschwung des außerschulischen Lernens erst im Zuge der Reformpädagogik im 20. Jahrhundert festgestellt werden. Die reformpädagogischen Leitprinzipien, „der Lebensnähe schulischen Unterrichts, des ganzheitlichen Lernens und der Erlebnisweckung sowie des handelnden Umgangs mit den Sachen“ (Brade/Dühlmeier 2015: 435), lassen sich nahtlos auf die Didaktik außerschulischer Lernorte übertragen. In den 1950er-Jahren entwickelte sich der Sachunterricht mit neuem methodischem Aufbau in drei Ebenen, die Sachbegegnung, -durchdringung und -verarbeitung. Die Sachbegegnung bestand dabei hauptsächlich aus verschiedenen Unterrichtsgängen, um in natürlichen Situationen außerhalb der Schule lernen zu können (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 435). Das sich um 1970 etablierende Konzept der Öffnung der Schulen beschreibt neben der Öffnung nach

innen, in Form des offenen Unterrichts, auch die nach außen gerichtete Öffnung. Durch außerschulisches Lernen wird so an die Lebenswelt der Schüler*innen angeknüpft (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 435f).

Im aktuellen hessischen Leitfaden für den Sachunterricht der Primarstufe kommt den außerschulischen Lernorten ebenfalls Bedeutung zu. Sie werden hier als Beispiel zur Gestaltung unterschiedlicher Lernwege und Lehr-Lernprozesse genannt (vgl. Hessisches Kultusministerium o.J. a: 7). Besondere Aktualität weist außerschulisches Lernen vor allem wegen der Forderung nach dem Lebensweltbezug im Unterricht sowie die Möglichkeit der Interessens- und Motivationsförderung auf (vgl. Baar/Schönknecht 2018: 12).

2.2 Begriffsklärung und Kategorisierung außerschulischer Lernorte

„Prinzipiell kann jeder Ort ein Lernort sein, wenn er Möglichkeiten des Entdeckens, des Fragens, des Forschens und Erfahrens enthält“ (Brade/Dühlmeier 2015: 434).

So gesehen ist der Lernort Schule nur ein Knotenpunkt eines Geflechts möglicher Lernorte. Sauerborn und Brühne (vgl. 2012: 27) schreiben, dass „außerschulisches Lernen […] die originale Begegnung im Unterricht außerhalb des Klassenzimmers“ (Sauerborn/Brühne 2012: 27) beschreibt. Von den außerschulischen Begegnungen kann vor allem das schulische Lernen profitieren, indem die Lebenswelt erschlossen und die eigene Person reflektiert wird. Außerdem können gemachte Erfahrungen in das Lehren und Lernen innerhalb des Unterrichts eingebettet werden (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 434).

Brade und Dühlmeier (vgl. 2015: 434) unterscheiden zwischen primären und sekundären Lernorten. Zielsetzung *primärer Lernorte* sind das Ermöglichen und Unterstützen der Lernprozesse. Sie unterteilen sich in verschiedene Lernbereiche unterschiedlicher pädagogischer Angebote (vgl. 2015: 434). *Sekundäre Lernorte* sind Orte, an denen das Lernen keine primäre Aufgabe ist. „Erst durch die planvolle und intentionale Inanspruchnahme für Lernprozesse“ (Brade/Dühlmeier 2015: 434) entstehen dort *sekundäre Lernorte.* Lernorte können zu sogenannten *Lernstandorten* werden, indem sie pädagogisch und didaktisch aufbereitet werden, als Ziel die Anregung von Lernprozessen verfolgen und für eine längere Zeit angeboten werden (vgl. Dühlmeier 2010: 17). Schülerlabore, die in der Regel über eine gewisse Dauer an

Standorten wie beispielsweise einer Universität angeboten werden, sind solche Lernstandorte.

Die Lernorte lassen sich nach ihrer Lernstruktur in gebundene und freie Lernorte kategorisieren. *Freie Lernorte*, wie beispielsweise der Wald, können selbstständig von den Lernenden erschlossen und entdeckt werden. *Gebundene Lernorte* wie Museen hingegen zeichnen sich eher durch ihre Passivität und Belehrung aus (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 86). Letztere müssen demnach von der Lehrkraft so aufbereitet werden, dass wichtige Inhalte erschlossen und reflektiert werden können (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 434).

Außerschulische Lernorte lassen sich zudem in mittelbare und unmittelbare Lernorte unterteilen. Wo Schüler*innen an *unmittelbaren Lernorten* realen Sachverhalten und Phänomenen begegnen, werden sie an *mittelbaren Lernorten* mit den Lerngegenständen durch verschiedene Medien konfrontiert, so auch im Schülerlabor (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 17).

Das außerschulische Lernen kann ferner nach seinem Bezug zur Schule kategorisiert werden. *Schulbezogene außerschulische Lernorte* sind von der Lehrperson organisierte Lernprozesse, welche außerhalb der Schule stattfinden (vgl. Baar/Schönknecht 2018: 17). *Schulkomplementäre außerschulische Lernorte* sind fachbezogene Einrichtungen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie ein Lernangebot zur Verfügung stellen, welches am Lernort Schule so nicht möglich wäre (vgl. ebd.: 17).

Des Weiteren kann eine Differenzierung in außerschulische Lernorte *mit Bildungsauftrag*, beispielsweise Museen und Rathäuser, und *ohne Bildungsauftrag*, wie zum Beispiel der Wald, erfolgen (vgl. Baar/Schönknecht 2018: 17f). Dabei kann zudem zwischen Lernorten mit und ohne angebotenem methodisch-didaktischem Konzept unterschieden werden (vgl. ebd.: 17f). Es sind außerdem verschiedene Bereiche des außerschulischen Lernens zu unterscheiden: „Orte der Natur […], Orte der Kultur […], Orte der Arbeitswelt […], Orte des gesellschaftlichen und politischen Zusammenlebens […]“ (Baar/Schönknecht 2018: 21). Die verschiedenen Lernorte sind nicht trennscharf voneinander abzugrenzen. So können an einem Lernort mehrere Bereiche aufeinandertreffen, weshalb auch stets alle Perspektiven des Lernortes betrachtet werden sollten (vgl. Baar/Schönknecht 2018: 21).

Es kann jeder Ort ein Lernort werden, wenn er pädagogisch sinnvoll von beiden Parteien - Lernenden und Lehrenden – genutzt wird. Nur dann bieten außerschulische Lernorte Möglichkeiten zur vielseitigen Kompetenzentwicklung und dem Aufbau nachhaltigen Wissens (vgl. Baar/Schönknecht 2018: 21f).

2.3 Methodische und didaktische Möglichkeiten des außerschulischen Lernens

Die didaktischen Überlegungen sollten stets vom erwarteten Lernzuwachs der Lernenden und dem Erreichen der gesetzten Lernziele ausgehen. Das didaktische Potenzial eines Lernortes sollte vorab von der Lehrkraft erschlossen werden, indem der Ort besucht wird, sich die Lehrkraft mit fachkundigem Personal austauscht und verschiedene Perspektiven des Lernortes erforscht (vgl. Dühlmeier 2010: 31f). Am sinnvollsten ist der Besuch des außerschulischen Lernortes vor allem als Einstieg in den Lerninhalt oder während der Einheit, da so das entdeckende Lernen ermöglicht wird (vgl. ebd.: 31-33). Aber auch zum Überprüfen oder Reflektieren des bereits erlernten Wissens kann sich ein solcher Besuch eignen. Vor jedem Besuch ist eine didaktische Planung in Form der ausführlichen Vorbereitungs-, Durchführungs- und Auswertungsphase nötig. Zur Vorbereitungsphase gehören vor allem methodische Überlegungen (vgl. ebd.: 33-35).

Sauerborn und Brühne (vgl. 2012: 31) beschreiben eine Unterteilung der Unterrichtsmethodik in *Makro-, Meso- und Mikromethoden*. *Makromethoden* beschreiben methodische Großformen wie die Projektarbeit oder Experimente. *Mesomethoden* hingegen beziehen sich auf die Sozial- und Aktionsformen des Unterrichts (vgl. ebd.: 31). Die *Mikromethoden* sind die Inszenierungstechniken der Lehrkraft und die Handlungstechniken der Lernenden. Ein außerschulischer Lernort stellt in diesem Sinne eine methodische Großform auf der Makroebene dar. Außerschulische Lernorte können sich durch ihre Aktionsformen unterscheiden (vgl. ebd.: 31f). Diese Aktionsformen vermitteln auf unterschiedliche Art Lerninhalte und verlangen im Zuge des Lernprozesses verschiedene Handlungen der Lehrenden und Lernenden. Sie bestimmen die Handlungsebene, wohingegen die Sozialform die soziale Ebene des Lernortes bestimmt (vgl. ebd.: 31f).

Mögliche Sozialformen sind die Einzelarbeit und Partner- oder Gruppenarbeit. Die Einzelarbeit ermöglicht eine individuelle Differenzierung und Förderung der

Schüler*innen und kann ihre Konzentrationsfähigkeit verbessern (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 64f). Allerdings können dadurch keine sozialen und kommunikativen Kompetenzen gefördert werden, weshalb eine komplette Isolation stets gemieden werden sollte. Besser eignen sich daher Partner- und Gruppenarbeitsphasen (vgl. ebd.: 64f). Dabei können sich die Schüler*innen miteinander über die Aufgaben und Probleme austauschen und sich gegenseitig unterstützen (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 67f). Sie kommunizieren miteinander über die Inhalte und lernen dabei, die eigene Meinung zu reflektieren und die Meinung anderer anzunehmen. Nach Sauberborn und Brühne (vgl. 2012: 67f) regt die Gruppen- und Partnerarbeit das kreative Denken an, was sich wiederum positiv auf die eigene Selbstwahrnehmung auswirken kann. Bei der Gruppenbildung von Klassen mit Disziplinschwierigkeiten kann es sinnvoll sein, sich vor dem Besuch des außerschulischen Lernortes Gedanken über die Gruppenbildung zu machen und diese wenn möglich lernzielgesteuert vorzugeben (vgl. ebd.: 67f). So hat man die Möglichkeit der inneren Differenzierung und kann dadurch Problemen vorbeugen. Aber auch ohne solche Probleme kann eine Gruppenzuweisung sinnvoll sein, wenn die Klasse sehr heterogen bezüglich der Leistungen ist. Dabei sollte den Lernenden ein Mitspracherecht eingeräumt werden (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 67).

Mikromethoden können ebenfalls je nach außerschulischem Lernort und Lernziel gewählt werden. Auch diese Methoden sollten vorab gut von der Lehrkraft durchdacht werden. Die Lehrkraft sollte sich im Klaren darüber sein, in welchen Teilen sie eine direkte oder indirekte Rolle einnimmt und mit welchen Arbeitsmethoden die Schüler*innen lernen sollen (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 63). Nach der Durchführungsphase unter Beachtung der oben genannten methodischen Planung folgt die Auswertungsphase, um das außerschulische Lernen zu reflektieren. Die Lernenden können die Inhalte und ihre Notizen präsentieren und besprechen. Aber auch zur Klärung von Fragen und Problemen sollte Zeit eingeplant werden (vgl. Dühlmeier 2010: 35).

2.4 Einsatz in der Grundschule

Da das Ziel dieser Arbeit die Entwicklung eines Schülerlabors für den Sachunterricht der Primarstufe ist, ist es an dieser Stelle wichtig auf die Besonderheiten des außerschulischen Lernens in der Grundschule einzugehen.

Aufgrund der zunehmend starken Abhängigkeit von digitalen Medien wird bei Kindern vom Verlust von Primärerfahrungen in ihrer Lebenswelt gesprochen (vgl. Sauerborn/Brühne 2010: 36). Außerschulische Lernorte können durch handlungsorientierte und alltagsbezogene Begegnungen an die Lebenswelt der Schüler*innen anknüpfen, sie erweitern und so auf den Alltag vorbereiten (vgl. ebd.: 36). Aufgrund des verstärkt handlungsorientierten Unterrichts der Grundschule, unterscheidet sich außerschulisches Lernen für junge Schüler*innen nicht zu sehr vom bekannten Unterricht. Die Kinder beherrschen bereits wichtige Kompetenzen, wodurch ihnen das Handeln an außerschulischen Lernorten leichter fallen kann (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 36). Außerschulisches Lernen in der Grundschule ist vor allem im Sachunterricht sinnvoll, sollte aber auch fächerübergreifend realisiert werden (vgl. ebd.: 36). Aufgrund des Fachunterrichts, der in der Grundschule hauptsächlich vom Klassenlehrer unterrichtet wird, kann das außerschulische Lernen oft zeitlich flexibler und problemlos fächerübergreifend geplant werden. Allerdings können Probleme bezüglich der individuellen Lernvoraussetzungen der Schüler*innen auftreten (vgl. ebd.: 36). Hier sollte stets situationsbezogen geplant werden.

Ebenfalls zu bedenken ist der zeitliche Rahmen des außerschulischen Lernens. So sollten kürzere Phasen gewählt werden. Ist dies wie beispielsweise im Schülerlabor nicht realisierbar, so sollte man genügend Pausen einplanen (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 36f). Die Planung des Unterrichts sollte auch für die Grundschule im didaktischen Dreischritt erfolgen, um die gesetzten Lernziele zu erreichen. Außerdem sollten die Lernorte nach ihrer Systematisierung für den Zweck des außerschulischen Lernens ausgesucht werden (vgl. ebd.: 36-41). Ferner gilt, dass offene Lernsettings mehr Möglichkeiten zur Differenzierung bieten, allerdings auch aufwendiger und sorgfältiger angeleitet und geplant werden müssen (vgl. ebd.: 41). Auch die Rolle der Lehrkraft sollte zuvor bedacht werden, da Grundschüler*innen „in der Regel ein höheres Maß an Anleitung, Absicherung und Betreuung“ (Sauerborn/Brühne 2012: 41) benötigen. Außerschulische Lernorte schrecken Lehrkräfte häufig aufgrund der aufwendigen Planung und des Verhaltens der Schüler*innen vor allem in großen Klassen ab (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 42). Im Schülerlabor fällt zumindest die zeitaufwendige Planung der Durchführungsphase weg, da diese bereits didaktisch aufbereitet sind. Kleingruppen machen die Arbeit auch in Klassen mit Disziplinschwierigkeiten möglich.

2.5 Möglichkeiten und Grenzen des außerschulischen Lernens

Wie bereits beim Einsatz in der Grundschule angesprochen, bringt das außerschulische Lernen verschiedene Möglichkeiten und Grenzen mit sich. Aus lernpsychologischer Perspektive kann Lernen nur ermöglicht werden, wenn etwas intensiv und aufmerksam wahrgenommen wird (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 436). Im Fall des außerschulischen Lernens werden die Schüler*innen mit dem Lerninhalt konfrontiert, ihr Interesse geweckt und dadurch aktiv motiviert (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 436). Es werden tiefgreifende Lernprozesse ermöglicht und das neue Wissen direkt in verschiedenen Anwendungssituationen mit Lebensweltbezug verinnerlicht, statt an schulische Aufgaben ohne Bezug gebunden zu sein (vgl. ebd.: 436).

Außerschulisches Lernen wirkt so dem trägen Wissen, also der fehlenden Verbindung von Schulwissen und Lebensweltbezug, entgegen. Außerschulische Lernorte zeichnen sich deshalb vor allem durch ihre Lebensnähe aus (vgl. Dühlmeier 2010: 23f). Die Kinder erhalten einen didaktisch nicht vorgefilterten Eindruck durch das reine Beobachten der Umgebung und das Treffen auf Experten (vgl. ebd.: 27). Durch diese Begegnungen entsteht eine fragende Haltung der Schüler*innen bezüglich ihrer Umwelt, die sie so für sich erschließen können. So ergeben sich durch das aktive Erleben und Erschließen des Lerninhaltes viele schulpädagogische Chancen für die Lernenden (vgl. ebd.: 27). Durch den Austausch über das Erlebte und das Lösen von Aufgaben und Problemen in Gruppen werden die kommunikativen Kompetenzen und das soziale Lernen gefördert (vgl. Dühlmeier 2010: 27f). Zudem wenden die Schüler*innen neue Methoden von der Vorbereitung über die Bearbeitung am Lernort bis hin zur Präsentation der Ergebnisse an (vgl. ebd.: 27f). Die starke Handlungsorientierung der Lerninhalte vor Ort macht diese für die Schüler*innen greifbarer. Die Lernenden haben die Möglichkeit, ihr Umfeld selbstständig und forschend zu entdecken (vgl. Dühlmeier 2010: 28; Sauerborn/Brühne 2012: 17). Auch das vernetzte Denken in mehrperspektivischen oder fächerübergreifenden Lernortsettings sowie das Erfahren der Lerninhalte durch verschiedene Sinneseindrücke ermöglicht einen lebensweltbezogenen Wissensaufbau im Langzeitgedächtnis der Schüler*innen (vgl. Sauerborn/Brühne 2012: 17).

Trotz der vielen Vorteile haben sich außerschulische Lernorte noch nicht als gängige Unterrichtsmethode etabliert. Denn außerschulisches Lernen muss didaktisch vor- und nachbereitet sowie organisiert werden, was mit einem hohen zeitlichen Aufwand

verbunden sein kann (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 437). Zudem befürchten viele Lehrkräfte, dass ihr Fachwissen den möglichen Fragen am Lernort nicht gerecht wird. Außerdem kann es zur Überforderung der Lernenden kommen, wenn das individuelle Vorwissen nicht ausreicht oder sie nicht genügend vorbereitet wurden (vgl. ebd.: 437). Des Weiteren können „am Lernort […] wesentliche und unwesentliche Lerngelegenheiten nebeneinander“ (Brade/Dühlmeier 2015: 437) existieren, weshalb sich die Schüler*innen womöglich auch auf nicht vorgesehene Inhalte konzentrieren. Ebenfalls möglich ist es, dass die Lernenden am außerschulischen Lernort nicht so viel forschen und handeln können, wie zuvor gedacht (vgl. 2015: 437).

Außerschulische Lernorte unterstützen das schulische Lernen und sie ermöglichen den Aufbau eines nachhaltigen Wissens durch ihren Lebensweltbezug. Wird das Potenzial der Lernorte genutzt, so können zudem die Sozialkompetenzen der Lernenden und ihr Selbstbild durch das gemeinsame Erschließen ihrer Welt aufgebaut werden (vgl. Brade/Dühlmeier 2015: 440).

3 Schülerlabore

Schülerlabore sind schulkomplementäre außerschulische Lernorte (vgl. Kap. 2.2), an denen Schüler*innen sich anhand von Experimenten naturwissenschaftliches Wissen erschließen können. Es sind Lernstandorte, also dauerhafte außerschulische Lernorte, zur experimentellen Auseinandersetzung mit den MINT-Fächern (Mathematik, Informatik, Natur- und Technik) (vgl. Plasa 2013: 9). Schülerlabore bieten eine motivierende Lernatmosphäre mit dem Ziel, das Interesse und fachliche Wissen der Schüler*innen in ebendiesen Fächern zu fördern (vgl. ebd.: 9). Es werden durch originale Begegnungen mit dem Lerngegenstand - in Form des Experimentierens und Forschens - lebensweltliche Bezüge hergestellt.

Wo es um 2000 bloß etwa 60 Schülerlabore deutschlandweit gab, sind es heute über 380 (vgl. Bundesverband für Schülerlabore e.V. o.J.). Diesen Aufschwung erhielt der außerschulische Lernstandort aufgrund der Feststellung mangelnder Testergebnisse im internationalen Vergleich (TIMSS und PISA) deutscher Schüler*innen sowie dem geringen Interesse an Berufen und Ausbildungen im naturwissenschaftlichen Bereich (vgl. Plasa 2013: 8f). Sie stellen demnach eine aktuell sehr gefragte Methode zur Förderung naturwissenschaftlicher Lernprozesse dar, denn „die Grundidee der Labore,

Wissenschaft durch erfahrungsbasierte Zugänge erlebbar zu machen, die so weit als möglich auf eigenständigen experimentellen Tätigkeiten und Projekten aufbauen, hat sich als tragfähig und höchst erfolgreich erwiesen“ (Euler/Schüttler 2020: 130).

3.1 Ablauf im Schülerlabor

Aufgrund der aktuellen Beliebtheit der Schülerlabore sind die Wartezeiten zumeist sehr lang. So sollte man seine Klasse schon einige Monate vor dem angedachten Besuchstermin anmelden. Zudem müssen die An- und Abreise sowie die Freistellung aller Stunden des Schultages von der Lehrkraft organisiert werden (vgl. Plasa 2013: 10-12). Je nach Art des Schülerlabors wird die Lehrkraft vor dem Besuch gebeten, die Schüler*innen thematisch vorzubereiten, sodass diese bereits über Grundlagenwissen verfügen. Andere Schülerlabore dienen als Einstieg in das naturwissenschaftliche Thema und benötigen daher keinerlei Vorbereitung (vgl. Plasa 2013: 10-12).

Im Schülerlabor angekommen erfolgt zunächst eine Einführung. Die Betreuer stellen sich und die Fragestellung des Schülerlabors vor und geben den Lernenden eine Sicherheitsunterweisung (vgl. Plasa 2013: 12). Nach möglichen Einführungsexperimenten kann das selbstständige Experimentieren beginnen. Strukturierte und offene Anleitungen sowie Abläufe finden die Lernenden im zur Verfügung gestellten Aufgabenmaterial (vgl. ebd.: 12). Die Experimente sind entweder an verschiedenen Stationen aufgebaut oder die entsprechenden Materialien werden bereitgestellt und müssen selbst organisiert werden. Das Experimentieren erfolgt zumeist in Kleingruppen (vgl. ebd.: 12). Der Ablauf des Labortages teilt sich in verschiedene Experimentierphasen mit ausreichend langen Pausen. Dabei profitiert das Schülerlabor vor allem von der freien Zeitplanung. Die Bearbeitung der Inhalte ist nicht an eine Unterrichtsstunde von 45 Minuten gebunden (vgl. Plasa 2013: 12).

Nach der letzten Experimentierphase sammeln sich alle Lernenden in einer Reflexionsrunde, um über den Labortag zu sprechen und abschließende Fragen auszuräumen (vgl. Plasa 2013: 12). Im Unterricht sollten der Besuch und die gesammelten Erkenntnisse des Schülerlabors reflektiert werden. Auf die Experimente und das neue Wissen sollte eingegangen und die Lerninhalte vertieft oder erweitert werden (vgl. ebd.: 12).

3.2 Leitziele des Schülerlabors

Schülerlabore können sich vor allem in ihrem Schwerpunkt und der didaktischen Konzeption unterscheiden (siehe Kapitel 3.3). Ihre gemeinsamen zentralen Ziele sind nach Euler und Schüttler (vgl. 2020: 132) die Förderung der Interessen der Schüler*innen im naturwissenschaftlich-technischen Bereich sowie das Kommunizieren der gesellschaftlichen Bedeutung und Entwicklung des Fachs. Auch ihr Ziel der Nachwuchsförderung durch das Erfahren verschiedener Einblicke in MINT-Berufe und die verschiedenen Tätigkeitsfelder haben die Schülerlabore gemein (vgl. Euler/Schüttler 2020: 132). So begegnen die Lernenden den naturwissenschaftlich-technischen Lehrinhalten über praxis- und handlungsorientierte Zugänge wie das Experimentieren (vgl. ebd.: 132).

Eine optimale Nutzung der Schülerlabore wird durch ihre Gestaltung ermöglicht (vgl. Haupt et al. 2013: 5). Ein authentisches und fachlich ausgestattetes Labor an einem festen dauerhaften Ort (Lernstandort) außerhalb der Schule zeichnet die Schülerlabore aus. Das Labor sollte mindestens 10 % der möglichen Labortage eines Jahres geöffnet sein, um ein aktives Schülerlabor darzustellen (vgl. ebd.: 5). Selbstständiges Experimentieren und Forschen unter Betreuung von Fachpersonal unterstützt dabei den naturwissenschaftlichen Lernprozess. Diese Erfahrung verleiht dem Schülerlabor neben der Verortung in einer Forschungseinrichtung zusätzliche Authentizität (vgl. Haupt et al. 2013: 6). Durch den Kontakt mit in der Forschung tätigen Personen wird ein Lebensweltbezug hergestellt und es werden mögliche Rollenmodelle erfahren. Das Lernumfeld des Schülerlabors legt viel Wert auf soziale Kontexte zur Anregung der Kommunikation und Kooperation über die lebensweltbezogenen Probleme (vgl. Euler/Schüttler 2020:132). Eine „*Vermittlung eines authentischen Wissenschaftsverständnisses* [ist] von Bedeutung […], da hierdurch unter anderem das Interesse an Naturwissenschaften, eine positive Einstellung gegenüber Naturwissenschaften und das Engagement in naturwissenschaftliche Tätigkeiten gefördert wird“ (Stamer 2019: 19). Die Authentizität des Schülerlabors macht viele der gesetzten Leitziele möglich. Sie wird durch das Labor an sich sowie das Gebäude (Forschungsinstitut, Universität) erreicht (vgl. Stamer 2019: 19ff). Die Lernumgebung sollte forschungsbezogen ausgestattet sein und forschungsnahe Experimente unter Betreuung ermöglichen. Dabei sollten die Experimente einen Lebensweltbezug durch alltägliche Probleme und Phänomene herstellen (vgl. Stamer 2019: 21).

Ferner sollten sich die Laboraktivitäten durch ihre kognitive Aktvierung auszeichnen. Dazu sollten Verknüpfungen zu Alltagserfahrungen, dem Vorwissen und unterschiedlichen Kontexten hergestellt werden (vgl. Stamer 2019: 21; Euler/Schüttler 2020: 133).

Schülerlabore stellen demnach sehr komplexe, vielfältige Lernumgebungen dar, welche sich durch ihre praktischen Erfahrungen auszeichnen. Sie regen die Schüler*innen dazu an, sich aktiv und kooperativ mit den anspruchsvollen Aufgaben auseinanderzusetzen (vgl. Euler/Schüttler 2020: 133).

3.3 Kategorisierung der Schülerlabore

Haupt et al. (vgl. 2013: 6f)) haben als erste eine Kategorisierung der verschiedenen Schülerlabortypen entwickelt. In dieser Arbeit wird ein *klassisches Schülerlabor* erstellt. Es zeichnet sich dadurch aus, dass es von ganzen Klassen besucht wird und in engem Bezug zum schulischen Unterricht und dem Lehrplan steht. Das klassische Schülerlabor ist eine fachliche Ergänzung zum Unterricht (vgl. ebd.: 6f). Der Besuch muss von der Schulleitung genehmigt werden und ist als Schulveranstaltung verpflichtend für die Schüler*innen. Normalerweise erstreckt sich der Laborbesuch über einen halben oder ganzen Tag. Studien haben gezeigt, dass dadurch vor allem die Motivation der Schüler*innen geweckt wird (vgl. Haupt et al. 2013: 6f).

Weitere Kategorien nach Haupt et al. (2013) sind:

- *Schülerforschungszentren*: Naturwissenschaftlich-technisch interessierte Jugendliche experimentieren hier ohne einen schulischen Bezug in ihrer Freizeit. Sie haben die Möglichkeit, an eigenen Projekten zu arbeiten und an wissenschaftlichen Diskussionen teilzunehmen.
- *Lehr-Lern-Labore*: Sie machen es Lehramtsstudierenden möglich eigene Experimente zu entwickeln, diese didaktisch auszuarbeiten und die Schüler*innen zu betreuen.
- *Schülerlabor zur Wissenskommunikation*: Diese an Forschungszentren befindlichen Labore haben keinen schulischen Bezug und klären die Schüler*innen über ihre forschungsbasierte Arbeit auf, um unter anderem einen Einblick in die beruflichen Möglichkeiten zu geben.

- *Schülerlabor mit Bezug zum Unternehmertum*: Diese Labore dienen ebenfalls der Nachwuchsförderung, indem verschiedene Bereiche des Unternehmens erfahren werden. „Den Schüler*innen wird dort ein Einblick in die Betriebsprozesse „von der Idee bis zum fertigen Produkt“ gegeben“ (Stamer 2019: 7).
- *Schülerlabor mit Berufsorientierung*: Hier wurde sich die Nachwuchsförderung als primäres Ziel gesetzt, um den Schüler*innen Einblicke in verschiedene Berufe zu ermöglichen. So lernen sie diese „als praxisbezogenes Modul im Schülerlabor als auch an authentischen Orten in der beruflichen Realität kennen“ (Haupt et al 2013: 9).

LernortLabor, die Informationsseite des Bundesverbandes für Schülerlabore e.V., hat diese Unterteilung durch zwei Kategorien erweitert (vgl. Bundesverband der Schülerlabore e.V. o.J.). *Schülerlabore zum Engineering/Entwicklung und Produktion* ähneln den Schülerforschungszentren und ihre Labore sind auch für andere Interessenten geöffnet. Das *geisteswissenschaftliche Schülerlabor* behandelt vor allem geschichtliche und gesellschaftliche Themen und Phänomene (vgl. Stamer 2019: 7).

3.4 Wirksamkeit von Schülerlaboren

Gegenüber den vielen Vorteilen, die Schülerlabore bieten, steht vor allem der singuläre Charakter. Es ist meist nur ein einmaliger Besuch, der im Unterricht gut vor- und nachbereitet werden muss, was wiederum Arbeit für die Lehrkraft bedeutet (vgl. Euler/Schüttler 2020: 150). Allerdings stellt sich die Frage, inwiefern das Interesse der Lernenden in einem Tag geweckt wird, wenn es im Unterricht bisher nicht möglich war. Einige Studien können kurz- bis mittelfristige Effekte unterschiedlichster Interessedimensionen ausmachen (vgl. ebd.: 150). Emotionales und wertbezogenes Interesse drücken die Freude und Bedeutung der Labortätigkeit aus. Auch das epistemische Interesse, also der Wunsch mehr zu lernen, wird durch den Laborbesuch geweckt (vgl. ebd.: 150f). Veränderungen des Selbstkonzeptes der Lernenden können durch die Eigentätigkeit angeregt werden. Diese Effekte halten laut Untersuchungen sogar bis zu mehreren Monaten an (vgl. ebd.: 150f). Die Auseinandersetzung mit authentischen Problemsituationen und Fragen hat motivationssteigernde Effekte. Diese können sowohl bei bereits interessierten als auch uninteressierten Lernenden festgestellt werden (vgl. Euler/Schüttler 2020: 151). Auch sprechen die Schülerlabore

Mädchen und Jungen gleichermaßen an. Dieser positive Gendereffekt und die Aktivierung schüchterner und leistungsschwächerer Schüler*innen kann durch die Eigentätigkeit und die damit entstehenden positiven Selbstwirksamkeitserfahrungen erklärt werden (vgl. ebd.: 151). So haben die Lernenden die Möglichkeit, ihre eigenen Stärken in das kooperative Arbeiten einzubringen und dadurch Erfolgserlebnisse zu erzielen. Die Ergebnis- und Produktorientierung des Labors unterschiedet sich stark von den strikten Unterrichtsphasen (vgl. ebd.: 151f). Die Effekte sind nicht generalisierbar für jedes Schülerlabor und sind abhängig von ihren Konzepten und Bedingungen. Insgesamt stellen Schülerlabore allerdings eine Bereicherung für den Unterricht dar und haben durchweg positive Effekte auf die Teilnehmer (vgl. Euler/Schüttler 2020.: 152f).

4 Forschend-entdeckendes Lernen

Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts wird entdeckendes und forschendes Lernen als Unterrichtsmethode beschrieben. Auch diese Methode rückte, ähnlich wie die Schülerlabore, durch die ernüchternden Ergebnisse deutscher Schüler*innen in internationalen Untersuchungen in den letzten Jahren wieder in den Vordergrund (vgl. Bell 2010: 71). Durch eigenständiges Entdecken und Forschen sollen die Lernenden motiviert werden und bessere Leistungen erbringen. Bell (vgl. 2010: 70) beschreibt, dass es den Lernenden ermöglicht, verschiedene Fähigkeiten zu entwickeln. Dazu gehören unter anderem die Problemlösekompetenz, das Aneignen von Fachwissen sowie das Bewerten von Erkenntnissen (vgl. ebd.: 70). Außerdem kann das forschend-entdeckende Lernen den Erkenntnisgewinn, die Reflexions- und Kommunikationsfähigkeit fördern. Es zeichnet sich durch seine unterschiedlichen Ansätze aus, die sich vor allem im Grad der Öffnung unterscheiden (vgl. ebd.: 70). Teilweise werden sehr offene Ansätze beschrieben, bei denen die Lernenden ihr Thema selbst wählen und selbstständig zu einem Ergebnis hinarbeiten. Schmidkunz und Lindemann (nach Bell 2010: 71) beschreiben die Unterrichtsmethode als Arbeitsschritte, welche die Struktur des Unterrichts bilden. Sie beschreiben, dass die Aktivitäten der Schüler*innen dabei stets von der Lehrkraft unterstützt werden können. Im Amerika ist forschend-entdeckendes Lernen unter dem Begriff *Inquiry Learning* bekannt (vgl. Bell 2010: 74). „Die Beschreibung von Schüleraktivitäten

konzentriert sich [dabei] von vornherein auf das Ziel, die Lernenden zu Handlungsträgern des Unterrichts zu machen“ (Bell 2010: 74).

Bell (vgl. 2010: 75) beschreibt ein sich daraus ergebendes Modell für das forschend-entdeckende Lernen aus pädagogischer Sicht (s. Abb. 1).

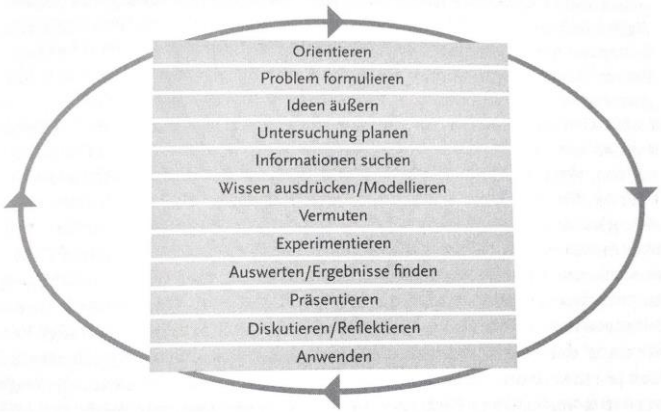


Abbildung 1: Modell entdeckend-forschendes Lernen (Bell 2010: 75)

Die aufgelisteten Aktivitäten beginnen im Unterricht in der Phase *Orientieren* und Enden mit der Phase *Anwenden*. Das soll allerdings keine starre Reihenfolge der Aktivitäten darstellen. Die Auflistung dient der Orientierung, da einigen Phasen wie der des Experimentierens, die Phasen der Fragestellung und Planung vorausgehen. Demnach können einzelne Aktivitäten übersprungen und wiederholt werden, was durch den Kreis dargestellt wird (vgl. Bell 2010: 75).

Im Folgenden werde ich vor allem auf die Aktivität des Experimentierens eingehen, da diese die Hauptaktivität der Lernenden im Schülerlabor und die zentrale Aktivität des naturwissenschaftlichen Unterrichts darstellt (vgl. Bell 2010: 76).

Die Planung des entdeckend-forschenden Lernens muss von der Lehrkraft gut durchdacht und auf die individuellen Bedürfnisse der Lernenden angepasst werden, da es sich um eine anspruchsvolle Unterrichtsform handelt (Bell 2010: 72). Überforderung, Untätigkeit und die Schwierigkeit, Vermutungen und Erklärungen zu formulieren, können auch hier auftreten. Geführtes Forschen und das offene Kommunizieren von Schwierigkeiten im Plenum können dem entgegenwirken (vgl. Bell 2010: 72f).

4.1 Experimentieren

> „Das Experiment in der physikalischen Forschung ist ein wiederholbares, objektives, d. h. vom Durchführenden unabhängiges Verfahren zur Erkenntnisgewinnung. Unter festgelegten und kontrollierbaren Rahmenbedingungen werden Beobachtungen und Messungen an physikalischen Prozessen und Objekten durchgeführt; Variablen werden systematisch verändert und Daten gesammelt“ (Girwidz 2020: 264-265).

Durch selbstständiges Experimentieren soll der naturwissenschaftliche Lernprozess im Schülerlabor gefördert werden (vgl. Haupt et al. 2013: 6). Es werden dazu kontrollierte Experimente eingesetzt, um neue Erkenntnisse zu gewinnen (vgl. Backhaus/Braun 2009: 106). Das Experiment ist eine Untersuchungsmethode und dient im wissenschaftlichen Forschungskontext der Überprüfung von Hypothesen, Modellen oder Theorien. Experimente führen zu einem Erkenntnisgewinn und zur Formulierung von Gesetzmäßigkeiten und Erklärung von Phänomenen (vgl. Girwidz et al. 2001: 166f; Berger 2010: 29). Anforderungen an das Experiment sind, dass es planmäßig vorbereitet wird, wiederholbar ist und die Bedingungen der Experimente prüfbar und variierbar sind (vgl. Hartinger 2007: 69).

Im Unterricht dienen Experimente dazu, bereits bekannte Erkenntnisse und Phänomene für die Schüler*innen nachvollziehbar und verständlich zu machen (vgl. Berger 2010: 29). Die schulischen Experimente sind also weniger als das Prüfen von Hypothesen und „eher als das planvolle Herstellen und Auswerten von Beobachtungssituationen“ (Wodzinski 2010: 156) zu verstehen. Deshalb ist bei Experimenten im schulischen Kontext, welche lediglich Phänomene und Sachverhalte veranschaulichen, eigentlich von Versuchen zu sprechen. Im Unterrichtskontext hat sich diese Differenzierung der Begriffe bisher nicht durchsetzen können und sie werden daher weiterhin synonym verwendet (vgl. Berger 2010: 29; Hartinger 2007: 69).

4.1.1 Der Experimentierzyklus

Es gibt unterschiedliche Darstellungen des Experimentierprozesses. Im Folgenden beschreibe ich die Darstellung des Experimentierzyklus nach Fischknecht-Tobler und Labudde (vgl. 2019: 137), woran sich das experimentelle Lernen im schulischen

Unterricht orientieren kann. Die Darstellung in Abbildung 2 zeigt ebendiesen Zyklus. In Mitten aller Phasen und Prozesse steht stets der Unterrichtsgegenstand, beispielsweise ein naturwissenschaftliches Phänomen. Auf diesen sollte sich jede Überlegung und Handlung beziehen. Damit die naturwissenschaftlichen Zusammenhänge des Experiments verstanden werden können, sollten zudem nach Fischknecht-Tobler und Labudde (vgl. 2019: 136) die Phasen in folgende Faktoren eingeteilt werden: Engagement, Erkundung, Erklärung, Erweiterung, Evaluation. Sie werden in der folgenden Erklärung des Schaubilds (s. Abb. 2) berücksichtigt.

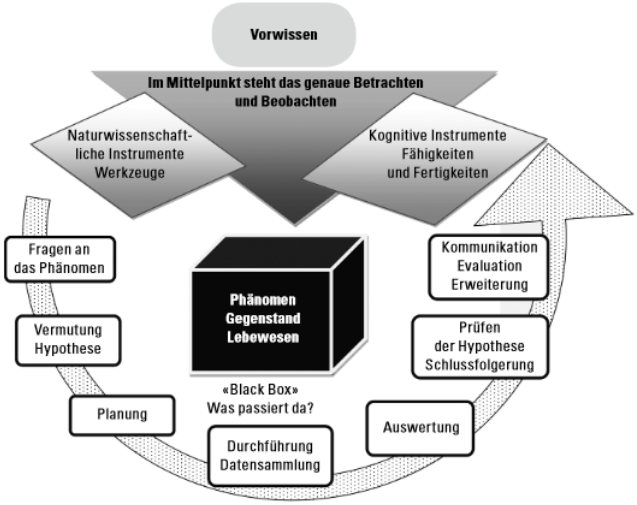


Abbildung 2:Experimentierzyklus (Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 137)

Dem Experiment voran geht das Aktivieren des Vorwissens und der Vorerfahrungen der Schüler*innen. Mit dem Faktor *Engagement* werden die Lernenden aufgefordert, sich mit wissenschaftlichen Fragestellungen auseinanderzusetzen. So wird ihr Interesse auf den neuen Inhalt oder die Problemstellung gelenkt (vgl. Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 136). Vorab kommunizieren die Schüler*innen gemeinsam ihre Fragen zum Inhalt und stellen Vermutungen an. Danach folgen die Planung und der Aufbau des Experiments anhand einer Versuchsanleitung oder durch eigene Überlegungen (vgl. ebd.: 136f). Es folgt die *Erkundung*, indem die Schüler*innen das Experiment durch genaue Beobachtung durchführen, die Ergebnisse sammeln und anschließend auswerten. Das Ergebnis soll nun mit den vorangegangenen Hypothesen verglichen werden, sodass daraus eine Schlussfolgerung gezogen werden kann (vgl. ebd.: 136f). Dazu erarbeiten sie *Erklärungen* aus den gesammelten Daten und ihren Erkenntnissen. Bei der anschließenden *Erweiterung* „verknüpfen [Lernende] ihre Erklärungen mit wissenschaftlichen Konzepten und verstehen sie in neuen Situationen“ (Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 136). So sind sie in neuen

Situationen sicherer und können weitere Experimente zu diesem Unterrichtsgegenstand durchführen. In der darauffolgenden *Evaluationsphase* kommunizieren die Schüler*innen gemeinsam über das Experiment und die gesammelten Erkenntnisse, sodass die Lern- und Kompetenzziele evaluiert werden können (vgl. Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 136f). Im Mittelpunkt des Experimentierzyklus stehen das Beobachten (siehe Kapitel 4.2.1) sowie die Verwendung naturwissenschaftlicher Werkzeuge und kognitiver Instrumente in Form von notwendigen Fähigkeiten und Fertigkeiten.

4.1.2 Beobachten als Grundlage zum Experimentieren

Im Experimentierzyklus nach Fischknecht-Tobler und Labudde (vgl. 2019: 137) wird immer wieder von der Wichtigkeit des genauen Beobachtens gesprochen. Das Beobachten stellt dabei eine wissenschaftliche Arbeitsweise zum Verständnis dynamischer Prozesse dar. Das Beobachten ist ein genaues Wahrnehmen von Eigenschaften und Änderungen eines Gegenstandes oder Lebewesens. „Es umfasst alle Sinne und schließt auch Denkvorgänge und das Beschreiben des Wahrgenommenen mit ein“ (Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 138). Beobachten als didaktische Methode unterscheidet sich vom einfachen Wahrnehmen darin, dass ihm eine Absicht zugrunde liegt, es sich auf einzelne Aspekte konzentrieren kann und dadurch Ergebnisse ausgewertet werden können (vgl. von Reeken 2007: 39). Durch eine ausgeprägte Beobachtungsfähigkeit können Phänomene nicht bloß beobachtet, sondern auch verstanden werden und einen Erkenntnisgewinn mit sich bringen. Diese Beobachtungskompetenz entwickeln die Kinder bereits früh, um sich Informationen aus ihrer Umwelt zu erschließen. Im Unterricht sollte diese Kompetenz gefördert werden, sodass die Schüler*innen neben dem richtigen Beobachten auch „situations- und erkenntnisangemessen eigene Beobachtungen planen und durchführen […] können“ (Reeken 2007: 42). Zur Förderung der Beobachtungsfähigkeit im Unterricht ist dabei einiges zu beachten. So sollte das Beobachten immer gezielt geschehen und zunächst zusammen mit der Lehrperson, dann zunehmend immer selbstständiger, Fragen und Hypothesen formuliert werden. Auch sollte stets der Kontext der Beobachtung bedacht sein.

Fischknecht-Tobler und Labudde (vgl. 2019: 138) unterscheiden folgende Beobachtungstypen bezüglich ihrer Intensität und Dauer:

- **Spontanbeobachtungen** sind von der Lehrkraft nicht eingeplant und ergeben sich spontan beim außerschulischen Lernen. Ein Beispiel hierfür wären vorbeilaufende Tiere während einer Waldexkursion.
- **Kurzzeitbeobachtungen** benötigen nur eine kurze Dauer und passen daher in den zeitlichen Rahmen einer Unterrichtsstunde, wie beispielsweise Experimente zum Schwimmen und Sinken unterschiedlicher Gegenstände.
- **Langzeitbeobachtungen** dauern über eine längere Zeit an und bedürfen stetiger Impulse der Lehrkraft zur Lenkung der Aufmerksamkeit der Schüler*innen, wie beispielsweise dem Lebenszyklus der Raupe zum Schmetterling.

Reeken (vgl. 2007: 42f) benennt zudem die Wichtigkeit der Fehlervermeidung durch Beobachtungen in Gruppen. Dabei können die Lernenden direkt über das Beobachtete oder mögliche Probleme kommunizieren und ihre Ergebnisse miteinander teilen. Beobachtungsbögen können den Schüler*innen dabei helfen, ihre Beobachtungen und Ergebnisse zu dokumentieren. Sie können im späteren Verlauf als Erinnerungsstütze verwendet werden (vgl. ebd.: 42f). Die Bögen sollten Kriterien und Fragestellungen, die den Lernenden als wichtig erscheinen, beinhalten. Wissenschaftliche Instrumente können zudem das Beobachten, beispielsweise kleiner Gegenstände durch Lupen, erleichtern (vgl. Reeken 2007: 43). Die Dokumentationen sind in ihren Darstellungsformen (Skizzen, Notizen, u.a.) nach den Vorlieben der Lernenden frei wählbar. Ebenfalls stellen sie die Grundlage der Verarbeitung der Erkenntnisse im Unterrichtsgespräch dar (vgl. ebd.: 43). So haben alle Schüler*innen die Möglichkeit, ihre Ergebnisse vorzutragen und mögliche Deutungen zu nennen, um gemeinsam dem Erkenntnisgewinn beizutragen. In dieser Auswertungssituation sollten die vorangegangenen Prozesse und verwendeten Methoden gemeinsam reflektiert werden (vgl. Reeken 2007: 44).

4.2 Klassifikation von physikalischen Schulexperimenten

Bei der Planung der Experimente sind verschiedene Aspekte zu beachten, die sich je nach geplantem Lernziel unterscheiden können. Bei der Datenerfassung unterscheidet Girwidz (vgl. 2020: 271) zwischen qualitativen und quantitativen Experimenten. Der Fokus *qualitativer Experimente* liegt auf dem Erfassen der Inhalte über Sinneseindrücke, wohingegen *quantitative Experimente* eine objektive Sammlung,

Verarbeitung und Auswertung von Daten erfordern (vgl. ebd.: 271). Ferner kann die *Organisationsform des Experimentes* unterschieden werden. Dabei wird zwischen dem Demonstrationsexperiment, auch Lehrerexperiment genannt, und dem Schülerexperiment unterschieden. Demonstrationsexperimente werden von der Lehrkraft durchgeführt und regen lediglich zum Registrieren statt zum aktiven Handeln an (vgl. Girwidz 2020: 271). Da in Schülerlaboren hauptsächlich Schülerexperimente durchgeführt werden, werden diese in Kapitel 4.4 näher beschrieben.

Ebenfalls bei der Planung bedacht werden sollte die *Unterrichtsphase*, in der das Experiment stattfinden soll, da sich je nach Phase das Vorwissen und die Kenntnis über erforderliche Arbeitstechniken unterscheidet (vgl. Girwidz 2020: 271). Genannt werden hier unter anderem Einstiegsexperimente, die an das Thema heranführen und das Interesse wecken sollen (vgl. ebd.: 272). Erarbeitungsexperimente unterstützen die Verknüpfung von Wissen und Experiment, indem Vermutungen aufgestellt und Daten gesammelt und ausgewertet werden sollen (vgl. ebd.: 272). Des Weiteren werden Experimente, die der Vertiefung oder der Kontrolle des Wissens dienen, unterschieden. Einzelne Themenbereiche können durch die Anwendung der Theorie in verschiedenen Situationen vertieft werden (vgl. ebd.: 272). Girwidz (vgl. 2020: 272) unterscheidet zudem zwischen der *Art der Sachbegegnung* der Experimente. Bei Simulationsversuchen werden physikalische Systeme durch das Bauen von Modellen dargestellt. Versuche, die physikalische Geräte benötigen, können der Messung dienen, um eine bestimmte Ausgangssituation zu ermöglichen (vgl. ebd.: 272). *Freihandexperimente* benötigen nur wenige Materialien und machen physikalische Phänomene erfahrbar (vgl. Girwidz 2020: 272). Sie spielen im Schülerlabor Schall eine wichtige Rolle, weshalb diese in Kapitel 4.3 näher betrachtet werden.

4.3 Freihandexperimente

Freihandexperimente werden vor allem zur Veranschaulichung physikalischer Phänomene und Gesetze im Unterricht verwendet. Charakteristisch sind der geringe organisatorische Aufwand und die eigenen Hände als wichtigstes Werkzeug (vgl. Schlichting 2010: 131). Freihandexperimente machen durch „die Schlichtheit und Übersichtlichkeit des Aufbaus sowie die einfache Handhabbarkeit […] den Versuchsausgang als etwas sehr Unerwartetes erfahrbar“ (Schlichting 2010: 135). So

können naturwissenschaftliche Phänomene durch Versuche mit Alltagsgegenständen dargestellt werden, denen man pauschal keinen solchen physikalischen Bezug zugewiesen hätte (vgl. Schlichting 2010: 135). Freihandexperimente sind gerade durch ihre Einfachheit, die in verschiedenen Intensitäten auftreten kann, gut überschaubar. Meist werden nur wenige Materialien für die Experimente gebraucht, es können allerdings auch Bastelarbeiten nötig sein, die Geschick und Zeit beanspruchen (vgl. ebd.: 135f). Ferner gibt es Freihandexperimente, welche keinerlei Aufwand benötigen, da es nur auf die Beobachtung oder den Einsatz der Gegenstände ankommt (vgl. Schlichting 2010: 136f).

Negativ konnotiert sind Freihandexperimente vor allem wegen ihrer Beschränkung auf meist qualitative Aussagen und der einfachen Übertragung der Alltäglichkeit der verwendeten Gegenstände auf das Experiment (vgl. Schlichting 2010: 131f). Trotz dieser Kritik kann aktuell wieder ein ansteigendes Interesse für Freihandexperimente festgestellt werden. Dies kann vor allem durch die Nachwuchs- und Interessenförderung im naturwissenschaftlichen Bereich begründet werden (vgl. ebd.: 131f). Freihandexperimente sind einfache, explorative sowie kostengünstige Experimente, die durch das Hinterfragen von Alltagssituationen Aspekte naturwissenschaftlicher Phänomene erfahrbar machen (vgl. ebd.: 131f). Die Abweichung von Vermutung und Ergebnis sowie die damit ausgelösten affektiven Reaktionen wirken motivierend und lernfördernd auf die Lernenden. Der Alltagsbezug der Freihandexperimente macht es möglich, einen Blick für naturwissenschaftliche Zusammenhänge in alltäglichen Situationen zu gewinnen (vgl. Schlichting 2010: 148).

4.4 Schülerexperimente und ihre Lernziele

Die Wichtigkeit von Schülerexperimenten im Unterricht spiegelt sich auch in der Forderung des Hessischen Kultusministeriums wider. Im Kompetenzbereich Erkenntnisgewinnung wird gefordert, dass die Lernenden selbstständig „einen Versuch sachgerecht und unter Berücksichtigung der Sicherheitsaspekte aufbauen, durchführen und auswerten, [sowie] Versuche unter einer Fragestellung planen, durchführen und auswerten“ (Hessisches Kultusministerium 2011: 17) können. Denn Schülerexperimente aktiveren die Lernenden durch das selbstständige Handeln und Erfahren physikalischer Gesetzmäßigkeiten und Phänomene. Eigenständiges Experimentieren fördert die Selbstständigkeit der Schüler*innen und erhöht ihre

motorische Geschicklichkeit (vgl. Backhaus/Braun 2009: 107). Experimente können das Interesse und die Motivation der Lernenden steigern sowie das Erfahren physikalischer Lerninhalte durch praktisches und an Phänomenen orientiertes Arbeiten ermöglichen (vgl. Backhaus/Braun 2009: 107; Berger 2010: 34). Das bedeutendste Ziel des experimentellen Unterrichts ist vor allem das Verknüpfen theoretischen Wissens mit praktischen Erkenntnissen, um dadurch ein Gespür für physikalische Phänomene zu bekommen (vgl. Berger 2010: 34; Backhaus/Braun 2009: 108). In Schülerexperimenten werden durch das eigenständige Handeln motorische und experimentelle Handlungskompetenzen entwickelt. Dabei sollen die Lernenden neue Methoden und Strategien erfahren, um wissenschaftlich denken und handeln zu können (vgl. Backhaus/Braun 2009: 107f). Auch die Förderung der Kommunikations- und Reflexionskompetenz ist ein Ziel der Schülerexperimente, da die Lernenden über die physikalischen Sachverhalte kommunizieren, sich eine eigene Meinung bilden und diese vertreten sollen. Ihre sozialen Kompetenzen entwickeln sich durch den Austausch mit anderen und das Bewerten und Akzeptieren anderer Meinungen weiter (vgl. Berger 2010: 34; Backhaus/Braun 2009: 108). Neben diesen kognitiven sollten auch affektive Lernziele, wie Interessenveränderung und Einstellung zum Unterrichtsgegenstand, angestrebt werden (vgl. Backhaus/Braun 2009: 108).

4.5 Wirksamkeit

Nach Backhaus und Braun (vgl. 2009: 108) werden die Ziele des Experimentierens im schulischen Kontext kaum erreicht, da die Schüler*innen oft nur wenig selbstständig Experimentieren können und meist nur den Versuchsanleitungen folgen. Auch die vorgegebenen Aufgabenstellungen ermöglichen den Lernenden nur wenig selbstständiges Arbeiten. Es herrscht bei den Lernenden durchweg ein sehr theoriegeleitetes Bild naturwissenschaftlicher Arbeitsweisen, weshalb eine Aktualisierung des experimentellen Unterrichts gefordert wird (vgl. Backhaus/Braun 2009: 108). Dieser sollte das Formulieren eigener Fragestellungen und das eigenständige Planen von Experimenten ermöglichen, um so Phänomene zu erkennen und physikalische Konzepte erfahrbar zu machen. Dabei besteht die Möglichkeit eine Methodenvielfalt in den Unterricht einzubringen, um Antworten auf die eigenen Fragen zu erhalten. Auch die individuellen Ergebnisse sollen nach Backhaus und Braun (vgl. 2009: 109) im Anschluss vorgetragen und gemeinsam reflektiert werden.

Insgesamt wird also eine Öffnung des Experimentierens gefordert, um den Lernenden die naturwissenschaftlichen Inhalte und die dazugehörigen Arbeitsweisen effektiv vermitteln zu können (vgl. Backhaus/Braun 2009: 109).

4.6 Offenes Experimentieren

Die offene Gestaltung des Experimentierens ermöglicht den Lernenden einen selbstständigeren Lernprozess (vgl. Backhaus/braun 2009: 113). Mit dem forschend-offenen Experimentieren wird ihnen ermöglicht, eigene Fragen zu einem selbst gewählten Unterrichtsgegenstand zu formulieren. Des Weiteren können Experimente eigenständig geplant und durchgeführt werden. Das Ziel ist, anders als beim angeleiteten Experimentieren mit Vorgaben durch die Lehrkraft, vorher nicht bekannt (vgl. ebd.: 113). Liegt der Fokus des offenen Experimentierens eher auf dem Entdecken, so werden die Untersuchungsgegenstände meist von der Lehrkraft ohne eine vorherige thematische Einführung vorgegeben. Die Schüler*innen werden dazu aufgefordert, eigene Hypothesen und Vermutungen aufzustellen und Schlussfolgerungen aus dem Experiment zu ziehen (vgl. ebd.: 113). Dabei tritt die Lehrkraft in den Hintergrund und agiert als Berater, ohne das offene Setting des Experiments einzuschränken (vgl. Backhaus/Braun 2009: 113). Das offene Experimentieren soll den Lernenden eine explorative, statt eine bloß darstellende, Experimentierweise aufzeigen, um eigenständig Erkenntnisse zu gewinnen (vgl. Backhaus/Braun 2009: 115). Dies geschieht entlang des Experimentierzyklus (Kapitel 4.2).

Girwidz (vgl. 2020: 283f) beschreibt, dass offenes Experimentieren die mit Schülerexperimenten verbundenen Lernziele (Kapitel 4.5) ermöglichen kann. Dabei können allerdings Probleme bei der Planung auftreten, da mehr Material- und Arbeitsaufwand nötig ist (vgl. ebd.: 284). Ein Besuch im Schülerlabor kann diese zusätzlichen Anforderungen an die Lehrkraft verringern, da dort bereits die Geräte bereitstehen und die Einheit didaktisch ausgearbeitet wurde.

Teil 2: Sachanalyse und Schülervorstellungen zum Thema Schall

5 Schall

In diesem Kapitel werde ich die physikalischen Grundlagen des Themas Schall darstellen. Die dient einer tieferen Auseinandersetzung mit der Thematik, um das Schülerlabor im Folgenden fachlich korrekt und didaktisch reduziert entwickeln zu können.

5.1 Entstehung und Ausbreitung von Schall

Die Akustik als Teilbereich der Mechanik beschäftigt sich mit der Entstehung von Schwingungen elastischer Körper und deren Ausbreitung als Schallwellen (vgl. Eichler et al. 2016: 94). Schall eines bestimmten Druck-Frequenz-Bereichs kann mit dem Ohr als hörbarer Schall wahrgenommen werden. Durch bestimmte Empfänger ist allerdings auch für uns nicht hörbarer Schall messbar (vgl. Lüders/Oppen 2008: 519). Schall kann durch mechanische Schwingungen wie durch das Bewegen eines Senders - beispielsweise eines Musikinstruments – erzeugt werden (siehe Kapitel 1.3). Wird ein Teilchen eines Mediums durch diese mechanischen Schwingungen aus seiner Ruhelage gebracht, so gibt es diese Bewegung aufgrund der „elastischen Kopplung mit einer zeitlichen Verzögerung“ (Eichler et al. 2016: 94) an Nachbarteilchen weiter. Die Bewegung breitet sich in Form einer Welle mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit v aus (vgl. Eichler et al. 2016: 94). Diese Schallwelle ist „durch räumliche und zeitliche Schwankungen der Dichte, des Drucks und der Temperatur des [Ausbreitungs]mediums“ (Lüders/Oppen 2008: 524) charakterisiert. Sie transportiert bei ihrer Ausbreitung Schallenergie und den Impuls, jedoch keine Materie. Die Teilchen schwingen periodisch nur um ihre eigene Ruhelage (vgl. Eichler et al. 2016: 94). Man kann dabei zwischen zwei Wellenarten unterscheiden. Bei Longitudinalwellen bewegen sich die Teilchen in die Fortpflanzungsrichtung, wodurch periodische Dichteschwankungen im Ausbreitungsmedium entstehen (vgl. Eichler et al. 2016: 94). Schallwellen breiten sich in Gasen, Flüssigkeiten und festen

Körpern als solche Längswellen aus. In festen Körpern können sie sich zudem auch in Form von Transversalwellen fortpflanzen. Dabei schwingen die Teilchen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung (vgl. Eichler et al. 2016: 94).

Die Dichteschwankungen, die aufgrund der Ausbreitung der Schallwelle entstehen, zeichnen sich durch einen Wechsel von Verdichtungen (maximaler Druck) und Verdünnungen (minimaler Druck) der Teilchen zueinander aus (vgl. Abb. 3). In der Luft sind die Luftteilchen demnach abwechselnd dichter beisammen (Verdichtung) und weniger dicht beisammen (Verdünnung) (vgl. Borucki 1989: 111).

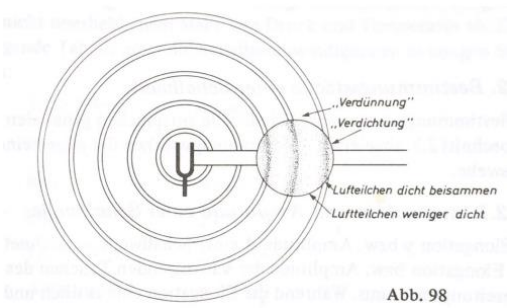


Abbildung 3: Druckschwankungen in der Luft (Borucki 1989: 111)

Die Schallwelle lässt sich in ihrer einfachsten Form als Sinusfunktion beschreiben. Die Funktion a) der Abbildung 4 zeigt die sinusförmigen Schwingungen, die jedes Teilchens in die Richtung x in der Zeit t ausführt (vgl. Eichler et al. 2016: 94f). Die Funktion b) der Abbildung 4 zeigt die Wellenlänge λ der Schallwelle. Diese beschreibt „die Länge der räumlichen Periode" (Eichler et al. 2016: 95).

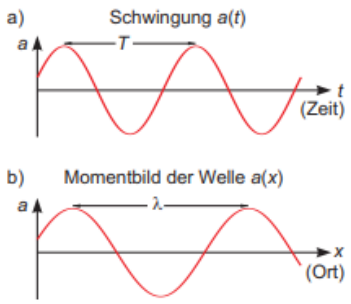


Abbildung 4: a) Schwingung a (t); b) Momentbild der Welle a(x) (Eichler et al. 2016: 95)

5.2 Frequenzbereiche

Der für uns hörbare Schall macht nur einen kleinen Bereich des gesamten Frequenzbereichs aus. Ein normalhörender Mensch hört alles im Bereich von 16 bis 20000 Hz. Diesen Bereich nennt man Hörschall. Die Einheit Hertz (Hz) misst die

„Frequenz der schwingenden Teilchen des Ausbreitungsmediums“ (Borucki 1989: 58). Mit zunehmendem Alter sinkt die obere Hörgrenze stetig. Den Bereich unter 16 Hz bezeichnet man als Infraschall und den über 20 kHz als Ultraschall (vgl. Lüders/Oppen 2008: 519f).

Der *Infraschall* wird vor allem für meteorologische, ozeanographische und geophysikalische Messungen verwendet. Erdbeben, Stürme und andere Vorgänge verursachen Dichtewellen, die von uns nicht gehört werden können (vgl. Lüders/Oppen 2008: 590). Wir können lediglich die Druckschwankungen über die Lunge, die Haut oder das Trommelfell wahrnehmen. Infraschallquellen sind beispielsweise Motoren oder die Schwingungen von Brücken (vgl. ebd.: 590).

Auch *Ultraschall* kann nicht vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden. Der Ultraschall kann ähnlich wie Licht gebündelt werden und durch Richtstrahlreflexion zur Ortung und Erkennung von Hindernissen verwendet werden (Meschede 2015: 195). Mithilfe von Ultraschallimpulsen kann durch Echolotung die Meerestiefe gemessen werden. Schiffe verwenden das Sonar beispielsweise zum Finden von Fischen. „Der vom Sender ausgestrahlte Impuls wird am Objekt reflektiert […], im Empfänger verstärkt und auf dem Bildschirm registriert“ (Lüders/Oppen 2008: 585). Mithilfe der Schallgeschwindigkeit kann so auch die Entfernung zum Hindernis errechnet werden. Auch Tiere wie Delfine oder Fledermäuse senden Ultraschallimpulse aus (vgl. ebd.: 586). Die reflektierten Impulse werden von ihnen wahrgenommen und ausgewertet. So können sie die Entfernung und Richtung des Hindernisses oder der Beute ausmachen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 586). In der Medizin wird Ultraschall zur Sonographie genutzt. Dabei „wird aus der Laufzeit eines Schallpulses bis zu einer Schallwiderstandsgrenze im Körper deren Entfernung von der Schallquelle bestimmt“ (Lüders/Oppen 2008: 587). Auf einem Bildschirm können so zwei- und dreidimensionale Schnitte des Körpers dargestellt werden (vgl. ebd.: 587).

5.3 Ton, Geräusch, Klang, Knall

Im Alltag weisen wir verschiedenen Schallerscheinungen unterschiedliche Begrifflichkeiten zu. Ein Ton entsteht durch eine sinusförmige Schwingung (vgl. Abb. 5 a). Der Ton ist charakterisiert durch die Höhe und Stärke seiner Amplitude. Ein hoher

Ton zeichnet sich durch eine große Frequenz der Schwingung aus (vgl. Borucki 1989: 87; Lüders/Oppen 2008: 521). Ein Klang hingegen ist keine sinusförmige, sondern eine periodische Schwingung, also eine Überlagerung von Obertönen und einem Grundton (vgl. Abb. 5 b). Der Grundton ist der tiefste Ton des jeweiligen Klangs, alle anderen auftretenden Töne sind Obertöne. Die Töne eines Instruments sind demnach Klänge. Die Amplitude, die Intensität und die Anzahl der Obertöne bestimmen die Klangfarbe (vgl. Lüders/Oppen 2008: 522; Eichler et al. 2016: 97).

Ein weiterer im Alltag oft verwendeter Begriff ist das Geräusch. Ein Geräusch ist vom Ton und dem Klang zu unterscheiden, da es „ein Gemisch zahlreicher Töne rasch wechselnder Frequenzen und rasch wechselnder Stärke“ (Borucki 1989: 88) ist (vgl. Abb. 5 c). Es zeigt ein sich fortsetzendes Spektrum mit vielen dicht beieinanderliegenden Teiltönen (vgl. Eichler et al. 2016: 97f). Ein Geräusch ist beispielsweise fließendes Wasser. Wir können verschiedene Geräusche voneinander unterscheiden, da sie sich in ihrer Charakteristik unterscheiden (vgl. Borucki 1989: 88).

Ein ebenfalls gebräuchlicher Begriff ist der des Knalls. Dieser definiert sich durch seine kurzzeitige Erscheinung aller Frequenzen eines Bereichs mit wenigen Perioden (vgl. Abb. 5 d), welche sich aufgrund des schnellen Abklingens der großen Amplitude zeigen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 522).

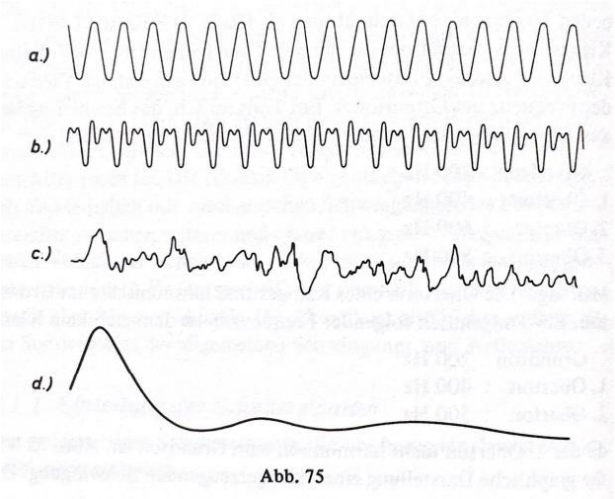


Abbildung 5: Darstellung der unterschiedlichen Schwingungen: a) tonerzeugende, b) klangerzeugende, c) geräuscherzeugende, d) knallerzeugende Schwingung (Borucki 1989: 88)

5.4 Schallfeld

„Den mit Schallwellen erfüllten Raum bezeichnet man als Schallfeld“ (Borucki 1989: 116). Schallfeldgrößen machen es möglich, das Schallfeld zu beschreiben. Die verschiedenen Schallfeldgrößen sind gesetzmäßig voneinander abhängig. Im Folgenden werden diese in einem Schallfeld mit geradlinigen Schallwellen beschrieben (vgl. Borucki 1989: 116).

Der *Schallausschlag y* gibt den Abstand der schwingenden Teilchen des Mediums zu ihrer Ruhelage an. Die *Schallschnelle v*, nicht zu verwechseln mit der *Schallgeschwindigkeit c*, beschreibt die Geschwindigkeit der periodischen Bewegung der Teilchen. „Beim jeweiligen Durchgang durch die Ruhelage erreicht sie ihr Maximum, die sogenannte Geschwindigkeitsamplitude“ (Borucki 1989: 117). Gleichbedeutend beträgt v = 0 an den Umkehrpunkten der Amplitude. Schallausschlag und -schnelle sind beide von der Zeit und dem Ort der Schallquelle abhängig (vgl. Borucki 1989: 116f).

Als *Schallleistung,* auch *Strahlungsleistung P* genannt, wird die ausgehend von einer Schallquelle transportierte Schallenergie pro Sekunde bezeichnet. Die Schallleistung wird in Watt (W) gemessen und ergibt sich aus folgender Gleichung (Trautwein et al. 2008: 92):

$$Strahlungsleistung\ P = \frac{Energie}{Zeit}$$

Wir sprechen beispielsweise mit etwa 0,000007 Watt und eine Trompete leistet etwa 0,3 Watt, wohingegen eine herkömmliche Glühbirne eine Leistung zwischen 15 und 100 Watt besitzt. Die Leistung des Schalls ist im Gegensatz dazu also recht gering (vgl. Borucki 1989: 118).

Die *Schallintensität*, auch *Schallstärke I*, „einer Welle ist die pro Sekunde und pro Einheit der Querschnittsfläche fließende Energie, also die Energiestromdichte“ (Trautwein et al. 2008: 92). Daraus ergibt sich folgende Gleichung (Trautwein et al 2008: 92):

$$Intensität\ I = \frac{Energie}{Zeit \cdot Fläche} = \frac{Energiestrom}{Fläche}$$

Die Einheit der Schallstärke I wird in Watt/cm^2 gemessen und ist „dabei proportional zum Quadrat der Amplitude, also I ~ A^2“ (Eichler et al. 2016: 98). Wir beschreiben

die Lautstärke des Schallfeldes mit dem physikalischen Maß der Schallintensität I. Die Lautstärke wird durch den Schalldruckpegel angegeben (Kapitel 5.7).

Die *Schallgeschwindigkeit c* bezeichnet die Geschwindigkeit „mit der sich die Druckschwankungen längs der Ausbreitungsrichtung einer Schallwelle fortpflanzen“ (Trautwein et al. 2008: 90). Die Schallwelle breitet sich um die Strecke λ in der Zeit T aus, weshalb für die allgemeine Ausbreitungsgeschwindigkeit c folgende Gleichung gilt (vgl. Trautwein et al. 2008: 90): $c = \frac{\lambda}{T}$

Die Schallgeschwindigkeit ist allerdings abhängig von der Elastizität des Ausbreitungsmediums und der Polarisation der Schallwelle (vgl. Trautwein et al. 2008: 91). Nach Lüders und Oppen (vgl. 2008: 525) muss bei der Berechnung der Schallgeschwindigkeit in Gasen ebenfalls der Druck und die Dichte des Gases sowie die Temperatur miteinbezogen werden, wodurch sich folgende Gleichung ergibt (Trautwein et al. 2008: 91):

$$c = \sqrt{\frac{\aleph p}{\rho}} \quad (p = Druck, \rho = Dichte)$$

Der Schall hat in der Luft bei etwa 20°C eine Ausbreitungsgeschwindigkeit von circa 344 m/s (vgl. Lüders/Oppen 2008: 526).

Auch in Flüssigkeiten hängt die Schallgeschwindigkeit vom jeweiligen Druck ab. Durch minimale Veränderungen des Drucks verändert sich das Ausgangsvolumen sowie die Dichte. Auch die Temperatur der Flüssigkeit spielt dabei eine Rolle (vgl. Sinambari/Sentpali 2020: 23).

In destilliertem Wasser mit einer Bezugstemperatur von 10°C beträgt die Schallgeschwindigkeit etwa 1449 m/s (vgl. Sinambari/Sentpali 2020: 23). Die Erfassung der Schallgeschwindigkeit in festen Körpern ist um wesentliches komplexer als die in Gasen oder Flüssigkeiten. Die Ausbreitung von Schallwellen kann in festen Körpern sowohl als Longitudinal- sowie auch als Transversalwellen erfolgen. Demnach gilt (Trautwein et al. 2008: 91):

$$c_{long} \sim \sqrt{\frac{E}{\rho}} \; bzw. \; c_{trans} = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

(E = Elastizitätsmodul; G = Torsionsmodul; ρ = Dichte)

Schallwellen breiten sich in Flüssigkeiten und Gasen lediglich in Form von Longitudinalwellen aus, da dort G = 0 gilt. Ferner ist die Schallgeschwindigkeit abhängig von der Geometrie des festen Körpers (vgl. Trautwein et al. 2008: 91). In Glas mit einer Temperatur von 20 °C breitet sich die Schallwelle in Form einer Longitudinalwelle mit etwa 4000-5500 m/s und in Form einer Transversalwelle mit etwa 2500-3500 m/s aus (vgl. Trautwein et al. 2008: 91).

5.5 Schallsender

Schallsender, auch Schallquellen genannt, sind alle Gegenstände, mit denen Schwingungen erzeugt werden können. Man unterscheidet diese Schallsender in Erzeuger gedämpfter und ungedämpfter Schwingungen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 538). Zur Gruppe der Erzeuger gedämpfter Schwingungen gehören schwingende Erzeuger, welche durch bloße Stoßanregung in Schwingung gebracht werden können.

Ein Beispiel dafür ist die *Saite*, welche keine Eigenelastizität besitzt und aufgrund ihrer geringen Querschnittsfläche so gut wie keinen Widerstand gegen eine Beeinflussung, beispielweise in Form einer Verbiegung, leisten kann (vgl. Lüders/Oppen 2008: 538f, Borucki 1989: 92). Um in Schwingung versetzt zu werden, muss die Saite an ihren Enden eingespannt werden. Wird die Saite nun gezupft, so erzeugt sie zunächst einen Grundton, indem sie transversal um die eigene Ruhelage schwingt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 538f; Borucki 1989: 92f). Da die Saite auch in sich selbst schwingt ergeben sich stehende Wellen (vgl. Eichler et al. 2016: 95). Durch die sich nach links und rechts ausbreitenden Wellen gleicher Frequenz, die an den eingespannten Enden reflektiert werden und sich deshalb überlagern, entstehen Schwingungsknoten und Bäuche (vgl. ebd.: 95). $\frac{\lambda}{2}$ gibt den Abstand zwischen den einzelnen Knoten, beziehungsweise Bäuchen an. An den Knoten findet sich die minimale (Amplitude = 0) und an den Bäuchen die maximale Amplitude (siehe Abb. 6) (vgl. ebd.: 95).

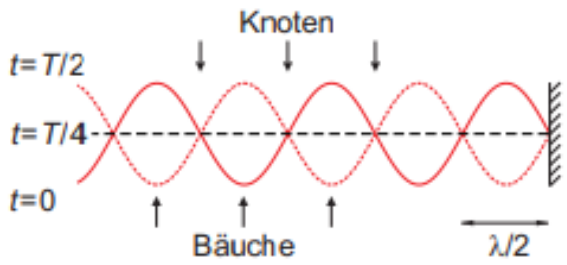


Abbildung 6: Schwingungsknoten und -bäuche einer stehenden Welle (Eichler et al. 2016: 95)

Dadurch entstehen Oberschwingungen (Vielfache der Grundschwingung) verschiedener Frequenzen. Zusammen bilden sie die Eigenfrequenz, wodurch die Saite einen Klang erzeugt (vgl. Borucki, 1989: 93; Eichler et al. 2016: 96). Solche Saiten findet man vor allem in Musikinstrumenten. Sie werden aus Darm oder Metalldraht hergestellt, in das Instrument eingespannt und je nach Art angespielt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 544). Streichinstrumente, wie beispielsweise die Geige, werden mit einem Bogen angestrichen, die Gitarre wird mit der Hand gezupft und das Klavier schlägt den Ton mit einem Hammer an. Zur Abstrahlung des Schalls besitzen die Instrumente einen Resonanzkörper, der mitschwingt und somit zur Verstärkung der Frequenz beiträgt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 544).

Neben Saiten können auch *Stäbe* gedämpfte Schwingungen ausführen. Sie besitzen einen größeren Querschnitt als Saiten, sind durch ihre Elastizität aber ebenfalls in der Lage zu schwingen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 544).

Dabei sind folgende Schwingungsarten möglich (vgl. Borucki 1989: 91f; Lüders/Oppen 2008: 544f):

- *Torsions- und Drehschwingungen* entstehen durch das Drehen und Loslassen des Stabes. Durch die geringe Erregung der umliegenden Luftteilchen ist diese Schwingungen nur schwer hörbar (vgl. Borucki 1989: 91f; Lüders/Oppen 2008: 544f).
- *Biegeschwingungen* ergeben sich durch das einseitige Einspannen und seitliche Auslenken des Stabes. Dabei entsteht - wie bei der Saite - durch die Schwingungen des Stabes ein Grundton. Durch die Grundschwingungen in sich selbst entstehen Oberschwingungen, die wiederum Obertöne bilden. Aufgrund der verschiedenen Frequenzen der Oberschwingungen entstehen unharmonische Obertöne, die ein Tongemisch bilden (vgl. Borucki 1989: 91f; Lüders/Oppen 2008: 544f).

- *Dehnungsschwingungen* entstehen durch beidseitiges Einspannen des Stabes und das Einwirken auf diesen durch Schlagen oder Reiben entlang des Stabes. Auch dabei entstehen Grund- und Obertöne, die allerdings Vielfache der Frequenz der Grundschwingung sind und deshalb harmonische Klänge erzeugen.
  (vgl. Borucki 1989: 91f; Lüders/Oppen 2008: 544f)

An dieser Stelle soll auch die *Stimmgabel* als ein wichtiges Beispiel für schwingende Stäbe genannt werden. Die Schwingungsknoten der Grundschwingung an den Stabenden nähern sich in der Mitte an, wenn die Stabmitte dicker als ihre Enden ist (vgl. Lüders/Oppen 2008: 551). Dadurch sind unharmonische Obertöne schwieriger zu erzeugen. Die Stimmgabel ist dazu u-förmig gebogen, sodass beide Stabhälften parallel zueinander verlaufen (vgl. ebd.: 551f). Wird die Stimmgabel angeschlagen, so bewegen sich die Hälften in einer halben Periode abwechselnd zueinander hin und voneinander weg. Dabei bewegen sich die Schwingungsknoten nicht (vgl. Lüders/Oppen 2008: 552). Das Stück über dem Stiel der Stimmgabel, welches zwischen den Knoten liegt, bewegt sich gleichzeitig auf und ab (siehe Abb. 7 (b)).

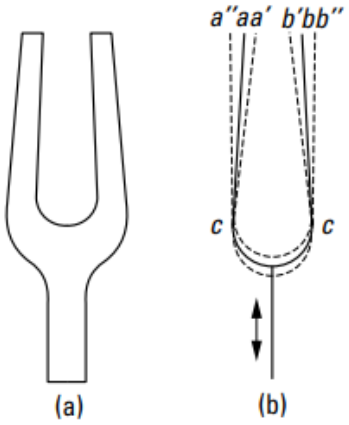


Abbildung 7: a) Stimmgabel; b) Schwingung der angeschlagenen Stimmgabel (Lüders/Oppen 2008: 552)

Dadurch entstehen keine Oberschwingungen, sondern nur der Grundton. Den Normal- beziehungsweise Kammerton erzeugen Stimmgabeln mit einer Frequenz von 440 Hz. Diese Stimmgabeln werden zum Stimmen von Instrumenten verwendet, weswegen sie eine große Bedeutung für die Musik haben (vgl. Lüders/Oppen 2008: 552).

Um die Schallabstrahlung zu verbessern und die Schallwahrnehmung somit zu verstärken, kann der Stimmgabelstiel auf einem Resonanzkasten befestigt werden. Ein

Resonanzkasten ist ein Holzkasten, welcher durch seine Länge speziell auf den Ton der Stimmgabel abgestimmt wurde (vgl. Lüders/Oppen 2008: 553). Die Schwingungen des Stiels übertragen sich beim Anschlagen der Stimmgabel auf den Deckel des Resonanzkörpers, wodurch die Luft in ebendiesem in Schwingung versetzt wird und der Schalleindruck verstärkt wird (vgl. ebd.: 553). Zur genauen Anpassung des Kastens an die Stimmgabel ist die Kastenlänge „des einseitig offenen Kastens gleich $\frac{1}{4}$ Wellenlänge, die des beidseitig offenen Kastens gleich $\frac{1}{2}$ Wellenlänge der Schwingung der Stimmgabel in [der] Luft […]. Ersterer ist eine *gedackte*, letzterer eine *offene Pfeife*“ (Lüders/Oppen 2008: 553-554).

Gedackte und offene Pfeifen sind einer weiteren Kategorie an Schallsendern, den schwingenden Luftsäulen, zuzuordnen. Beispiele dafür sind Pfeifen, die Gase (normalerweise Luft) in ihrem Korpus einschließen. Durch die Anregung des eingeschlossenen Gases wird das Rohr der Pfeife zur Eigenschwingung angeregt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 554).

Bei offenen schwingenden Pfeifen entstehen, anders als bei den Saiten, an den Enden der Pfeife Schwingungsbäuche mit maximaler Amplitude. Dadurch kommt es ebenfalls zu stehenden Wellen (vgl. Borucki 1989: 95). Neben dem Grundton treten weitere harmonische Obertöne auf, wodurch ein Klang entsteht. Bei der gedackten, also nur einseitig offenen, Pfeife entsteht am offenen Ende ein Schwingungsbauch und am anderen geschlossenen Ende ein Knoten (vgl. ebd.: 96). Letzterer entsteht, da die Teilchen nicht frei schwingen können. Die Grundfrequenz der gedackten Pfeife ist um eine Oktave tiefer als die einer gleichlangen offenen, wodurch erstere dumpfer klingt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 555f; Borucki 1989: 97f).

Weitere gedämpfte Schallsender sind die schwingende *Membran* und *Platte*. Man kann beide, wie Stäbe und Saiten, aufgrund ihrer Elastizität unterscheiden (vgl. Lüders/Oppen 2008: 562f). Membranen sind, wie auch Saiten, so dünn, dass von ihnen nur mechanische Schwingungen ausgehen können, wenn sie eingespannt werden (vgl. ebd.: 562f). Platten und Membranen erzeugen neben den harmonischen Obertönen weitere unharmonische Obertöne, weshalb ein Tongemisch entsteht. Beispiele für Membranen sind Trommeln und Pauken. Platten finden sich in Form einer Metallplatte beispielsweise in alten Telefonhörern (vgl. Borucki 1989: 90f).

Ungedämpfte Schallsender zeichnen sich dadurch aus, dass „die Verluste infolge [von] Schallabstrahlung und Reibung durch Energiezufuhr von außen ständig ausgeglichen werden“ (Lüders/Oppen 2008: 564). Die Energiezufuhr geschieht periodisch oder kontinuierlich, beispielsweise durch Wärme, die in periodische Energie umgewandelt wird. Beispiele für solche Schallsender sind Lochsirenen und Lautsprecher (vgl. Lüders/Oppen 2008: 565). Da im Folgenden keine ungedämpften Schallquellen verwendet werden, wird an dieser Stelle darauf verzichtet näher auf diese einzugehen.

5.6 Schallempfänger

Das menschliche Ohr kann auf mechanische Schwingungen im Bereich des Hörschalls (16 Hz – 20 kHz) reagieren. Es empfängt die Schallwellen als Druckempfänger, welche sich durch ihre seitlich begrenzte Membran (Wände, Trichter) auszeichnen (vgl. Lüders/Pohl 2017: 363). Im Schallfeld führen die Druckempfänger, beispielsweise auch Mikrophone, erzwungene Schwingungen aus, deren Amplituden vom Schallfeld unabhängig sind (vgl. ebd.: 363). Auch der Luftdruck ist von der Ausbreitungsrichtung unabhängig. Aufgrund der geringen Dichte der Luft entstehen große Ausschläge (vgl. ebd.: 363).

Neben den Druckempfängern existieren Geschwindigkeitsempfänger, welche „die Geschwindigkeitsamplitude des Luftwechselstromes zur Erzeugung erzwungener Schwingung benutz[en]“ (Lüders/Pohl 2017: 364). Der Empfänger wird dabei vom Luftwechselstrom durch die entstehende innere Reibung in die Schwingungsrichtung mitgenommen. Dadurch wird der Empfänger erregt und führt erzwungene Schwingungen aus. Die Amplitude ist hierbei abhängig vom Schallfeld (vgl. Lüders/Pohl 2017: 364).

Unser Ohr dient uns als Schallempfänger und nimmt verschiedene Töne, Klänge und Geräusche wahr. Trifft der Schalldruck auf unser Ohr, dann wird der Hörvorgang eingeleitet. Ein Höreindruck entsteht nur im Frequenzbereich des Hörschalls (vgl. Sinambari/Sentpali 2020: 285).

Genauer kann die Physiologie des Hörens nach Lüders und Oppen (2008: 593ff) beschrieben werden. Demnach treffen die Schallwellen zunächst auf den äußeren Teil des Ohrs (s. Abb. 8), genauer auf die trichterförmige Ohrmuschel. Sie ist wichtig für das Richtungshören. Durch den Gehörgang werden die Schallwellen zum Trommelfell

geleitet. Dieses stellt die Grenze zwischen Außen- und Mittelohr dar (vgl. Sinambari/Sentpali 2020: 286f). Die Schwingungen des Trommelfells werden durch den Hammer, einen kleinen Knochen im Mittelohr, über den Amboss und den Steigbügel (Gehörknochen) auf das ovale Fenster übertragen (vgl. ebd.: 287). „Dabei bewirkt die Flächenübersetzung von schwingungswirksamem Querschnitt des Trommelfells zur Auflagefläche des Steigbügels in Verbindung mit der Hebelübersetzung der mechanischen Übertragungselemente eine 20-fache Krafterhöhung bei Minderung der Ausschläge (Drucktransformation)“ (Sinambari/Sentpali 2020: 287-288). Das ovale Fenster trennt demnach nicht nur Mittelohr und Innenohr, sondern gleicht zudem die entstehende Druckwirkung aus. Das Innenohr besteht aus der Cochlea (Schneckenkanal), einem Kanal, der mit Lymphflüssigkeit gefüllt ist und zum Ende hin kleiner wird (vgl. Lüders/Oppen 2008: 593). Die Cochlea ist durch die Basilarmembran zweigeteilt. Auf dieser sitzt das Corti’sche Organ mit den Haarzellen (vgl. ebd.: 593). Die Vibrationen, welche auf das ovale Fenster treffen, versetzen die Lymphflüssigkeit in Schwingung, wodurch die Sinneszellen (Haarzellen) entlang der Basilarmembran angeregt werden (vgl. Lüders/Oppen 2008: 595).

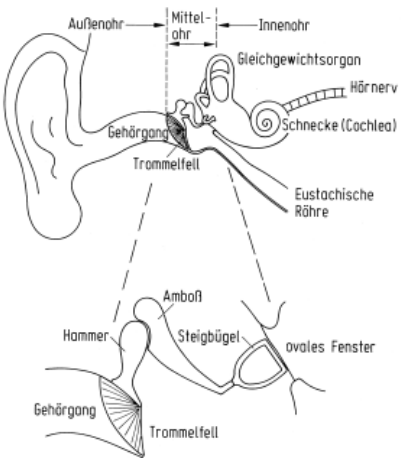


Abbildung 8: Querschnitt des menschlichen Ohrs (Lüders/Oppen 2008: 594)

Da die Membran entgegengesetzt des Kanals zum Ende hin breiter und damit weniger steif wird, „nimmt […] auch die Wellengeschwindigkeit und damit bei gleicher Frequenz die Wellenlänge ab“ (Sinambari/Sentpali 2020: 288). So wird je nach Frequenz des Schalls an unterschiedlichen Stellen der Membran die maximale Amplitude erreicht. Tiefe Frequenzen liegen dadurch an der Spitze, höhere am Eingang der Cochlea (vgl. Sinambari/Sentpali 2020: 288). Dadurch nehmen wir die Tonhöhe wahr. Die Haarzellen formen die Schwingungen in elektrische Signale um.

Diese werden an den Hörnerv weitergeleitet, der den Schalleindruck an das Gehirn weitergibt. Dort werden sie nach ihren Schallparametern ausgewertet (vgl. Lüders/Oppen 2008: 595).

Das menschliche Ohr weist eine Richtungsempfindlichkeit auf, welche sich aus dem Zusammenspiel der beiden Ohren begründet (vgl. Lüders/Oppen 2008: 597). Befindet sich die Schallquelle nicht senkrecht zur Mitte beider Ohren, so kommen die Schallwellen mit einer zeitlichen Differenz an (vgl. ebd.: 597). Die Differenz wird von beiden Ohren wahrgenommen und kann bis zu einer Frequenz von 1500 Hz zur Quellenlokalisierung genutzt werden. Bei höheren Frequenzen wird der Unterschied des Schalldrucks zur Lokalisierung herangezogen, da an einem Ohr ein geringerer Schalldruck wirkt (vgl. ebd.: 598). Da das menschliche Ohr nur den Primärschall bewertet, kann dieses auch in geschlossenen Räumen, trotz der Schallreflexion, die Richtung der Quelle wahrnehmen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 598).

5.7 Lautstärke und Lärm

Die Lautstärke des Schalls wird wie bereits erwähnt durch die Schallintensität I gemessen. Diese trifft senkrecht zur Ausbreitungsrichtung auf das Trommelfell. Das Ohr nimmt dabei Unterschiede der Lautstärke wahr, die im Bereich zwischen der Hör- und der Schmerzschwelle liegen (vgl. Eichler et al. 2016: 98). Durch die Schwellenmessung des Schalldruckpegels kann festgestellt werden, „bei welchem Grenzwert einer physikalischen Größe (Schalldruck, Frequenz) eine Empfindung gerade noch oder gerade nicht mehr vorhanden ist“ (Lüders/Oppen 2008: 595). Die Hörschwelle entspricht demnach einem Schalldruck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (= Pascal) und die Schmerzschwelle einem Druck von 20 Pa. Überschreitet der Schalldruck diese Schwelle schützt sich das Ohr durch das Ausknicken von Hammer, Amboss und Steigbügel im Mittelohr, sodass die Schwingung nicht an das ovale Fenster weitergegeben werden kann (vgl. ebd.: 596). Bei weiterem Schalldruckanstieg kommt es zur Zerstörung von Teilen des Ohres. Bekannt für die Lautstärkenangabe ist die mit dem Schalldruckpegel angegebene dimensionslose Zahl Dezibel (kurz: dB). Diese erhält man durch das Umrechnen des Schalldrucks in eine logarithmische Maßzahl (vgl. Lüders/Oppen 2008: 596). Sie gibt die Unterschiedsschwelle des Schalldruckpegels an. Da die Hörempfindung allerdings anhängig von der Frequenz ist, wird die Lautstärke in Phon angegeben. Demnach gilt, dass „die Lautstärke L_s in

Phon […] gleich dem Schalldruckpegel (dB) eines gleich laut empfundenen 1000-Hz-Tones [ist]“ (Lüders/Oppen 2008: 596). Das bedeutet, dass die Lautstärke immer mittels einer Vergleichsmessung im Hörbereich ermittelt wird (Lüders/Oppen 2008: 596f).

Wird die genannte subjektive Schmerzgrenze überschritten, so spricht man von Lärm. Glugla et al. (vgl. 2010: 1) beschreiben Lärm als störende und belästigende Schallwahrnehmung. Lärm beeinflusst dabei das Befinden der Personen im negativen Sinne. Neben der subjektiven Einschätzung, ab welcher Lautstärke eine Person den Schall als Lärm einstuft, sind weitere Faktoren wie Dauer und Tonhöhe zu beachten (vgl. ebd.: 1). Als schmerzhaft werden Schalldruckpegel ab 110 dB bezeichnet. Unser Ohr wird meist täglich mit Lärm im Verkehr, auf Veranstaltungen oder am Arbeitsplatz konfrontiert (vgl. ebd.: 2). Lärm kann zu gesundheitlichen Problemen führen, weshalb Maßnahmen zur Lärmminderung allgegenwärtig sind. Beispiele dafür sind Lärmschutzwände aus schallschluckenden Materialien wie beispielsweise Styropor und Dämmwolle sowie schallabsorbierende Fenster (vgl. Glugla et al.: 3).

5.8 Erscheinungen der Schallausbreitung

Den folgenden Erscheinungen geht das Huygens-Fresnel’sche Prinzip voraus. Die Wellenfläche ist der Ort der Punkte, „die von einer Welle in gleichen Zeiten vom Anregungszentrum aus erreicht werden“ (Lüders/Oppen 2008: 506). Demnach schwingen alle Punkte der Wellenfläche gleich, weswegen sie sich nicht vom Anregungszentrum unterscheiden und diese somit nach Huygens eigenständige Anregungszentren darstellen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 506). Er beschreibt: „Jeder Punkt einer Wellenfläche sendet zur gleichen Zeit Wellen (sogenannte Elementarwellen) aus. Die äußere Einhüllende dieser Elementarwellen soll […] die tatsächlich beobachtbare Welle ergeben“ (Lüders/Oppen 2008: 506). Mit diesen Überlegungen Huygens können im Folgenden vor allem die Reflexion und die Brechung erklärt werden. Durch die Erweiterung Fresnels entstand das Huygens-Fresnel’sche Prinzip, mit dem auch die Beugung der Wellen beschrieben werden kann (vgl. Lüders/Oppen 2008: 507). Dieses erweitert das Huygens’sche Prinzip um eine Verknüpfung mit dem Interferenzprinzip, sodass „man ganz allgemein den Schwingungszustand eines Punktes im Wellenfeld als Überlagerung sämtlicher Elementarwellen in diesem Punkt betrachten kann“ (Lüders/Oppen 2008: 507). Diese

Erkenntnisse der allgemeinen Wellenlehre können wie folgt auf die Ausbreitung von Schallwellen übertragen werden.

5.8.1 Reflexion

Eine Reflexion der Schallwellen tritt dann auf, wenn diese auf ein Hindernis treffen. Ein bekanntes Beispiel dafür ist das Echo, welches nur entsteht, wenn man sich in der Entfernung d zum Hindernis befindet (vgl. Lüders/Oppen 2008: 531). Diese Entfernung kann aus der Gleichung $2d = \frac{1}{5} \cdot 340m$, also d = 34m berechnet werden. Dabei steht $\frac{1}{5}$ für die Zeit, die zum Sprechen einer Silbe benötigt wird, und 340m für die Schallgeschwindigkeit in der Luft (vgl. Lüders/Oppen 2008: 531). Steht man von einem Hindernis also um das Vielfache dieser Entfernung weg, so werden die Schallwellen reflektiert und es kann ein Echo wahrgenommen werden. Ist die Strecke geringer als die Entfernung d, so wird der reflektierte Schall schon wahrgenommen, bevor die Silbe ausgesprochen wurde (vgl. ebd.: 531f). Das Echo geht dann in den Nachhall über, welcher zur Hörbarkeit positiv beitragen kann. Dabei kommt es vor allem auf die Nachhallzeit an. „Als Nachhallzeit eines Raumes wird die Zeit definiert, in der die Schallenergie auf den millionsten Teil abnimmt“ (Lüders/Oppen 2008: 532). Dadurch, dass nur wenig Schallenergie verloren geht, ist der Schall beispielsweise in Räumen deutlicher wahrnehmbar. Der akustische Reiz dauert hier länger an, indem die Schallwellen an den Wänden reflektiert werden (vgl. ebd.: 532). Die Nachhallzeit ist abhängig vom Material der Hindernisse, an denen der Schall reflektiert wird. Werden schallabsorbierende Materialien verwendet, dann wird die Nachhallzeit verringert und der Schall kann demnach schlechter wahrgenommen werden (vgl. Lüders/Oppen 2008: 532).

5.8.2 Brechung

„Bei schrägem Einfall einer Schallwelle auf die Trennfläche zweier Medien von verschiedener Schallgeschwindigkeit findet neben einer Reflexion stets auch eine Brechung eines Teils der Schallenergie in das zweite Medium hinein statt“ (Lüders/Oppen 2008: 533-544). Der Schallwiderstand beider Medien und der Einfallswinkel bestimmen die Anteile an reflektiertem und gebrochenem Schall.

Gehen die Strahlen vom ersten in das zweite Medium über, so gilt folgendes Brechungsgesetz (vgl. Lüders/Oppen 2008: 534):

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

Beim Übergang eines Mediums mit der geringen Schallgeschwindigkeit c_1 in eines mit größerer Schallgeschwindigkeit c_2, ist der Einfallswinkel α kleiner als der Brechungswinkel β. Erhöht sich der Einfallswinkel, nimmt auch der Brechungswinkel zu, wodurch die Wellen vom Einfallslot weg gebrochen werden (vgl. ebd.: 534). Überschreitet der Brechungswinkel den Wert von 90°, so kommt es zur Totalreflexion. Eine Brechung der Schallwellen ist dann nicht mehr möglich. Im umgekehrten Fall, also wenn der Einfallswinkel größer als der Brechungswinkel ist, dann werden die Schallwellen zum jeweiligen Einfallslot hin gebrochen (vgl. Lüders/Oppen 2008: 534). Die Brechung kann vor allem über weite Entfernungen wahrgenommen werden. Durch die Veränderung der Schallgeschwindigkeit bei Zunahme der Temperatur der Luft durchtritt die Schallwelle bei der Ausbreitung in der Atmosphäre verschieden warme Schichten, wodurch sich die Schallwelle nicht mehr geradlinig ausbreiten kann (vgl. Borucki 1989: 133).

5.8.3 Beugung

Die Beugung der Schallwellen tritt dann auf, wenn Objekte die geradlinige Ausbreitung der Schallwellen stören (vgl. Borucki 1989: 74). Es wird der Teil der Schallwelle abgelenkt, der am Rand des Hindernisses vorbeiläuft. Dadurch bilden sich unscharfe Schatten und die Schallwelle beugt sich um das Hindernis (vgl. Borucki 1989: 74). Auch die sich hinter dem Objekt befindlichen Teilchen werden von der Schallwelle getroffen und in Schwingung versetzt, wodurch auch dort der Schall wahrnehmbar ist (vgl. ebd.: 74). Schallwellen können lediglich von Hindernissen gebeugt werden, deren Größe im Bereich der Wellenlängen liegt (vgl. Lüders/Oppen 2008: 536). Auch an Kanten, Spalten und Gittern werden die Schallwellen gebeugt. Festzustellen ist, dass beim gleichen Objekt „die Beugung umso ausgeprägter [ist], je größer die Wellenlänge des Schalls, je tiefer also der Ton ist“ (Borucki 1989: 133).

5.8.4 Absorption und Dissipation

Die bisher beschriebenen Erscheinungen gehen von keinem Energieverlust bei der Ausbreitung der Schallwellen aus. Allerdings nimmt die Schallenergie bei der Schallausbreitung durchaus ab (vgl. Lüders/Oppen 2008: 536). Ausgegangen wird dabei von der Schallintensität, da diese die Energie pro Zeit und Fläche angibt. Die Intensitätsabnahme ist bei ebenen Wellen durch die Dissipation zu beschreiben, welche bei der Schallausbreitung stattfindet und von der Absorption zu unterscheiden ist (vgl. ebd.: 536f). Die Absorption erfolgt aufgrund von unvollständiger Reflexion der Schallwellen an einem Objekt aus schallschluckendem Material. Die Schallwellendissipation resultiert aus Ausgleichsprozessen bei der Schallwellenausbreitung (vgl. ebd.: 536f). Die Differenzen der Temperatur und des Drucks werden aufgrund der Molekülbewegungen abgebaut und die Schallenergie somit in Wärme umgewandelt. Die Schallintensität sinkt demnach ab (vgl. Lüders/Oppen 2008: 537). Zur Absorption der Schallwellen werden Materialien mit Poren verwendet, die beim Auftreffen der Schallwelle eine Querschnittsverengung darstellen. Durch die Reibung der Schallwellen an den Poren geht viel Schallenergie verloren, indem diese sich in thermische Energie umwandelt (vgl. ebd.: 538).

6 Schülervorstellungen im naturwissenschaftlichen Unterricht

Nach Wiesner et al. (vgl. 2015: 29) sei das bereits vorhandene Wissen des Lernenden der wesentliche Einflussfaktor für das künftige Lernen. Denn Schüler*innen entwickeln im Kontakt zu physikalischen Begriffen oder Phänomenen gewisse Zuweisungen und Tendenzen ihrer eigenen Interpretation oder Beschreibung, welche von der eigentlichen physikalischen Bedeutung abweichen oder dieser sogar gegenüberstehen (vgl. Schecker/Duit 2018: 9f). Diese Dispositionen werden als Schülervorstellungen bezeichnet. Die Lernenden besitzen zu identischen Sachverhalten verschiedene Vorstellungen neben den vorhandenen physikalischen Vorstellungen (vgl. ebd.: 9f) Welche der vorhandenen Vorstellungen abgerufen werden kommt auf die Anwendungssituation und die Formulierung an. Dabei fällt es den Lernenden oft schwer ihre Vorstellungen selbst zu versprachlichen (vgl. Schecker/Duit 2018: 9). Auffällig ist, dass zu typischen Phänomenen meist gleiche oder ähnliche Vorstellungen von den Lernenden konstruiert werden (vgl. ebd.: 10).

Schülervorstellungen entstehen hauptsächlich außerhalb der Schule in alltäglichen Situationen und Erfahrungen. Diese sind zumeist tief verankert, da sie sich in ihrer Anwendung im Alltag bewähren und durch andere Erfahrungen weiter verstärkt werden (vgl. Duit 2002: 1). Sie können sich auch im Unterricht aufgrund von Lernschwierigkeiten entwickeln. Gerade die in Medien und im Alltag vorkommende Sprache führt zu Schülervorstellungen, da die Ausdrücke sich zumeist von der physikalischen Bedeutung unterscheiden (vgl. Schecker/Duit 2018: 13f).

Ein einfaches Aussortieren und Eintauschen der bestehenden durch physikalische Vorstellungen im Unterricht ist nicht möglich (vgl. Wilhelm/Schecker 2018: 40). Die Schülervorstellungen werden nie ganz vergessen und können beispielweise in der alltäglichen Kommunikation wieder aktiviert werden. So beobachten Lernende oft nicht das, was von der Lehrkraft intendiert wurde, sondern das, was ihren Vorstellungen entspricht (vgl. ebd.: 40). Das Gleiche geschieht, wenn ein Experiment zu einem anderen Ergebnis kommt als die Schüler*innen aufgrund ihrer Vorstellungen erwartet hätten. Statt ihre Vorstellungen zu überdenken werden falsche Argumentationen herangezogen, um die eigene Vorstellung zu verteidigen (vgl. Duit 2002: 9).

Die Lehrkraft sollte demnach die Schülervorstellungen in allen Unterrichtsphasen berücksichtigen und physikalische Vorstellungen aufweisen und festigen, um diese bewusst neben den Schülervorstellungen abzuspeichern (vgl. Wilhelm/Schecker 2018: 40). Dabei sollten die Lernenden die Vorstellungen voneinander unterscheiden und abgrenzen können. Die Vorstellungen müssen dafür weiterentwickelt oder verändert werden. Man spricht dabei von einem Konzeptwechsel (vgl. ebd.: 40). Der Konzeptwechsel, auch conceptual change genannt, kann nur dann erfolgen, wenn die Lernenden mit ihren Konzepten nicht zufrieden sind und das neue Konzept schon teilweise verstanden wurde (vgl. Hopf/Wilhelm 2018: 28). Dazu muss das neue Konzept intuitiv und verständlich sowie auf andere Situationen übertragbar sein (vgl. Hopf/Wilhelm 2018: 28). Diese Prozesse des Konzeptwechsels verlaufen schrittweise, da das vorhandene Wissenssystem unter kognitivem Aufwand umstrukturiert werden muss (vgl. ebd.: 29).

Bei der Unterrichtsplanung sollten die Vorstellungen eingeplant werden und die Methoden und Medien dahingehend gewählt werden, dass die Lernenden Inhalte nicht anders interpretieren, als von der Lehrkraft beabsichtigt (vgl. Duit 2002: 12f). Die

Einheit sollte so geplant sein, dass die Lernenden die Möglichkeit haben, sich in verschiedenen Situationen mit den neuen Vorstellungen zu befassen. Die Lernenden sollten zum Konstruieren des Wissens und zum ständigen Reflektieren der eigenen Lernprozesse angeregt werden (vgl. Duit 2002: 12f).

6.1 Schülervorstellungen zum Schall

Nach Duit (vgl. 2002: 2) sei eine häufig zu beobachtende Vorstellung, dass der Ton aus dem Instrument hervorgelockt werden muss und dieser dann durch die Luft zu unserem Ohr fliegt. Dabei schließen die Kinder oft darauf, dass der Ton besser durch die Luft fliegen kann als durch feste Körper, da letztere den Ton beim Ausbreiten behindern (vgl. Duit 2002: 2). Wie in Kapitel 5 beschrieben leiten feste und flüssige Medien den Schall besser als gasförmige. Auch Wodzinski und Wilhelm (vgl. 2018: 252) kommen zu dieser Feststellung. Die Kinder scheinen der Ansicht zu sein, dass der Ton im Instrument ist und daraus hervorgelockt wird. Auch die Ausbreitungsmedien werden von den Kindern nicht bedacht (vgl. Wodzinski/Wilhelm 2018: 253). Der Ton geht nach ihrer Vorstellung von der Schallquelle durch den Raum und kommt dann wieder zur Quelle zurück. Die schwingenden Luftteilchen können sie sich nicht vorstellen (vgl. ebd.: 253). Bei der Schallausbreitung in festen Körpern vermuten sie, dass sich darin Luft befinden muss. Auch eine Unterscheidung von Tonhöhe und Lautstärke fällt den Kindern meist schwer (vgl. ebd.: 253). Dass sich Schall im ganzen Raum ausdehnt, verstehen die Kinder meist erst in der vierten Klasse (vgl. ebd.: 253). Laut Hopf und Wilhelm (vgl. 2018: 199) denken die Schüler*innen, dass neben der Energie und dem Impuls auch die Materie von der Schallwelle bewegt wird. Die Schallwelle besteht nach ihren Vorstellungen aus Luftteilchen, die von der Quelle aus weiter transportiert werden (vgl. ebd.: 199). Dabei unterscheiden sich die Vorstellungen darin, dass einige denken die Teilchen bewegen sich hin und her und andere, dass sie sich nur von der Quelle wegbewegen. Wiederum andere denken, dass eine Teilchenansammlung durch die Schallwelle transportiert wird (vgl. ebd.: 199).

Linda Kloppenburg (vgl. 2020) hat sich im Rahmen ihrer wissenschaftlichen Hausarbeit mit diesem Thema beschäftigt und mithilfe leitfadengestützter Interviews die Schülervorstellungen von insgesamt zwölf Grundschulkindern zum Thema Schall erforscht. Auch sie konnte feststellen, dass die Kinder bei der Schallerzeugung denken, dass der jeweilige Gegenstand oder seine Vibration den Ton erzeugt oder ihm so

entlockt wurde (vgl. Kloppenburg 2020: 58f). Laut Begründung einiger Kinder nehmen sie den Schall wahr, weil der Ton in ihr Ohr - einige nennen das Trommelfell als Empfänger des Schalls – fliegt. Zudem gehen einige davon aus, dass die Lautstärke des Tons eine Voraussetzung für das Hören des Tons ist (vgl. Kloppenburg 2020: 59). Bei der Schallausbreitung denken die meisten Kinder, dass ein Ton durch den Raum fliegt. Die Vorstellungen unterscheiden sich im jeweiligen Modell. Einige Kinder sprechen von einer trichterförmigen Ausbreitung des Tons/Schalls, wobei die Wellen immer größer werden und sich ausbreiten. Das Reflexionsmodell beschreibt, dass sich der Ton/Schall im Raum verteilt und von den Wänden reflektiert wird (vgl. Kloppenburg 2020: 59). Wie man sieht, herrschen viele verschiedene Schülervorstellungen in den Köpfen der Kinder. Im Schülerlabor werde ich nicht explizit auf diese eingehen. Ich versuche die Aufgaben so zu wählen, dass sich keine dieser Vorstellungen der Lernenden bestätigt. Im Schülerlabor soll besonders auf die Ausbreitung des Schalls in festen und gasförmigen Medien eingegangen werden. Dabei möchte ich den Lernenden vermitteln, dass keine Materie transportiert wird und sich die Teilchen lediglich um ihre eigene Ruhelage bewegen.

Teil 3: Entwicklung des Schülerlabors

7 Didaktische Überlegungen zum Schülerlabor Schall

Im folgenden Kapitel werden einige didaktische Überlegungen beschrieben, die zur Entwicklung und Planung des Schülerlabors beitragen. Dabei gehe ich unter anderem auf curriculare Vorgaben, die Lernvoraussetzungen der Schüler*innen und die didaktische Reduktion des Themas ein.

7.1 Bezug zum Lehrplan

Bei der Entwicklung des Schülerlabors sollte der Lehrplan für Grundschulen in Hessen einbezogen werden, da sich ein klassisches Schülerlabor durch seinen thematischen Bezug zur Schule und dem Lehrplan auszeichnet (vgl. Haupt et al. 2013: 6f). Im Rahmenplan für hessische Grundschulen wird der Schall unter dem Punkt Naturphänomene im Sachunterricht genannt. Im ersten und zweiten Schuljahr sollen sich die Schüler*innen den jeweiligen Phänomenen vor allem spielerisch annähern (vgl. Hessisches Kultusministerium o.J. b: 136). Die Schallentstehung und -erzeugung werden durch das Erzeugen von Klängen mittels verschiedener Gegenstände erfahren (vgl. ebd.: 136). Die Schallübertragung ist im dritten und vierten Schuljahr verordnet. Hier sind die Schüler*innen bereits in der Lage, zielgerichtete und selbstständige Versuche durchzuführen und auszuwerten. So sollen „Experimente mit Schallübertragung […] (im Wasser, in Luft, durch Stein usw.)“ (Hessisches Kultusministerium o.J. b: 136) in der Klasse durchgeführt werden. Beide Ansätze zur Erfahrung des Schalls werden im Schülerlabor berücksichtigt.

Im Lernfeld Körper wird die Wahrnehmung der eigenen Sinne in unterschiedlichen Kontexten beschrieben (vgl. Hessisches Kultusministerium o.J. b: 140). Auch diese werden im Rahmen des Schülerlabors angesprochen. So sollen die Schüler*innen den Schall nicht nur durch das Hören, sondern auch durch das Sehen und Fühlen erfahren (vgl. Hessisches Kultusministerium o.J. b: 140). Die Lerneinheit sollte so gestaltet werden, dass die Kompetenzbereiche Erkenntnisgewinnung, Kommunikation und Bewertung gefördert werden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 12).

Die *Erkenntnisgewinnung* beschreibt die handlungsorientierte und selbstbestimmte Erfahrung der Welt im Zusammenhang mit dem Vorwissen, den Interessen und den Lernerfahrungen der Schüler*innen (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 12). Anhand situationsorientierter Probleme und der eigenständigen Entwicklung von Lösungsansätzen erforschen die Schüler*innen Sachverhalte und Phänomene. Außerdem erschließen sich dadurch Zusammenhänge des erworbenen Wissens und der gemachten Erfahrungen (vgl. ebd.: 12).

Ihre Umwelt erschließen die Lernenden durch die Verwendung von Sprache (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 12). Der Kompetenzbereich *Kommunikation* sollte dementsprechend im Unterricht gefördert werden, um den Lernenden einen sachbezogenen und erkenntnisfördernden Austausch zu ermöglichen (vgl. ebd.: 12). Ihnen sollte die Möglichkeit gegeben werden, über Beobachtungen zu kommunizieren und Erklärungsmodelle erarbeiten zu können (vgl. ebd.: 12). Dies kann sich auch auf andere Lernbereiche positiv auswirken.

Die *Bewertung* von Handlungen und dem erworbenen Wissen soll die Schüler*innen zum kritischen Denken anregen (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 12f). Sie sollen lernen Entscheidungen abzuwägen und neue Erkenntnisse mit bereits erworbenem Wissen in Verbindung zu bringen und zu überprüfen. Um Empathie zu entwickeln und die Perspektiven anderer übernehmen zu können, müssen die Schüler*innen erlernen, neue Erkenntnisse zu bewerten, Entscheidungen zu begründen und solidarisch miteinander umzugehen (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 12f).

7.2 Überfachliche Kompetenzen

Im Rahmen des Schülerlabors wird der Erwerb folgender überfachlicher Kompetenzen gemäß dem Kerncurriculum für hessische Grundschulen (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011) angestrebt. Die überfachlichen Kompetenzen werden von den Schüler*innen fächer- und jahrgangsübergreifend kontinuierlich aufgebaut, um in ihrem späteren Leben verantwortungsbewusst und selbstbestimmt handeln zu können (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 8).

Die *personale Kompetenz* umfasst die Fähigkeit, durch die Entwicklung eines positiven Selbstkonzeptes selbstbestimmt zu handeln. Dazu gehört die Fähigkeit, das

eigene Handeln zu regulieren und sich der Situation angemessen zu verhalten (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 8). Diese Kompetenz erweitern sie im Schülerlabor durch das selbstbestimmte Arbeiten und das Erarbeiten von unbekannten physikalischen Phänomenen. Sie werden dazu aufgefordert ihre Vermutungen zu verbalisieren und gemeinsam mit ihrem Partner eine Erklärung für das Phänomen zu erarbeiten. Dabei muss der Lernende seine Meinung vertreten und reflektieren sowie die Meinung anderer hinterfragen und akzeptieren können (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 8). Ferner müssen die Schüler*innen Regeln und Anweisungen befolgen. Sie sollen zunächst die Aufgaben und Anleitungen lesen, bevor sie mit den Experimenten beginnen, wodurch ihre Selbstregulation gefördert wird. Der Erwerb der *Sozialkompetenz* wird durch das Wahrnehmen der Bedürfnisse des Partners unterstützt (vgl. ebd.: 8). Die Partnerarbeit ermöglicht es, sich gegenseitig zu helfen und bei Schwierigkeiten zu unterstützen. Zudem lernen die Schüler*innen, achtsam miteinander umzugehen und aufeinander Rücksicht zu nehmen. Bei vielen Experimenten werden mehr als zwei Hände benötigt. Indem die Lernenden gemeinsam experimentieren, wird ihre Kooperation und Teamfähigkeit gestärkt. Auch hier ist es wichtig, dass die Meinung anderer akzeptiert und Kritik an der eigenen Meinung angenommen wird (vgl. ebd.: 8). Das Schülerlabor fördert die *Lernkompetenz* in problemlöseorientierten Aufgaben, durch welche die Lernenden ihre Vorgänge planen und gegebene Informationen für ihren Lösungsweg verwenden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 8). Die Arbeitskompetenz wird durch die Verwendung verschiedener Aufgabenformate erweitert. Sie erlernen neue Strategien des wissenschaftlichen Arbeitens und wenden diese sachgerecht an (vgl. ebd. 8). So wird gleichzeitig ihre Medienkompetenz gefördert, indem die Lernenden mit neuen technischen Medien konfrontiert werden. Diese können sie in authentischen Situationen zur Lösung der Aufgaben verwenden (vgl. ebd.: 8). Ihre Arbeitsergebnisse halten sie in einem geeigneten Medium – in diesem Fall dem Experimentierheft – fest. Außerdem erweitern die Schüler*innen im Rahmen des Schülerlabors ihre *Sprachkompetenz*. Sie lesen die Aufgaben und Versuchsanleitungen und filtern dabei die wichtigsten Informationen heraus, um die Experimente korrekt ausführen zu können (vgl. Hessisches Kultusministerium: 8f). Sie haben die Möglichkeit, ihre Schreibkompetenz weiterzuentwickeln, da einige Aufgaben eine Begründung verlangen und die Schüler*innen demnach eigene Antworten verfassen. Des Weiteren lernen sie neue Fachbegriffe und verwenden diese zur Kommunikation im

Schülerlabor. Diese Kommunikationskompetenz ist für die Förderung vieler anderer Kompetenzen unerlässlich. So lernen die Schüler*innen sich gegenseitig zuzuhören und sachgerecht miteinander auszutauschen. Die Interaktionen sollten abschließend reflektiert werden (vgl. Hessisches Kultusministerium 2011: 9).

7.3 Perspektivrahmen

Im Perspektivrahmen Sachunterricht der GDSU kann das Thema Schall der naturwissenschaftlichen Perspektive, die sich mit der belebten und unbelebten Natur beschäftigt, zugeordnet werden (vgl. GDSU 2013: 37). Das Bildungspotenzial dieses Themenbereichs beruht auf der Frage des Verhältnisses zwischen Mensch und Natur, welches vor allem durch naturwissenschaftliche Erkenntnisse erklärt wird. Den Lernenden soll bewusst werden, inwiefern sie Verantwortung für die Natur tragen. Dies geschieht vor allem unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit und der Gestaltung der zukünftigen Welt (vgl. ebd.:37). Im Zusammenhang mit diesem Themenbereich sollen die Lernenden vor allem naturwissenschaftlich bezogene Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen kennen und anwenden lernen. Die Schüler*innen haben meist schon außerschulische Erfahrungen gemacht und haben bereits Vorwissen aufgebaut (vgl. ebd.: 37f). An dieses sollte im Unterricht angeknüpft werden, denn sie bilden die Grundlage für neue Erfahrungen mit naturwissenschaftlichen Phänomenen der Fächer Chemie, Physik und Biologie. Schwerpunktmäßig sollte dabei vor allem auf das Wahrnehmen und Verstehen von Naturphänomenen eingegangen werden (vgl. GDSU 2013: 38). Zudem sollte den Lernenden die Bedeutung der naturwissenschaftlichen Inhalte und deren Anwendung in alltäglichen Handlungssituationen erklärt werden. Außerdem sollte den Schüler*innen ermöglicht werden, den eigenen Lernprozess reflektieren und bewerten zu können (vgl. ebd.: 38).

An authentischen Beispielen erlernen die Schüler*innen folgende naturwissenschaftliche Denk-, Arbeits-, und Handlungsweisen (vgl. GDSU 2013: 39-42):

- Naturphänomene möglichst objektiv untersuchen und verstehen
- Naturwissenschaftliche Methoden sachgerecht in passenden Situationen anwenden
- Entwicklung und Überprüfung von Vorstellungen und Vermutungen

- Beobachtungen und Versuche planen, durchführen, vergleichen, aus- und bewerten
- Phänomene auf naturwissenschaftliche Gesetzmäßigkeiten zurückführen
- Naturwissenschaftliche Erkenntnisse auf lebensweltlichen Situationen übertragen und durch das Erkennen von Ursache- und Wirkungszusammenhängen verantwortlich handeln
- Bewerten und Reflektieren des eigenen Lernprozesses
  (vgl. GDSU 2013: 39-42)

Diese naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen sollten den Lernenden vor allem im Bereich der nicht lebenden Natur, in den das Thema Schall eingeordnet werden kann, ermöglicht werden. So finden sie auch Beachtung in der methodisch-didaktischen Ausarbeitung des Schülerlabors.

7.4 Lebensweltbezug und Lernvoraussetzungen

Schall ist in unserem Leben allgegenwärtig. Den Sinneseindruck Hören nehmen Kinder ohne Hörbeeinträchtigung den ganzen Tag wahr. Sie unterhalten sich mit ihren Mitmenschen und nehmen unterbewusst täglich Tausende Geräusche wahr. Bereits in der ersten Klasse wird ihnen beigebracht, dass sie der Lehrkraft stets aufmerksam zuhören sollen. Einige Lernende haben eventuell schon Erfahrungen mit Musikinstrumenten gemacht und wissen verschiedene Klänge und Töne voneinander zu unterscheiden. Auch beim alltäglichen Spielen auf dem Schulhof kommen die Kinder mit Schall in Kontakt. Bei Spielen wie Blinde Kuh müssen sich die Kinder auf ihr Gehör verlassen. Sie nehmen wahr aus welcher Richtung verschiedene Geräusche stammen und können diese Menschen und Gegenständen zuordnen, ohne sehen zu müssen. Wir besitzen ein breites Netz an abgespeicherten Schalleindrücken, die wir nur anhand des Hörens zuordnen können, da sie sich in ihrer Charakteristik unterscheiden (vgl. Borucki 1989: 88).

Aber wie entstehen diese Schalleindrücke und wie breiten sie sich aus? Diese Frage versucht das Schülerlabor zu beantworten. Es stellt einen Einstieg in das Thema Schall dar. Außer den lebensweltlichen Erfahrungen mit Schall ist keinerlei physikalisches Vorwissen nötig. Im Musikunterricht oder im Alltag sind Viertklässler schon mit Instrumenten in Kontakt gekommen. So können die Schüler*innen bereits

Schallerscheinungen erzeugen und auf diese reagieren. Sie wissen eventuell schon, wie man verschiedene Instrumente zum Klingen bringen kann. Eine wichtige Voraussetzung für das Schülerlabor ist die Fähigkeit, selbstständig zu arbeiten. Außerdem ist eine gute Lese- und Schreibkompetenz vom Vorteil. Die Lernenden sollten bereits Erfahrungen mit der Stationen- und Partnerarbeit gemacht haben, sodass ein geregelter Ablauf beim Experimentieren gewährleistet werden kann. Eine gute Kommunikationskompetenz ist wichtig, um Vermutungen und Probleme formulieren zu können. Neben diesen Voraussetzungen wäre es schön, wenn sich die Schüler*innen für etwas Unbekanntes begeistern können. Sollte das nicht der Fall sein, hoffe ich ihr Interesse und ihre Motivation durch das Schülerlabor steigern zu können.

7.5 Didaktische Reduktion

Schall als Unterrichtsthematik eignet sich in vielen Klassenstufen und wird dort auch explizit in den jeweiligen Kerncurricula beschrieben. Bereits in der Grundschule kann sich dem Thema unter anderem fächerübergreifend durch den Musikunterricht genähert werden. Da der physikalische Themenbereich Schall sehr komplex ist und die Lernenden in der vierten Klasse noch wenige bewusste Erfahrungen mit der Erzeugung und Ausbreitung des Schalls gemacht haben, stellt dieses Schülerlabor eine Einführung in das Thema dar. Dafür werden die Inhalte didaktisch reduziert, sodass die Lernenden sich dem Thema schrittweise annähern können.

„Didaktische Reduktion findet immer dann statt, wenn umfangreiche und komplexe Sachverhalte aufbereitet werden, um sie für die Lernenden überschaubar und begreifbar zu machen“ (Lehner 2020: 11).
Die Reduktion findet im Rahmen einer Vereinfachung oder Kürzung der Inhalte statt. Dabei wird zwischen der curricularen Reduktion, also der Kürzung und Auswahl des Umfangs der Lerninhalte, und der vermittlungstechnischen Reduktion unterschieden. Bei letzterer steht das Vereinfachen der Inhalte im Vordergrund (vgl. Lehner 2020: 12f). Die didaktische Reduktion ist allerdings kein klar definierter Begriff und kann deshalb in verschiedenen Ausprägungen stattfinden, die an die Lerngruppe angepasst werden müssen (vgl. ebd.: 12f). Für das Schülerlabor wird sowohl die Stofffülle als auch die Komplexität der Inhalte reduziert. Bei der didaktischen Transformation physikalischer Inhalte zu einem Lerngegenstand wird zur Reduktion des Stoffes eine Auswahl der Inhalte getroffen (vgl. Lehner 2020: 121). Dabei habe ich mich

entschieden die in der Sachanalyse in Kapitel 5 beschriebenen Inhalte auf die Themenbereiche Schallwahrnehmung, Schallerzeugung und Schallausbreitung in verschiedenen Medien zu reduzieren. Innerhalb dieser Themenbereiche wurde ebenfalls didaktisch reduziert. So werden gedämpfte Schallquellen wie Stimmgabeln, Saiten und Membranen verwendet und ungedämpfte Schallsender außenvorgelassen. Die Schallausbreitung wird innerhalb des Schülerlabors nur in der Luft und in festen Körpern behandelt. Meiner Meinung nach genügen diese beiden Medien für eine Einführung in das Thema. Wurden diese beiden Ausbreitungsmedien innerhalb des Schülerlabors verinnerlicht, so kann im Anschlussunterricht auf die Schallausbreitung im Wasser eingegangen werden.

Bei der Reduktion der Komplexität geht es vor allem um die Vereinfachung komplexer Inhalte und die Konzentration auf die wichtigsten Inhalte angepasst an die jeweilige Zielgruppe (vgl. Lehner 2020: 121ff). Die Zielgruppen sind in diesem Fall Viertklässler, weswegen die Komplexität geringer gehalten wird. Die Lernenden sollen erfahren, wie Schall erzeugt werden kann. Dabei sollen sie unter anderem laute und leise Geräusche und Klänge erzeugen. Des Weiteren sollen sie erfahren, dass sich Schall in alle Richtungen und in verschiedenen Medien ausbreiten kann. Es werden dabei weder Formeln erarbeitet, noch wird auf einzelne Schallfeldgrößen eingegangen. Die Lernenden sollen im Schülerlabor lediglich anhand verschiedener Phänomene den Schall und einige seiner Eigenschaften kennenlernen.

8 Methodische Überlegungen zum Schülerlabor Schall

Nach den didaktischen Überlegungen folgen nun die Überlegungen zur methodischen Umsetzung der vorangegangenen Punkte. Folgende Überlegungen behandeln unter anderem den Ablauf und die Organisation sowie die Sozialformen und Differenzierung des Schülerlabors.

8.1 Ablauf des Schülerlabors

Da Schülerlabore wissenschaftliche Lernstandorte sind und dadurch meist eine unbekannte Umgebung für die Lernenden darstellen, wird ihnen zunächst der Lernort vorgestellt. Die Betreuer stellen sich vor und begrüßen die Schüler*innen. Daraufhin folgt eine kurze Einweisung in das Schülerlabor und eine Erklärung des Experimentierheftes, des Tagesablaufs sowie der Stationen. Die Lernenden werden auf die im Schülerlabor geltenden Regeln aufmerksam gemacht. Sie sind im Experimentierheft beschrieben, sodass sie jederzeit nachgelesen werden können. Den Schüler*innen wird erklärt, dass sie die fertig bearbeiteten Experimente auf dem Laufzettel abhaken können, um so einen besseren Überblick zu behalten.

Nach einer kurzen Einführung in das Thema dürfen die Lernenden selbstständig experimentieren. Dafür suchen sie sich einen Partner und starten mit einem der Experimente. Die Partner werden am besten schon vor dem Schülerlabor gesucht oder vorab von der Lehrkraft bestimmt, damit den Lernenden mehr Zeit zum Experimentieren bleibt. Die erste Experimentierphase dauert etwa eine Stunde. Danach haben die Lernenden eine 30-minütige Pause. Daraufhin folgt eine zweite einstündige Experimentierphase. Abschließend treffen sich die Lernenden, die Betreuer und die Lehrkraft gemeinsam im Plenum. Es wird in einem gemeinsamen Gespräch über einzelne Experimente gesprochen und der Tag reflektiert. Außerdem können sich die Schüler*innen über ihre Erfahrungen austauschen und Kritik äußern.

8.2 Organisation des Lernortes

Zur besseren Unterscheidung der Stationen und Experimente sind diese farblich markiert. Die Markierungen befinden sich an den einzelnen Stationen in Form von beschrifteten Schildern (vgl. Anhang 5) sowie im Experimentierheft als Lesezeichen

wieder. Jedes Experiment findet an einem separaten Gruppentisch statt. An diesen dürfen nur so viele Schüler*innen gleichzeitig arbeiten, wie auch Stühle zur Verfügung stehen. Auf den Tischen liegen bereits alle benötigten Materialien bereit.

Das Schülerlabor teilt sich auf insgesamt zwei Räume auf. In einem Raum werden die vier Experimente durchgeführt, die eine leise Umgebung benötigen, um den Schall wahrnehmen zu können. Dabei handelt es sich um die Experimente 2a, 2c, 3a und 3c. Die anderen Experimente werden im Hauptraum aufgebaut.

8.3 Konstruktion von Aufgaben im naturwissenschaftlichen Unterricht

Das Experimentierheft soll das selbstständige Experimentieren durch Versuchsanleitungen und ansprechende Aufgabenformate unterstützen. Bewusst aufgenommene und erprobte Lernaufgaben fördern die fachspezifischen Handlungs-, Arbeits- und Denkweisen der Lernenden (vgl. Adamina/Hild 2019: 128). Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie den Lernenden ermöglichen, neu erlerntes Wissen in verschiedenen Situationen eigenständig und situationsgerecht üben und anwenden zu können (vgl. ebd.: 128). Die Lernenden entwickeln neue Kompetenzen und lernen, themenspezifische Aufgaben in immer komplexeren und differenzierten Kontexten zu lösen (vgl. ebd.: 128). In diesem Zusammenhang sollen auch überfachliche Kompetenzen gefördert und individuelle Lernwege ermöglicht werden. Adamina und Hild (vgl. 2019: 121) nennen in diesem Kontext die wichtigsten Merkmale qualitativ hochwertiger Lernaufgaben. Sie sollen durch die Einbettung authentischer Situationen an das Vorwissen der Lernenden anknüpfen und sich dabei an den fachlichen und überfachlichen Kompetenzen orientieren. Ein weiteres Merkmal ist die Anpassung der Aufgaben an die jeweiligen Unterrichtsphasen (vgl. Adamina/Hild 2019: 121). Die Schwierigkeit und das Aufgabenformat sollten an die Phasen angepasst werden, sodass die Lernenden neues Wissen zunächst erarbeiten und dann in verschiedenen Aufgaben anwenden und vertiefen können (vgl. ebd.: 121). Es sollten verschiedene Lösungswege und damit auch leistungsbezogene Differenzierungsmöglichkeiten zur Bearbeitung und in der sprachlichen Präsentation der Aufgaben ermöglicht werden (vgl. ebd. 121) (s. Kap. 9.2). Abwechslungsreiche Aufgabenformate können sich zudem positiv auf die Motivation der Lernenden auswirken (vgl. Adamina/Hild 2019: 121; Fischer/Draxler 2002: 302).

Fischer und Draxler (vgl. 2002: 306) unterscheiden die Aufgabenformate nach verschiedenen Antwortkategorien. Multiple- und Single-Choice-Aufgaben geben den Lernenden mögliche Antworten vor, aus denen sie dann eine oder mehrere korrekte Antworten auswählen müssen. Davon unterscheiden sich Aufgaben, die eine kurze, von den Lernenden eigenständig formulierte Antwort in Form von Stichworten oder einem kurzen Satz verlangen (vgl. ebd.: 307). Die dritte Kategorie bilden Aufgaben, die erweiterte Antworten fordern. Beispiele hierfür sind ausführliche Beweise, das Durchführen von Versuchen sowie die Lösungsdarstellung in Form von längeren Erklärungen oder Skizzen (vgl. Fischer/Draxler 2002: 307).

Außerdem charakterisieren Fischer und Draxler (vgl. 2002: 307) die Aufgabenformate durch die Art ihrer Offenheit. Die Aufgaben unterscheiden sich hinsichtlich des Lösungsweges und der Vorgabeintensität. Offene Aufgaben lassen individuelle Lösungswege und Antworten zu. Diese sind nur minimal durch gegebene Handlungsoperatoren (erkläre, zeichne) vorgegeben (vgl. ebd.: 307). Halboffene Aufgaben seien strukturierter und akzeptieren verschiedene Lösungsmöglichkeiten. Die Aufgabe gibt Vorschläge zur Lösung, wie beispielsweise die Angabe von Methoden oder zu verwendende Mittel (vgl. ebd.: 307). Geschlossene Aufgaben sind strukturierte Aufgaben mit vorgegebenem Lösungsweg zum Beispiel in Form von Versuchsanleitungen (Fischer/Draxler 2002: 306f; Adamina/Hild 2019: 127). So sollten diese Merkmale bei der Erstellung des Experimentierheftes beachtet und abwechslungsreiche Aufgaben- und Antwortformate gewählt werden, um aktivierende und qualitativ hochwertige Lernaufgaben zu erstellen.

8.4 Differenzierung

Im Hinblick auf die zunehmende Heterogenität der Schulklassen und den dadurch entstehenden Herausforderungen stellt sich die Frage, wie Schülerlabore individuelle Lernprozesse für heterogene Besuchergruppen ermöglichen können. Affeldt et al. (vgl. 2018: 256) fassen hierzu verschiedene Ansätze zur Förderung individueller Lernprozesse zusammen. Um diesem Ziel gerecht werden zu können, können verschiedene Differenzierungsmethoden herbeigezogen werden (vgl. ebd.: 256). So können beispielsweise verschiedene, in sich abgestimmte Teilthemen angeboten und durch die Lehrkraft individuell für die Schüler*innen ausgewählt werden. Da die Themen in Teilaspekte unterteilbar sind, ist eine Anpassung an die Absichten der

Lehrkraft und den Lehrplan möglich (vgl. Affeldt et al. 2018: 256). Auch innerhalb der Teilthemen ist es möglich, das Angebot der Experimente zu differenzieren. So können die Experimente an Schwierigkeit sowie kognitiver und motorischer Anforderung zunehmen. Welche Experimente von den Schüler*innen bearbeitet werden können, wird ebenfalls vorab von der Lehrperson bestimmt (vgl. ebd.: 256).

Die Gestaltung der Materialien kann der Differenzierung des Labors beitragen, indem die Experimente und Anleitungen mithilfe sprachlicher und kreativer Hilfen mit Lebensweltbezug gestaltet werden (vgl. Affeldt et al. 2018: 256f). Durch eine sprachlich sensible Gestaltung der Materialien kann Verständnisproblemen vorgebeugt werden. Dazu können Tippkarten zu den jeweiligen Experimenten angeboten werden (vgl. ebd.: 256f). Außerdem sollte eine Begriffsliste der Lernmaterialien genutzt werden, um so benötigte Materialien und Geräte durch ein Bild und den dazugehörigen Begriff zu spezifizieren (vgl. Affeldt et al. 2018: 257). Unbekannte Begriffe können in dieser Liste kurz definiert werden, sodass die Schüler*innen diese bei der Bearbeitung der Aufgaben korrekt verwenden können (vgl. ebd.: 257).

Die Aufgabenstellungen sollten in kurzen Sätzen mit einfachem Satzbau formuliert werden (vgl. Affeldt et al. 2018: 257). Fachbegriffe sollten nur wenn nötig gebraucht werden und die Schrift sollte gut lesbar sein. Es kann vorab entschieden werden, wie offen das Experimentiersetting sein soll, um die Schüler*innen individuell unterstützen zu können (vgl. ebd.: 256f). Mit den genannten Maßnahmen werden die individuellen Lernprozesse heterogener Klassen im Schülerlabor ermöglicht.

8.5 Sozialform

Wie bereits in Kapitel 2.3 beschrieben, sollten bei der methodisch-didaktischen Planung des Besuchs außerschulischer Lernorte die verwendeten Mesomethoden überdacht werden. Da für das Schülerlabor die Aktionsform, das eigenständige Experimentieren und Beobachten, bereits feststeht, sollte an dieser Stelle auch die Sozialform überlegt sein. Die Einführung beginnt mit einer Begrüßung durch die Betreuer im Plenum. Diese Sozialform zu Beginn sinnvoll, da die Aufmerksamkeit der Lernenden so zur Tafel gerichtet ist. Es werden alle wichtigen Informationen und der Ablauf des Labortages geklärt. Auch zum Abschluss treffen sich die Lernenden und

die Betreuer wieder im Plenum zum gemeinsamen Reflexionsgespräch. Während der Experimentierphasen arbeiten die Lernenden in Partnerarbeit. Nach Sauerborn und Brühne (vgl. 2012: 67f) eignen sich an außerschulischen Lernorten am besten Partner- oder Gruppenarbeitsphasen, da sich die Lernenden gegenseitig unterstützen und sie gemeinsam über das Geschehene kommunizieren und reflektieren können. Ich habe mich für die Partnerarbeit statt der Gruppenarbeit entschieden, da viele Experimente, wie beispielsweise der Bau des Dosentelefons, nur zwei Personen benötigen. Finden die Versuche in Partnerarbeit statt, dann können beide Lernenden zur gleichen Zeit am Experiment mitwirken.

Das Schülerlabor ermöglicht demnach kooperatives Lernen. Dieses beschreibt eine Zusammenarbeit von Lernenden zum gemeinsamen Erarbeiten der Unterrichtsinhalte und dem gegenseitigen Unterstützen der Gruppenmitglieder. Dabei arbeiten die Lernenden meist selbstständig und ohne direktes Wirken der Lehrperson (vgl. Ranger 2017: 19). Das Lernen findet dabei auf der kognitiven und sozialen Ebene durch mindestens zwei Lernende statt. Ranger (vgl. 2017: 21) unterscheidet drei Organisationsformen des kooperativen Lernens nach ihrer Dauer, die dadurch gleichzeitig die Komplexität und Intensität der Einheit bestimmt:

- „informelles, kurzfristiges kooperatives Lernen“ (Ranger 2017: 21)
- „formales, längerfristiges kooperatives Lernen“ (Ranger 2017: 21)
- „regelmäßiges, unbefristetes kooperatives Lernen in Stammgruppen“ (Ranger 2017: 21)

Im Schülerlabor ist von einem formalen und längerfristigen kooperativen Lernen zu sprechen. Dabei wird ein bestimmtes Thema für einen längeren Zeitraum – einen Labortag lang – bearbeitet. Der Lerninhalt wird dadurch intensiver und komplexer behandelt (vgl. Ranger 2017: 21).

Ranger (vgl. 2017: 21) beschreibt, dass kooperatives Lernen die Entwicklung der individuellen Leistungen der Lernenden positiv beeinflussen kann. Um dieses Ziel zu erreichen, sollten allerdings neben der Organisationsform weitere methodische Mittel herbeigezogen werden. Eines dieser Merkmale ist die positive Interdependenz. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass die Lernenden in kooperativen Phasen miteinander arbeiten und aufeinander angewiesen sind, statt gegeneinander zu arbeiten (vgl. ebd.: 29). Dies wird beispielsweise durch ein gemeinsames Lernziel möglich, indem den Lernenden nur Teile der Ressourcen, Rollen oder Aufgaben zur Verfügung stehen und

das Ziel nur durch wechselseitiges Helfen erreicht werden kann. Dadurch können eine erfolgreiche Kommunikation und ein produktiver Austausch gefördert werden (vgl. Ranger 2017: 29). Eine förderliche Interaktion zwischen den Lernenden ermöglicht es ihnen, ihr Wissen auszutauschen und Problemlösestrategien zu entwickeln. Die Lernenden unterstützen sich so gegenseitig in ihrem Lernprozess (vgl. ebd. 31). Für eine gute Kooperation ist die Fähigkeit zum Perspektivwechsel nötig, sodass Meinungen anderer bewertet und reflektiert werden können. Außerdem ist zur Optimierung zukünftiger kooperativer Phasen die Reflexion des Lernprozesses, die am Ende des Schülerlabors im Plenum stattfindet, sinnvoll (vgl. Ranger 2017: 32).

Kooperative Arbeitsphasen können positive Effekte auf die Leistungen und die Sozialkompetenzen der Schüler*innen haben (vgl. Ranger 2017: 32f). Deshalb finden die Merkmale des kooperativen Lernens auch bei der Entwicklung des Schülerlabors Beachtung. So müssen die Lernenden beispielsweise die Rollen des Hörers und Sprechers beim Dosentelefon verteilen. Bei anderen Experimenten sollen sie sich ihre Ergebnisse gegenseitig vorstellen.

8.6 Stationenarbeit

Die Stationenarbeit ist eine methodische Unterrichtsform zur Bereitstellung verschiedener Arbeitsaufträge einer übergeordneten Thematik. Dabei orientiert sich das Lernen an Stationen am Konzept des offenen, schülerorientierten Unterrichts (vgl. Zwiorek 2010: 148). Dabei wirken die Ermöglichung individueller Lernprozesse und das selbstständige Arbeiten motivationssteigernd. Durch den entdeckerischen Charakter kann die Stationenarbeit dem forschend-entdeckenden Lernen (s. Kap. 4) zugeordnet werden (vgl. ebd.: 148). Besonders die dort genannten Aktivitäten *Orientieren, Experimentieren, Diskutieren und Anwende*n sowie die *Formulierung und Lösung von Problemen* können auf die Stationenarbeit übertragen werden. Die Gestaltung der Stationen muss den Lernenden die eigenständige Bearbeitung ermöglichen (vgl. ebd.: 148). Die Vorbereitung findet durch die Lehrkraft statt. Sie bereitet die Stationen vor und legt benötigte Materialien und Arbeitsaufträge bereit. Um allen Lerntypen gerecht zu werden, sollten die Stationen bezüglich ihrer Inhalte, des Medieneinsatzes und ihrer Komplexität variieren (vgl. Zwiorek 2010: 148). Bei der Bearbeitung der Stationen kann die Reihenfolge frei gewählt werden (vgl. ebd.: 148). Im Schülerlabor Schall wird die Reihenfolge der Experimente der Stationen 1

und 2 nicht vorgegeben. Sie sollten allerdings zum Aufbau des Vorwissens vor den Experimenten der Station 3 gemacht werden. Eine Zeitvorgabe für die einzelnen Stationen gibt es nicht. Lediglich die Experimentierzeit ist auf zwei Stunden begrenzt. Um stets einen Überblick über die Stationen zu behalten, ist es sinnvoll Laufzettel anzubieten, in denen die Lernenden ihren Fortschritt eintragen können (vgl. Zwiorek 2010: 149). Auch Zwiorek (vgl. 2010: 149) nennt die Wichtigkeit eines gemeinsamen Abschlussgesprächs zur Reflexion der Erkenntnisse und der Klärung von Fragen.

Insgesamt ist die Stationenarbeit eine anspruchsvolle Methode, die zum besseren Ablauf im Schülerlabor bereits beherrscht werden sollte. Sind die Schüler*innen mit der Methode vertraut, bietet diese eine gute Möglichkeit zum eigenständigen Erarbeiten neuer Inhalte in authentischen Situationen (vgl. Zwiorek 2010: 149).

8.7 Überprüfung und Bewertung des Lernprozesses

Im Schülerlabor Schall soll es primär um das Experimentieren, das Kennenlernen von naturwissenschaftlichen Denk-, Arbeits- und Handlungsweisen sowie das Erlernen neuer Inhalte anhand von physikalischen Phänomenen gehen. Darum sollten die Lernenden weder unter Zeit- noch unter Leistungsdruck stehen. Sie sollen die Aufgaben nach ihrem individuellen Leistungsstand bearbeiten können.

Das Experimentierheft ist dazu da, dass die Lernenden ihre Beobachtungen aufschreiben und ihre Erklärungen reflektieren können. Deswegen sollte das Heft auch nicht korrigiert oder bewertet werden. Zur Nachbereitung des Schülerlabors durch die Lehrkraft ist eine Auswertung der Experimentierhefte allerdings wichtig, um anschließend auf Probleme und falsche Vorstellungen eingehen zu können. In der Nachbereitung können die Experimente dann noch mal gemeinsam besprochen und reflektiert werden (vgl. Wiesner et al. 2015: 65). Zudem kann an die Experimente angeschlossen werden, um so ein breiteres Wissen aufzubauen. Auch zur Leistungsfeststellung eignen sich die Experimentierhefte. Wiesner et al. (vgl. 2015: 65) beschreiben zudem, dass die praktische Leistung der Lernenden im Schülerlabor von der Lehrkraft dokumentiert werden kann, um ihnen im Anschluss ein Feedback über ihr Handeln und Verhalten zu geben.

9 Experimentierheft

Das Experimentierheft begleitet und unterstützt den individuellen Lernprozess der Lernenden. Mithilfe abwechslungsreicher Aufgabenformate und Versuchsanleitungen werden die Schüler*innen motiviert und kognitiv aktiviert. Sie haben die Möglichkeit, ihre Erklärungen und Vermutungen nach ihrem eigenen Leistungsniveau zu verschriftlichen. Dabei lernen sie auch offenere Aufgabenformate wie beispielsweise das Zeichnen von Skizzen kennen. Das Experimentierheft darf im Anschluss an den Labortag mitgenommen werden und zur Erinnerung und Nachbereitung im Unterricht verwendet werden. Im Folgenden gehe ich auf den Aufbau und die Differenzierungsmöglichkeiten des Experimentierheftes ein (siehe Anhang 1).

9.1 Aufbau

Auf der Titelseite des Heftes haben die Lernenden die Möglichkeit, ihren Namen, die Klasse und das Datum zu notieren. Schlägt man dann die erste Seite des Heftes auf, findet man einen Laufzettel. Auf diesem können die Schüler*innen bereits erledigte Stationen abhaken, um so einen Überblick zu behalten. Die Stationen-Liste ist in farbige Blöcke unterschieden. Die Experimente der Station 1 und 2 sollen zuerst erledigt werden. Dabei ist die Reihenfolge der Experimente den Lernenden überlassen. Die Experimente der ersten Station widmen sich dem Thema „Schall erzeugen und wahrnehmen“. Bei diesen Experimenten lernen die Schüler*innen wie sie Schall erzeugen und wie verschiedene Schalleindrücke wahrgenommen werden. Die Experimente der Station 2 können dem Themenbereich „Schall durch Schwingungen“ zugeordnet werden. Bei diesen Experimenten lernen die Schüler*innen, wie Schall entsteht und welchen Einfluss mechanische Schwingungen darauf haben. Daraufhin folgt Station 3 zum Thema „Wie breitet sich Schall aus?“. In den vier Experimenten erfahren die Lernenden, wie sich Schall in Luft und festen Körpern ausbreitet. Die letzte Station besteht aus zwei Differenzierungsaufgaben, welche im Anschluss an alle anderen Experimente gemacht werden dürfen.

Zu Beginn des Heftes stehen die im Schülerlabor geltenden Regeln. Sie sollen für einen reibungslosen Ablauf und einen respektvollen Umgang miteinander und mit den Materialien sorgen. Sie werden zu Beginn des Schülerlabors gemeinsam mit den Lernenden besprochen.

Regeln im Schülerlabor

1.) Ich folge den Anweisungen der Betreuer und Lehrer.
2.) Ich gehe ordentlich mit den Materialien um.
3.) Wenn ich mit einem Experiment fertig bin, dann räume ich alles wieder auf.
4.) Ich arbeite gemeinsam mit meinem Partner an einem Experiment.
5.) Ich gehe freundlich mit meinen Mitschülern um.
6.) Ist eine Station besetzt, dann gehe ich zur nächsten.
7.) Bei Problemen frage ich einen Lehrer oder Betreuer.
8.) Ich nehme eine Tippkarte nur, wenn ich nicht mehr weiter weiß.
9.) Bin ich mit allen Stationen fertig, dann darf ich mir eine ★ - Aufgabe aussuchen.

Abbildung 9: Regeln im Schülerlabor

Anschließend werden die Symbole, die im Heft der Veranschaulichung der Aufgaben dienen sollen, besprochen. Um die Aufgabenstellungen verständlicher zu machen, beinhalten die Arbeitsblätter neben leicht verständlichen Sätzen auch Symbole. Jedes Symbol steht für eine Handlung. Sie sind im Experimentierheft genau beschrieben und werden in der Einführung gemeinsam besprochen.

Du sollst etwas **beobachten**.

Du musst genau **zuhören**.

Du sollst deine Überlegungen **aufschreiben.**

Es wird ein **Tipp** gegeben.

Räume die Station und deinen Arbeitsplatz **auf**.

Du darfst selbst **experimentieren**. Folge den Anweisungen.

Vorsicht! Hier musst du aufpassen.

Abbildung 10: Symbolbeschreibung im Experimentierheft

Auf den darauffolgenden Seiten des Heftes finden sich die Aufgabenblätter zu den einzelnen Experimenten. Zur besseren Orientierung befindet sich auf jeder Seite ein farbiges Lesezeichen passend zur Farbe der Stationsschilder. Die einzelnen Experimente werden in Kapitel 10 beschrieben.

Auf Seite 19 des Experimentierheftes findet sich eine Wörtersammlung. Dort sind verschiedene schwierige und unbekannte Begriffe sowie Fachwörter aufgelistet, um möglichen Verständnisproblemen entgegenzuwirken.

9.2 Differenzierungsmöglichkeiten

Wie bereits in Kapitel 8.4 beschrieben gibt es viele verschiedene Möglichkeiten das Schülerlabor differenziert zu gestalten. Die bereits beschriebene Wörtersammlung ist eine dieser Möglichkeiten. Alle schwierigen und unbekannten Wörter, die im Schülerlabor verwendet werden, sind dort mit dem jeweiligen Artikel in Singular und Plural aufgelistet. Zu jedem der Wörter findet sich außerdem ein Bild. Damit kann Verständnisproblemen vorgebeugt werden und die Schüler*innen können gemeinsam über die Experimente kommunizieren. Vor allem Schüler*innen mit Deutsch als Zweitsprache oder Lese-Rechtschreib-Schwierigkeiten kann diese Wörterliste beim Verständnis helfen. Einfache Sätze und die verwendeten Symbole erleichtern ebenfalls das Lesen der Aufgaben.

Des Weiteren werden optionale Tipp-Karten an den jeweiligen Stationen bereitgelegt. Die Tipp-Karten dienen der Unterstützung der Lernenden und können an verschiedenen Punkten der Station verwendet werden. Sie sind nummeriert, bauen aufeinander auf und werden im Experimentierheft an den jeweiligen Stellen genannt. Die Lernenden können dann selbst entscheiden, ob sie die Tippkarten benötigen. Die Sternen-Station dient der Differenzierung leistungsstärkerer Lernender, die während der Bearbeitungszeit schon fertig mit den Stationen sind.

10 Die Stationen und Experimente des Schülerlabors

Bei den im Experimentierheft beschriebenen Experimenten handelt es sich um Schülerexperimente. Einige sind durch Versuchsanleitungen vorgegeben, andere haben einen entdeckenden oder offenen Charakter. Bei allen Experimenten handelt es sich um Freihandexperimente. Sie sind mit wenigen Materialien durchführbar und die eigenen Hände dienen als wichtigstes Werkzeug. Gerade wegen ihrer Einfachheit wirken sie motivierend und lernfördernd. Die Experimente sind sehr alltagsbezogen und ermöglichen dennoch eine Veranschaulichung physikalischer Phänomene (vgl. Schlichting 2010: 131-135).

Im Folgenden wird jedes Experiment und die dazugehörigen Aufgaben im Experimentierheft sowie die damit verbundenen methodisch-didaktischen Überlegungen und Lernziele erläutert.

10.1 Station 1: Schall erzeugen und wahrnehmen

Diese Station besteht aus drei Experimenten und beschäftigt sich mit der Erzeugung und Wahrnehmung verschiedener Schalleindrücke.

10.1.1 Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang

Das Experiment 1a dient zur Differenzierung der vier Schalleindrücke Klang, Ton, Geräusch und Knall. Die Schüler*innen sollen ein erstes Verständnis dafür bekommen, dass sich Höreindrücke unterscheiden und die Begriffe nicht synonym zu verwenden sind. Die Aufgabe soll durch bekannte Schalleindrücke Vorwissen und Erfahrungen der Schüler*innen aktivieren und dadurch einen ersten Lebensweltbezug des Themas herstellen.

Die Schalleindrücke unterscheiden sich vor allem in der Art ihrer Schwingungen (und somit ihrer Frequenz) (siehe Kap. 5). Diese Unterschiede werden didaktisch reduziert dargestellt:

- Ton: gleichmäßige Schwingungen
- Klang: mehrere Töne überlagern sich
- Geräusch: uneinheitliche Schwingungen
- Knall: kurze, starke Schwingung

Nach dieser kurzen Differenzierung der Begriffe folgt eine Zuordnungsaufgabe. Es wird repräsentativ für jeden Schalleindruck ein Beispiel abgespielt.

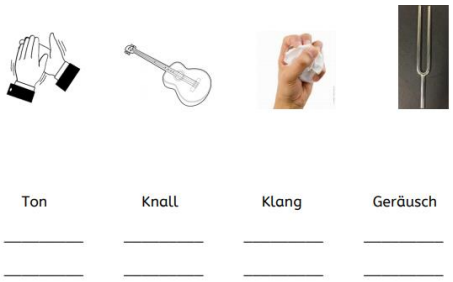


Abbildung 11: Aufgabe Experiment 1a

Die Beispiele sind im Heft durch Bilder dargestellt. Die vier Begriffe „Knall, Ton, Klang, Geräusch“ stehen darunter. Die Aufgabe der Schüler*innen ist es, die Bilder mit dem dazugehörigen Schalleindruck zu verbinden. Abschließend sollen weitere Beispiele für die jeweiligen Eindrücke gefunden werden, die dann auf die dafür

vorgesehenen Linien unter den Begriffen notiert werden sollen. Das Aufgabenformat ist bei dieser Station geschlossen und dient mehr der Wissensvermittlung und Aktivierung statt dem freien Experimentieren, mit dem Lernziel die Schalleindrücke differenzieren zu können.

10.1.2 Experiment 1b: Wir erzeugen Schall

Dieses Experiment ermöglicht den Schüler*innen ein offeneres Experimentieren. Sie dürfen aus folgender Auswahl an Alltagsgegenständen und Instrumenten ihren Untersuchungsgegenstand auswählen: Rassel (Glas mit Reis), Tamburin, Klanghölzer, Ukulele, Alufolie, Steine. Zunächst sollen sie ihren gewählten Gegenstand benennen und diesen je nach Belieben beschreiben oder skizzieren.

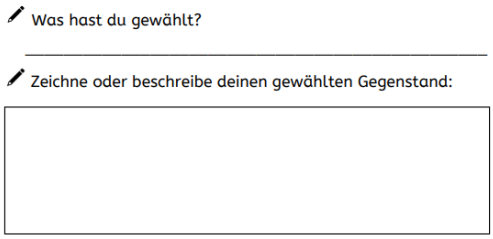


Abbildung 12: Aufgabe Experiment 1b

Danach beginnt das eigentliche Forschen. Die Schüler*innen sollen mit ihrem Gegenstand Geräusche und Klänge verschiedener Lautstärken erzeugen. So lernen sie bewusst Schallwahrnehmungen zu unterscheiden. In ihrer Vorgehensweise sind sie frei. Es wird im Experimentierheft darauf aufmerksam gemacht, dass mit den Gegenständen und Instrumenten vorsichtig umzugehen ist. Nach dieser Experimentierphase sollen die Lernenden beschreiben, wie sie unterschiedlich laute Klänge und Geräusche produzieren können. Dabei wird ihnen die Möglichkeit gegeben, den eigenen Experimentierprozess zu reflektieren. Damit die Schüler*innen nicht nur ihren eigenen Gegenstand und die damit möglichen Schalleindrücke wahrnehmen, sollen sie sich abschließend gegenseitig ihre Erkenntnisse und Gegenstände vorstellen.

So haben die Lernenden die Möglichkeit über ihre Ergebnisse zu kommunizieren und erfahren dabei andere Instrumente und Gegenstände sowie verschiedene Schalleindrücke. Lernziel des Experimentes ist es bewusst wahrzunehmen, inwiefern das eigene Handeln auf Gegenstände einwirkt und von diesen Erfahrungen berichten

zu können. Dieses Experiment wurde nach der Idee von Daniela Hoffmann (vgl. 2010: 167) entwickelt.

10.1.3 Experiment 1c: das Gläserrätsel

Das Gläserrätsel ermöglicht den Kindern ein offenes, forschendes Experimentieren. Dabei ist lediglich der Untersuchungsgegenstand (Gläser, Wasser, Löffel) gegeben. Die Problemstellung lautet: „Kannst du es schaffen, dass alle drei Gläser beim Anschlagen mit dem Löffel unterschiedlich klingen?“. Die Schüler*innen sollen gemeinsam durch Kommunikation und Handeln einen Lösungsweg finden. Durch das Ausprobieren der Materialien und verschiedene Vorgehensweisen sollen sie entdecken, dass die Gläser unterschiedlich befüllt werden müssen. Kommen sie nicht zu dieser Erkenntnis oder wissen nicht weiter, dann gibt es die Möglichkeit, sich an dieser Stelle die Tippkarte zu nehmen:

Abbildung 13: Tippkarte Experiment 1c

Ist eine Lösung des Problems gefunden, dann sollen sie eine Skizze ihres Aufbaus anfertigen.

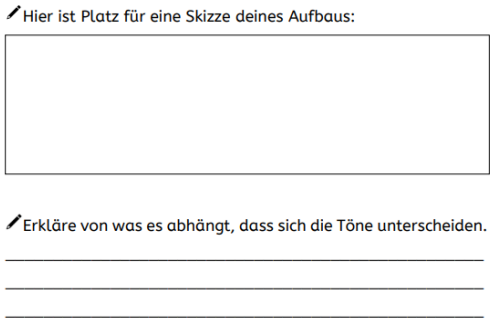


Abbildung 14: Aufgabe Experiment 1c

So haben sie die Möglichkeit ihren Versuch darzustellen und nicht nur enaktiv, sondern auch ikonisch in einem erweiterten Aufgabenformat festzuhalten. Danach soll erklärt werden, weshalb sich die Töne unterscheiden. Lernziel dieses Experimentes ist es, dass die Schüler*innen verstehen, dass der Ton von dem Wasserstand des Glases

und der darüber befindlichen Luftsäule abhängt. Auch die Entwicklung der Problemlösekompetenz wird bei diesem Experiment gefördert. Das Experiment wurde nach einer Idee der SUPRA Lernplattform (vgl. o.J.: www.supra-lernplattform.de) entwickelt.

10.2 Station 2: Schall durch Schwingungen

Mechanische Schwingungen, die von einer Schallquelle ausgehen, breiten sich in Form von Schallwellen im Ausbreitungsmedium aus (vgl. Lüders/Oppen 2008: 524). Diese mechanischen Schwingungen sollen in den folgenden Experimenten anhand verschiedener Schallquellen erfahren werden.

10.2.1 Experiment 2a: das schwingende Lineal

Für dieses Experiment wird lediglich ein Lineal benötigt. Es wird so auf den Tisch gelegt, dass eine Hälfte des Lineals über die Tischkante hinausragt. Die andere Hälfte des Lineals wird mit der Handfläche auf den Tisch gedrückt. Mit einem Finger wird nun das Ende des Lineals vorsichtig runtergedrückt und dann plötzlich losgelassen. Dadurch beginnt das Lineal auf und ab zu schwingen und man kann einen Ton wahrnehmen. Durch diese Versuchsanleitung ist das Experimentierverhalten vorgegeben. Die Aufgabenformate sind offen, da die Lernenden ihre individuelle Lösung notieren können.

Beschreibe was passiert.

Ich höre _____

_____

Ich sehe _____

_____

Abbildung 15: Aufgabe 1 Experiment 2a

So sollen die Lernenden zunächst beschreiben was sie gehört und gesehen haben, um so einen Zusammenhang dieser beiden Eindrücke festzustellen. Im nächsten Teil des Experimentes sollen sie auf die gleiche Weise andere Töne erzeugen. Das Ziel ist es festzustellen, dass die Lautstärke abhängig von der Länge des schwingenden Linealstückes ist. Da laute und leise Töne entstehen können sollte das Experiment in einer ruhigeren Umgebung stattfinden. Sollten die Lernenden nicht darauf schließen

können die Lineallänge zu variieren, so können sie sich die Tippkarte nehmen. Auf dieser steht: „Versuche die Länge des überhängenden Linealstücks zu vergrößern oder zu verkleinern.“

Ihre Erkenntnis soll in folgender Skizze gefestigt werden.

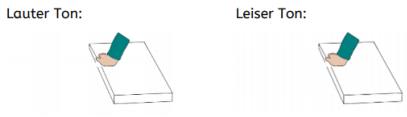


Abbildung 16: Aufgabe 2 Experiment 2a (www.physikdigital.de)

Dazu sollen sie einzeichnen wie das Lineal auf dem Tisch liegen muss, um laute und leise Töne zu erzeugen. Daraufhin folgt ein Lückentext. Dieser soll den Lernenden nochmals aufweisen, dass das Lineal Schwingungen verursacht, wodurch Druckschwankungen in der umliegenden Luft entstehen, welche sich als Schallwellen ausbreiten und so unter anderem zu unserem Ohr gelangen. Als Hilfestellung stehen die einzusetzenden Wörter oberhalb des Lückentextes.

Das Experiment zeigt den Zusammenhang von Tonlautstärke und -höhe mit der Schwingungsamplitude und -frequenz. Da der Begriff der Tonhöhe bislang nicht behandelt wurde und viele Kinder bei der Unterscheidung der Tonhöhe und der Lautstärke Probleme haben (vgl. Wodzinski/Wilhelm 2018: 253), habe ich mich dafür entschieden nur auf die Lautstärke und deren Zusammenhang mit der Schwingungsamplitude einzugehen. Die Lautstärke ist dabei abhängig von der Länge des über die Tischkante ragenden Linealstückes. Je länger das Stück, desto deutlicher sind die Schwingungen und desto größer ist auch die Schwingungsamplitude. Die entstehenden Töne sind demnach leiser. Bei diesem Experiment können die Schüler*innen die Schwingungen des Lineals sehen und hören. So soll sich ein Verständnis zur Schallausbreitung entwickeln.

Das Experiment entstand nach einer Idee von Berthold et. al (vgl. 2012: 526f).

10.2.2 Experiment 2b: kitzelnde Stimmgabel

In diesem Experiment soll erfahren werden, dass Schall nicht nur hörbar, sondern die mechanischen Schwingungen einer Stimmgabel auch sichtbar und fühlbar gemacht werden können. Dafür sollen die Lernenden zunächst einen Zinken der Stimmgabel

anschlagen. Die tönende Stimmgabel soll nun vorsichtig an die Fingerspitzen gehalten werden. Dadurch können die Schüler*innen die kaum sichtbaren Schwingungen der Stimmgabel fühlen. Diesen Sinneseindruck sollen sie in der ersten Aufgabe beschreiben. Im zweiten Teil des Experiments sollen die Lernenden die tönende Stimmgabel vorsichtig in eine Wasserschüssel halten und beschreiben, was sie dabei beobachten. Durch die Ausführung gedämpfter Schwingungen der Stimmgabel ist die Schwingungsamplitude so gering, dass diese eben kaum sichtbar sind (vgl. Berthold et. al 2012: 528). Hält man die tönende Stimmgabel jedoch in Wasser, so werden die Vibrationen der Stimmgabel auf dieses übertragen und dadurch sichtbar gemacht. Es bilden sich Wellen und das Wasser beginnt zu spritzen (vgl. ebd.: 528). Auch diese Beobachtung soll anschließend beschrieben werden. Das Experiment ermöglicht es den Schüler*innen den unsichtbaren Schall durch das Fühlen der Vibrationen und die Übertragung der Schwingungen auf das Wasser besser wahrzunehmen. In der abschließenden Ankreuzaufgabe können sie diese Eindrücke aus dem Experiment festhalten.

Kreuze die richtigen Antworten an:
Das Experiment hat uns gezeigt, dass wir die Schwingungen des Schalls nicht nur hören, sondern auch

☐ fühlen ☐ schmecken

☐ sehen ☐ riechen

Abbildung 17: Aufgabe Experiment 2b

Das Phänomen der Schwingungen, welche sich in Form der Schallwellen ausbreiten, kann so über verschiedene Eindrücke erfahren werden. Auch hier kann auf eine Tippkarte zurückgegriffen werden.

Halten wir uns die vibrierende Stimmgabel an die Hand, dann _____ wir die Vibrationen.

Halten wir die Stimmgabel ins Wasser, dann können wir die Schwingungen _____.

Abbildung 18: Tippkarte Experiment 2b

Das Experiment folgt den Versuchen von Berthold et. al (vgl. 2012: 528) und Hoffmann (2010: 169).

10.2.3 Experiment 2c: die Dosengitarre

In diesem Experiment wird die Wirkung des Resonanzkörpers verdeutlicht. Dafür sollen die Lernenden zunächst ein Gummiband zwischen zwei Finger spannen und zupfen. Sie sollen den dadurch entstandenen Ton wahrnehmen und einordnen. Dazu dient die Ankreuzaufgabe. Die Lernenden sollen einschätzen, ob der entstandene Ton eher leise oder laut war.

Kreuze die richtige Antwort an:
Beim Anzupfen des Gummibandes entsteht ein
□ lauter Ton
□ leiser Ton

Abbildung 19: Aufgabe 1 Experiment 2c

Daraufhin soll eine Dosengitarre aus einer Dose und dem Gummiband gebaut werden. Dafür gibt es zunächst keine Anleitung und die Lernenden sollen die Lösung selbst entdecken. Brauchen sie bei der Lösung dennoch Hilfe, so kann die Tippkarte 1 helfen.

Versuch es doch mal so:

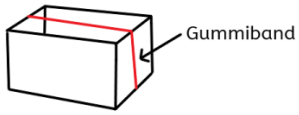


Abbildung 20: Tippkarte Experiment 2c

Die Schüler*innen sollen anschließen eine Skizze ihrer Dosengitarre anfertigen. Nun sollen sie die Dosengitarre zupfen und den entstehenden Ton wahrnehmen. Dabei sollen sich die Schüler*innen auf ihre vorherigen Erkenntnisse beziehen und angeben, ob der nun entstandene Ton lauter oder leiser als der vorherige Ton des Gummibandes ohne Dose ist. Dabei soll erkannt werden, dass der Ton der Dosengitarre lauter zu hören ist.

Kreuze die richtige Antwort an:
Der entstandene Ton ist
□ lauter als zuvor.
□ leiser als zuvor.

Abbildung 21: Aufgabe 2 Experiment 2c

Dieses Ergebnis wird in einem Merksatz festgehalten: „Die Dose ist ein Hohlkörper. Beim Zupfen des Gummibandes schwingt die Luft in der Dose mit. Dadurch wird der Schall lauter. Den Hohlkörper nennt man **Resonanzkörper**“. Ich habe mich für einen Merksatz entschieden, da ich an dieser Stelle den neuen Fachbegriff *Resonanzkörper*

einführen wollte. Dieser wird in zwei Experimenten der Station 3 vorausgesetzt. Abschließend sollen die Lernenden auf ihr Vorwissen zurückgreifen und weitere Musikinstrumente nennen, die ebenfalls einen Resonanzkörper besitzen. Dadurch wird ein lebensweltlicher Bezug des Freihandexperimentes zu Instrumenten hergestellt. Fällt den Lernenden kein Instrument ein, dann können sie sich die Tippkarte 2 nehmen. Auf dieser sind Bilder einer Flöte, einer Geige und einer Trommel. Die Idee für dieses Experiment stammt von Hoffmann (vgl. 2010: 174).

10.2.4 Experiment 2d: die Triangel

Dieses Experiment zeigt den Lernenden, dass der Schall nur lange klingt, wenn die Schallquelle frei schwingen kann. Den Lernenden wird folgende Situation vorgestellt: Einer der Lernenden hält die Triangel an einer Seite fest in der Hand. Der Partner schlägt die Triangel mit dem Schlegel an. Nun sollen die Schüler*innen vermuten was passiert. Ihre Überlegungen können sie in der Ankreuzaufgabe festhalten. Sie können wählen, dass die Triangel klingt oder nicht klingt. Ihre Hypothese sollen sie anschließend kurz begründen.

Daraufhin dürfen die Schüler*innen den Versuch ausprobieren. Auch hier können sie ihre Ergebnisse in einer Ankreuzaufgabe festhalten. Abschließend sollen sie eine Erklärung für das Versuchsergebnis finden. Dazu werden sie gefragt: „Wie würde das ein Wissenschaftler erklären?“

Kreuze nur eine der folgenden Aussagen an und begründe:
Ich vermute die Triangel wird
- ☐ klingen, weil_____
- ☐ nicht klingen, weil_____

Jetzt dürft ihr es ausprobieren.
Was ist passiert?
Die Triangel hat
- ☐ geklungen ☐ nicht geklungen

Wie würde das ein Wissenschaftler erklären?
_____
_____

Abbildung 22: Aufgaben Experiment 2d

Das Experiment folgt der Idee von Hoffmann (vgl. 2010: 170).

10.3 Station 3: Wie breitet sich Schall aus?

Sind alle Experimente der Stationen 1 und 2 durchgeführt, dann können die Lernenden mit Station 3 beginnen. Die vier Experimente dieser Station verdeutlichen die Ausbreitung der Schallwellen in den Ausbreitungsmedien Luft und feste Körper.

10.3.1 Experiment 3a: der wandernde Ton

Für dieses Experiment werden zwei Stimmgabeln der gleichen Frequenz sowie ein Schlegel benötigt. Im Experimentierheft steht eine Versuchsanleitung und ein Bild des Versuchsaufbaus. Die Lernenden sollen beide Resonanzkörper nebeneinanderstellen, eine der beiden Stimmgabeln anschlagen und diese nach kurzer Zeit mit der Hand stoppen. Durch die Anleitung ist der Lösungsweg in gewissem Maße vorgegeben, wodurch dieses Experiment mehr dem Wahrnehmen des Phänomens und weniger dem offenen Entdecken dient. Ist es leise, so können die Lernenden nach dem Stoppen der tönenden Stimmgabel einen leisen Ton wahrnehmen. Damit dieser Ton wahrgenommen werden kann wird auch diese Station im Nebenraum aufgebaut. Den entstandenen Höreindruck sollen sie in der ersten Aufgabe beschreiben. Nun ist es an den Lernenden durch mehrmaliges Versuchen herauszufinden, dass die zweite Stimmgabel in Schwingung versetzt wurde und der leisere Ton von ihr ausgeht.

Was hast du gehört? Probiere es mehrmals und beschreibe.

Wie kannst du dir das erklären?

Du kannst deine Erklärung auch in das Bild einzeichnen.

Abbildung 23: Aufgaben Experiment 3a

In der zweiten Aufgabe, mit ebenfalls erweitertem Antwortformat, sollen die Schüler*innen mit Rückblick auf die vorherigen Stationen eine Erklärung formulieren. Die Erklärung sollte die Ausbreitung der Schallwellen und das Treffen auf die zweite Stimmgabel beinhalten. Wer möchte kann seine Erklärung in das Bild einzeichnen. Wichtigste Erkenntnis dieses Experiments ist, dass sich durch das Schlagen der

Stimmgabel Schallwellen in alle Richtungen ausbreiten. Sie treffen dementsprechend auch auf die zweite Stimmgabel, welche dadurch ebenfalls in Schwingung gebracht wird (vgl. Berthold et al. 2012: 543f).

10.3.2 Experiment 3b: tanzende Körner

Auch dieses Experiment verdeutlicht den Lernenden die Schallübertragung über die Luft. Der mit Frischhaltefolie bespannte Kochtopf wird den Schüler*innen bereitgestellt. Diese legen eine Handvoll Salzkörner auf die Folie. Dann beginnt einer der Lernenden auf eine Trommel zu schlagen. Ihre Beobachtungen sollen sie in einer Skizze festhalten.

Das Phänomen wird anhand eines Kreuzworträtsels erklärt. Im Heft stehen mehrere nummerierte und unvollständige Sätze. Das fehlende Wort muss an der richtigen Stelle im Kreuzworträtsel eingesetzt werden. Das Kreuzworträtsel ist ein geschlossenes Aufgabenformat. Der Lösungsweg ist vorgegeben und nicht individuell variierbar.

1. Schlägt man auf die Trommel, dann beginnt diese zu _____
2. Diese Vibrationen setzen die umliegende Luft _____.
3. Es entstehen sogenannte _____.
4. Sie sind für uns nicht _____.
5. Sie gehen vom Deckel aus in alle Richtungen. Einige treffen auf _____.
6. Diese wird dadurch in _____ versetzt.
7. Diese Schwingung lässt die _____ tanzen.

Abbildung 24: Aufgaben Experiment 3b

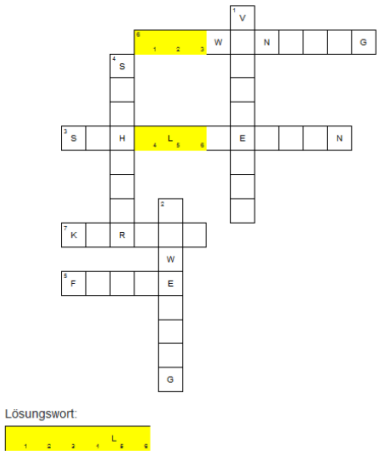


Abbildung 25: Kreuzworträtsel Experiment 3b

Lernziel dieses Experiments ist wie auch bei dem Experiment zuvor die Erkenntnis, dass die eigene Handlung Schwingungen verursacht, die sich in Form von Schallwellen in alle Richtungen ausbreiten. Die von der Trommel ausgehenden Schwingungen treffen auf die Folie und werden so an die Salzkörner weitergegeben Das Idee für das Experiment stammt von Hoffmann (vgl. 2010: 176).

10.3.3 Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?

Nachdem die Lernenden bereits mit Resonanzkörpern und deren Verstärkung des Schalls in Berührung gekommen sind, können sie dieses Wissen in diesem Experiment erweitern. So soll den Lernenden verdeutlich werden, dass sich Schall auch in festen Körpern ausbreitet. Dafür benötigen die Schüler*innen einen Stift und ein Blatt Papier. Sie sollen das Papier auf den Tisch legen, die Form nachzeichnen und beschreiben, was sie hören. Auch dieses Experiment wird im Nebenraum aufgebaut, sodass sich die Lernenden auf den Höreindruck konzentrieren können. Anschließend sollen sie ihr Ohr auf den Tisch legen. Der Partner zeichnet wieder auf dem Blatt. Dadurch werden beide Partner gleichzeitig aktiviert und wechseln sich in ihren Rollen ab. Auch diesmal sollen die Lernenden beschreiben was sie gehört haben. Der Höreindruck ist bei dem zweiten Experiment deutlicher, da der Tisch als Resonanzkörper dient. Hier müssen die Schüler*innen die Erklärung nicht selbst formulieren, sondern lediglich die richtige Antwort ankreuzen. Die Experimentierschritte sind bei diesem Experiment vorgegeben, wodurch kein offenes Experimentieren möglich ist. Die Aufgaben zur Beschreibung des Höreindrucks bieten individuelle Antwortmöglichkeiten. Das Experiment entstand nach der Idee von Hoffmann (vgl. 2010: 178f).

10.3.4 Experiment 3d: das Dosentelefon

Auch in diesem Experiment wird die Schallausbreitung in festen Körpern, in diesem Fall der Schnur, verdeutlicht. Die Bauanleitung für das Dosentelefon ist vorgegeben. Unter Aufsicht eines Betreuers oder einer Lehrkraft sollen die Schüler*innen ein Loch in den Becherboden bohren. Darauf wird mit dem Warnzeichen aufmerksam gemacht. Danach sollen die Lernenden beide Enden der Schnur in die Löcher des Becherbodens fädeln und die Schnurenden zuknoten. Das fertige Dosentelefon ist neben der Anleitung zur Unterstützung dargestellt. Nun folgt die Versuchsanleitung. Die Lernenden sollen sich hierfür auf den Flur begeben, da sie dort am meisten Platz haben. Die Schnur muss strammgezogen werden. Die Schüler*innen müssen die Rollen Hörer und Sprecher aufteilen und sich abwechseln. Durch das kooperative Arbeiten lernen die Schüler*innen Rücksicht aufeinander zu nehmen. Der Versuch funktioniert nur, wenn sich beide Partner absprechen und immer nur einer in den Becher spricht, während der andere zuhört.

Ist euer Dosentelefon fertig? Dann geht auf den Flur. Jeder nimmt einen Becher in die Hand. Die Schnur muss stramm gespannt sein. Nun spricht einer von euch leise in den Becher. Der andere muss sich den Becher ans Ohr halten.

Konntet ihr euch trotz der Entfernung hören?

Erkläre wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt.

_____

_____

Abbildung 26: Aufgabe Experiment 3d

Nach dieser Versuchsphase sollen die Lernenden erklären, wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt. Auch hierfür liegt eine Tippkarte bereit. Auf dieser steht: „Überlege dir wo du hineinsprichst. Auf welchem Weg breiten sich die Schallwellen von dort wohl aus?“

Der Schall breitet sich folgendermaßen aus: Die Luft im Becher wird in Schwingung versetzt sobald jemand in den Becher hineinspricht. Am Becherboden übertragen sich diese Schwingungen auf die Schnur, von wo aus sie sich als Schallwellen fortpflanzen. Am Ende der Schnur übertragen sich die Schallwellen auf den anderen Becher. Die Druckschwankungen der Luftteilchen im zweiten Becher breiten sich bis zum Ohr des Hörers aus (vgl. Berthold et al. 2012: 501).

Diese Erklärung wird von den Lernenden nicht erwartet. Das Lernziel ist erreicht, wenn ihre Erklärung eine Ausbreitung des Schalls von dem Becher über die Schnur zum nächsten Becher beschreibt. Das Experiment wurde von Berthold et al (vgl. 2012: 501) inspiriert.

10.4 Sternen-Station

Beide Aufgaben dieser Station dienen der Differenzierung. Da ich die Schnelligkeit der Schüler*innen vorab schlecht einschätzen kann, haben die leistungsstarken Lernenden die Möglichkeit folgende Aufgaben zu bearbeiten. Beide Stationen können auch als Nachbereitung mit der ganzen Klasse im Unterricht durchgeführt werden. Dabei kann beispielsweise auf das Ohr eingegangen werden und wie es den Schall zu einem Höreindruck umwandelt.

10.4.1 Richtungshören

Unser Ohr weist eine Richtungsempfindlichkeit auf (Kap. 5.6), die in folgendem Experiment von den Lernenden entdeckt werden kann. Zunächst werden die Lernenden nach ihrer Vermutung gefragt. Sie sollen ankreuzen ob unsere Ohren die Richtung der Schallquelle wahrnehmen oder nicht wahrnehmen können. Danach dürfen sie ihre Vermutung überprüfen. Dafür benötigen sie ein bereits gebasteltes Gerät. Dieses besteht aus einem Schlauch, an dem zwei Trichter an den Enden befestigt sind. Die Trichter hält sich einer der Schüler*innen an beide Ohren. Der Schlauch hängt dabei am Rücken des Lernenden herunter. Der Partner klopft mit einem Stift auf den Schlauch und der Hörer muss die Richtung der Schallquelle bestimmen. Diese Versuchsanleitung wird den Schüler*innen in einfachen Sätzen dargestellt. Ihre Versuchsergebnisse sollen sie in einer Tabelle festhalten.

Finde es heraus! Nimm den Schlauch. Halte dir die Trichter an die Ohren. Dein Partner steht hinter dir und tippt den Schlauch an verschiedenen Stellen mit einem Stift an. Er notiert die Ergebnisse. Danach tauscht ihr.

Hat euer Partner richtig ✓ oder falsch ✗ gelegen?

Experiment 1: Wer hört? _____

	Rechts	Mitte	Links
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			

Abbildung 27: Aufgaben Richtungshören

Haben sie diese Richtungsempfindlichkeit der Ohren zuvor nicht vermutet, so wissen sie nach dem Experiment, dass unsere Ohren sehr wohl die Richtung der Schallquelle ausmachen können. Das Experiment entstand nach der Idee von Berthold et al. (vgl. 2012: 497).

10.4.2 Unser Ohr

Diese Station besteht aus einem Informationstext zum menschlichen Ohr. Die Sätze sind kurz und leicht lesbar. Die wichtigsten Wörter wurden markiert. Der Text beschreibt den Weg des Schalls durch unser Ohr. Die markierten Wörter sollen anschließend an die richtige Stelle in der Skizze eingetragen werden. Danach sollen die Lernenden den Weg des Schalls mit einem Buntstift einzeichnen und die drei Bereiche des Ohres benennen.

Teil 4: Auswertung und Reflexion des Schülerlabors

11 Auswertung und Reflexion des Schülerlabors

Im Folgenden werde ich die Erprobung des Schülerlabors auswerten und die daraus resultierenden Erkenntnisse bewerten und reflektieren.

Zuvor möchte ich anmerken, dass das Schülerlabor aufgrund der Corona-Pandemie in den Schulen stattfinden musste. Die Wirkung des Schülerlabors als außerschulischer Lernort kann also in diesem Fall nicht bewertet werden. Dennoch hatten die Lernenden die Möglichkeit naturwissenschaftliche Werkzeuge und Arbeitsweisen kennenzulernen, da viele Materialien aus der Physik-Sammlung ausgeliehen werden konnten. Unter ständiger Einhaltung der Hygienemaßnahmen für hessische Grundschulen konnte das Schülerlabor zwischen dem 27. – 29.10.2020 an der Grundschule Harheim stattfinden. Zur Betreuung der Klassen standen nur die Lehrkraft und ich zur Verfügung, da andere Personen außerhalb des Kollegiums die Klasse aufgrund der Hygienekonzepte nicht betreuen durften.

Die Schüler*innen der drei Klassen mussten dabei, wie auch im normalen Unterricht, beim Verlassen ihres Platzes einen Mund-Nasen-Schutz tragen. An den Stationen selbst durften sie diesen abnehmen. Die Partnerarbeit musste mit dem Banknachbar erfolgen. Dadurch kamen wenige ungünstige Partnerkonstellationen zusammen, wie beispielsweise zwei leistungsschwächere Lernende. An allen drei Labortagen wurden zwei Räume, der Klassenraum und die Garderobe genutzt. In der Garderobe waren die Experimente 2a, 2c, 3a und 3c aufgebaut, da diese Experimente ein ruhigeres Umfeld benötigen.

Im Folgenden werde ich zunächst die Lerngruppen kurz beschreiben. Daraufhin folgt eine Auswertung des Zeitmanagements, der Partnerarbeit sowie der Differenzierung. Anschließend werte ich die Experimente anhand der Schülerantworten aus den Experimentierheften aus. Dabei gehe ich auf mögliche Schwierigkeiten ein und versuche das Experimentierheft dahingehend zu verbessern (Anhang 2).

11.1 Lerngruppenanalyse

Am 27.10.2020 wurde das Schülerlabor mit der Klasse 4c durchgeführt. Diese besteht aus 26 Lernenden und teilt sich in 12 Mädchen und 14 Jungen auf. Einer der Schüler hat Autismus. Er hat die Stationen ebenfalls mit seinem Partner bearbeitet. Dabei hat ihn seine Integrationshelferin unterstützt und motiviert. Am darauffolgenden Tag durfte die Klasse 4b bestehend aus 11 Mädchen und 15 Jungen im Schülerlabor experimentieren. Am 29.10. fand das Schülerlabor im Raum der Klasse 4a statt. Diese ist die Größte der drei Klassen mit insgesamt 13 Schülerinnen und 15 Schülern.

Alle Schüler*innen haben ein gutes Allgemeinwissen und sind bereits mit dem Arbeiten an Stationen vertraut. Die meisten Schüler*innen wiesen eine angemessene Lese- und Schreibkompetenz sowie ein großes Interesse für das Thema auf. Das Vorwissen zum Thema war in allen Klassen gering. Dennoch wurde in jeder Klasse von einigen Schüler*innen angemerkt, dass wir Schall hören können. Alle drei Klassen beschäftigen sich zurzeit im Sachunterricht mit dem Thema Wale. Hierbei wurde bereits angesprochen, dass diese den Ultraschall zur Orientierung verwenden. Die Schüler*innen der Klasse 4c sind meines Erachtens nach am leistungsstärksten. Die Klassen 4a und 4b zeichnen sich beide durch eine sehr heterogene Klassengemeinschaft aus. Beide Klassen waren im Vergleich zur 4c unruhiger und benötigten mehr Unterstützung während der Experimentierphasen. Zur problemfreieren Bearbeitung wäre bei diesen Klassen mehr Betreuung nötig gewesen. Insgesamt sind alle Labortage ohne große Probleme verlaufen. Mir ist während der Experimentierphasen aufgefallen, dass beispielsweise Experiment 3a (der wandernde Ton) nicht bei allen Lernenden funktioniert hat. So war es mir in den Reflexionsrunden wichtig, dass die Lernenden Probleme und offengebliebene Fragen ansprechen konnten. Im gemeinsamen Gespräch haben die Schüler*innen sich gegenseitig die Fragen beantwortet und einige Experimente besprochen. Dabei haben einige Lernende die Experimente vor der Klasse vorgeführt und die Phänomene gemeinsam erklärt. Dies war von mir vorher nicht geplant, allerdings war es sehr interessant zu sehen, wie die Lernenden ihre Erkenntnisse der Klasse mitteilen wollten. Nach dieser Besprechung hatten alle Schüler*innen die Möglichkeit Feedback und Verbesserungsvorschläge für das Schülerlabor zu nennen. Dabei wurde durchweg positives Feedback gegeben. Vor allem das selbstständige Experimentieren und die Diversität der Experimente wurden oft genannt. Als Kritikpunkt wurden die

Wartezeiten genannt. Aufgrund begrenzter Räumlichkeiten und Tische sowie Materialien konnten einige Experimente nur für ein bis zwei Paare gleichzeitig angeboten werden. Deshalb mussten einige der Schüler*innen zwischen manchen Experimenten kurz warten. Bei der Durchführung in Schülerlaboren sollte dies allerdings kein Problem darstellen.

11.2 Zeitmanagement

Die folgende Tabelle zeigt die Anzahl der erledigten Experimente der Schülerinnen und Schüler (kurz: SuS).

Erledigte Experimente	SuS der 4a	SuS der 4b	SuS der 4c
Alle (11) Experimente	**16**	**18**	**8**
10 Experimente	**8**	**6**	**10**
9 Experimente	**4**	**2**	**6**
8 Experimente	**0**	**0**	**2**
Sternchen-Aufgabe (mind. 1)	**10**	**10**	**4**

Tabelle 1: Erledigte Experimente der SuS

Auffällig ist, dass 82,5 % aller Schüler*innen entweder alle Experimente erledigt haben oder ihnen nur noch eine gefehlt hat. Nur 15 % der Schüler*innen haben zwei Experimente nicht geschafft. Die zwei Schüler*innen der 4c, denen am Ende noch drei Experimente fehlten, waren der autistische Schüler und sein Partner. Sie bekamen Unterstützung von der Integrationshelferin und haben ebenfalls eine hervorragende Leistung erbracht. Die Sternchen-Aufgaben wurden von allen Klassen genutzt. Rund 30 % der Schüler*innen haben mindestens eine der Differenzierungsaufgaben bearbeitet.

Diese Zahlen geben nicht an, ob die Experimente korrekt oder vollständig gelöst wurden. Teilweise wurden Aufgabenteile nicht komplett bearbeitet. Diese Feststellung trifft nicht auf viele der Lernenden zu und es handelte sich dabei meist nur um kleine Aufgabenteile. Ich würde dies auf ein Überlesen der Aufgaben oder

Verständnisprobleme zurückführen. Ein weiterer Faktor könnte mangelnde Motivation bezüglich des Notierens der Ergebnisse sein und das Interesse schnell zum nächsten Experiment zu gehen.

Meiner Einschätzung nach war die Klasse 4c im Durchschnitt die leistungsstärkste Klasse. Es wurden nur wenige Nachfragen gestellt, Probleme gab es kaum. Dennoch haben sie im Vergleich zu den anderen Klassen weniger Experimente bearbeitet. Dies kann ich mir vor allem durch die Stärke der Klasse erklären. Jede Aufgabe wurde sorgfältig gelesen bevor die Lernenden mit den Experimenten begonnen haben. Sie haben ihre Erkenntnisse gründlicher notiert als die Schüler*innen der anderen Klassen und die Stationen wurden nach jeder Partnerarbeit ordentlich aufgeräumt. Dieses gründliche und selbstständige Handeln ist zeitaufwendiger, kann aber auch erkenntnisbringender sein.

Die Ergebnisse zeigen mir, dass die allgemeine Zeitplanung als gelungen einzuschätzen ist. Meiner Meinung nach war es also die richtige Entscheidung die Schallausbreitung im Wasser außenvorzulassen und die Ausbreitung in der Luft und in festen Körpern anhand verschiedener Experimente aufzuzeigen. Zwei Stunden zum Experimentieren mit einer Pause von 30 Minuten sind demnach für diese Teilnehmergruppe im Schülerlabor ausreichend. In den letzten zehn Minuten der zweiten Experimentierphase wurde es etwas unruhiger, weshalb ich die Experimentierphasen nicht länger gestalten würde.

11.3 Partnerarbeit

Aufgrund der Hygienemaßnahmen mussten die Lernenden mit ihren Banknachbarn arbeiten. So hatten weder die Lernenden noch die Lehrkraft einen Einfluss auf die Gruppenkonstellationen im Schülerlabor. Dadurch ist es möglich, dass zwei schwächere Schüler*innen in einer Gruppe waren und ihnen die Experimente dadurch schwieriger gefallen sind. Optimal wäre eine Konstellation eines stärkeren und schwächeren Lernenden, sodass diese sich gegenseitig helfen können. Für die Entwicklung der Sozialkompetenzen war diese Konstellation allerdings förderlicher. Trotz anfänglicher kleiner Konflikte, wenn einer der Lernenden etwas langsamer war, konnte man feststellen, wie die Lernenden trotz ihrer Differenzen nach und nach kooperativ experimentiert haben. Diese Erkenntnis bestätigten mir auch die

Lehrkräfte. Sie erklärten mir, dass die gewählte Sitzordnung vor allem zur Unterdrückung von Disziplinschwierigkeiten beiträgt, da die Banknachbarn sehr unterschiedlich und oft auch geschlechtergemischt sind. Auch sie waren erstaunt von der guten Zusammenarbeit der Lernenden. Dazu haben meiner Meinung nach die am kooperativen Arbeiten orientierten Experimente beigetragen. Viele der Experimente sind so aufgebaut, dass beide Schüler*innen eine wichtige Rolle im Experimentier- und Beobachtungsprozess der Stationen einnehmen. So war ein Ergebnis nur durch die kooperative Arbeit beider Partner möglich.

11.4 Differenzierung

Durch die vielen Versuchsanleitungen ist das Experimentierheft seht textlastig. Für die meisten Schüler*innen mit guter Lesekompetenz stellte das kein Problem dar. Allerdings gab es auch einige Lernende mit Deutsch als Zweitsprache und einen mit einer Lese-Rechtschreib-Schwäche. Für diese Lernenden kann die Textlastigkeit des Heftes überfordernd sein, auch wenn sich das in der Durchführung des Labors nicht unbedingt gezeigt hat. Ich schätze, dass die Partnerarbeit eine gegenseitige Unterstützung ermöglicht hat. Dennoch sollte der Textanteil des Experimentierheftes geringer gehalten werden. Dies kann beispielsweise durch Versuchsanleitungen mit Bilderfolgen geschehen.

Die Wörtersammlung am Ende des Heftes wurde sehr selten verwendet, dennoch denke ich, dass es eine wichtige Hilfe sein kann, um die Fachbegriffe sachgerecht zu verwenden.

Die Tippkarten wiederum wurden oft verwendet und im Abschlussgespräch von den Lernenden durchweg als gut bewertet.

11.5 Auswertung der einzelnen Stationen

11.5.1 Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang

Da bereits am ersten Tag einige der Kinder ihre Kopfhörer vergessen hatten, habe ich dieses Experiment mit ihnen zusammen gemacht. Statt die Schalleindrücke vom PC abzuspielen habe ich sie den Lernenden vorgemacht. Es hat sich gezeigt, dass diese Station einen guten Einstieg bildet. Dadurch habe ich mich entschieden auch die folgenden Tage mit dieser Station zu beginnen. So konnten die Ergebnisse im gemeinsamen Gespräch ausgetauscht und viele Beispiele für die verschiedenen Eindrücke gefunden werden. Außerdem konnte diese Aufgabe mit der anfänglichen Präsentation verknüpft werden und Fragen direkt beantwortet werden. Da diese Station gemeinsam durchgeführt wurde, kam es nicht zu Problemen oder falschen Antworten.

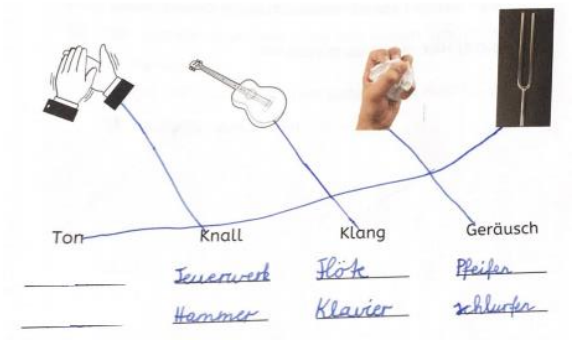
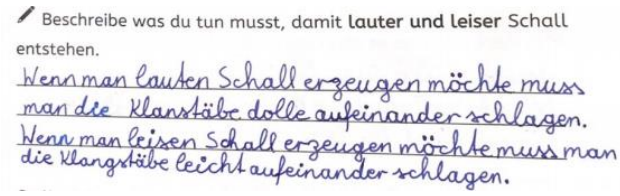


Abbildung 28: Schülerantwort Experiment 1a

Da ein reiner Ton nur elektronisch oder annähernd mit der Stimmgabel erzeugt werden kann, sind die Linien unter dem Ton nicht nötig. Es gibt keine weiteren Beispiele und so wurden diese Linien in der aktualisierten Version des Heftes entfernt.

10.5.2 Experiment 1b: Wir erzeugen Schall

Auch dieses Experiment verlief unproblematisch und die meisten Lernenden haben die Aufgabe korrekt bearbeitet.


Beschreibe was du tun musst, damit **lauter und leiser** Schall entstehen.

Wenn man lauten Schall erzeugen möchte muss man die Klanstäbe dolle aufeinander schlagen. Wenn man leisen Schall erzeugen möchte muss man die Klangstäbe leicht aufeinander schlagen.

Abbildung 29: Schülerantwort Experiment 1b

Weitere Beispielantworten:

- „Wenn man leicht zupft kommt ein leiser Klang. Wenn man aber heftig zupft dann kommt ein lauter Klang.“ - Gitarre
- „Ich berühr das Folie nur leicht damit es leise ist. Wenn ich es viel zerknüle ist es laut.“ - Alufolie
- „Damit es laut ist muss man feste schütteln. Damit es leise ist muss man ganz leicht schütteln.“ – selbstgebastelte Rassel

Es ist allen Lernenden gelungen verschieden laute und leise Geräusche und Klänge zu erzeugen. Außerdem haben sie alle erwähnt, dass ein stärkeres Zupfen oder Anschlagen, also den Gegenstand in stärkere Schwingung zu versetzen, lauteren Schall erzeugt. Einige der Lernenden haben bei den Musikinstrumenten sogar den Fachbegriff Klang für ihre Beschreibung verwendet. Das hat mich auf die Idee gebracht in einer Ankreuzaufgabe gezielt zu fragen, ob ihr Gegenstand einen Klang oder ein Geräusch erzeugt.

11.5.3 Experiment 1c: das Gläserrätsel

Dieses Experiment wurde von vielen der Lernenden als Lieblingsexperiment benannt. Ich führe dies vor allem auf die Offenheit des Experimentes zurück. Die Lernenden konnten ohne Versuchsanleitung experimentieren und mit den Gläsern zum Vergleichen der Töne musizieren. Dabei konnte ich beobachten wie einige Schüler*innen versucht haben Lieder nachzuspielen und die Wassermengen zu variieren. Ihre Ergebnisse hielten alle in einer Skizze ähnlich wie die in Abb. 29 fest.

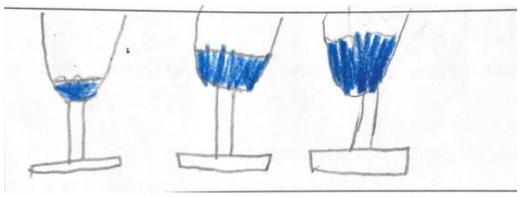


Abbildung 30: Schülerskizze Experiment 1c

Die meisten Lernenden antworteten, dass die entstandenen Töne von dem Wasserstand abhängen. Ich würde diese Antwort als richtig bewerten, da man von den Lernenden ohne Kenntnisse zu schwingenden Luftsäulen keinen Bezug auf diese erwarten kann. Bedeutend für die Töne ist die sich über dem Wasser befindliche Luftsäule, deren

Größe bei zunehmendem Wasserstand abnimmt. Dies hat Einfluss auf die Tonhöhe. Einige Schüler*innen haben dies sogar beschrieben.

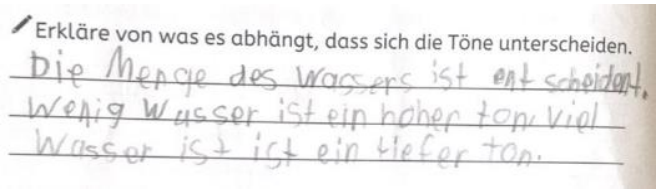

Erkläre von was es abhängt, dass sich die Töne unterscheiden.
Die Menge des Wassers ist ent scheidend.
Wenig Wasser ist ein höher ton. Viel
Wasser ist ist ein tiefer ton.

Abbildung 31: Schülerantwort Experiment 1c

Diese Schüler*innen haben schon Vorwissen zur Unterscheidung der Tonhöhe, die den meisten Lernenden schwerfällt. Insgesamt würde ich das Experiment als erfolgreich werten. Darauf, wieso sich die Tonhöhe unterscheidet, würde ich im anschließenden Unterricht noch mal eingehen.

11.5.4 Experiment 2a: das schwingende Lineal

Auch dieses Experiment hat bei der Mehrzahl der Lernenden gut funktioniert. Aufgefallen ist mir bei einigen Lernenden, dass für sie der letzte Satz der Versuchsanleitung nicht klar genug formuliert war. „Lasst nun das Ende los“ ließ einige vermuten, dass sie das Ende des Lineals loslassen sollen, das auf dem Tisch liegt. Auch diese Formulierung wurde geändert. Die Aufgabe zur Beschreibung des Seh- und Höreindrucks hat ebenfalls gut funktioniert.

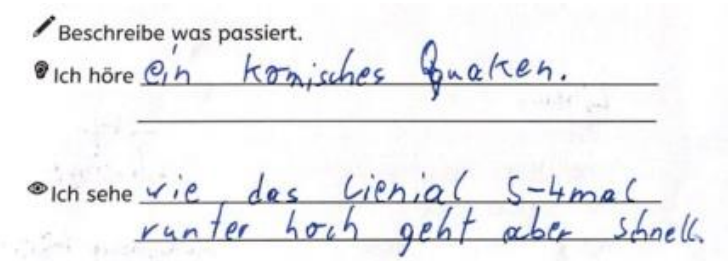

Beschreibe was passiert.
Ich höre ein komisches Quaken.
Ich sehe wie das Lienial 5-4mal
runter hoch geht aber schnell.

Abbildung 32: Schülerantwort 1 Experiment 2a

Vor allem bei der ersten Aufgabe waren häufige Antworten:

- „ein komisches Geräusch“
- „Drrr…“
- „ein vibrieren“

Ich würde alle diese Antworten zulassen, da es sehr schwer ist einen unbekannten Höreindruck zu beschreiben. Es genügt mir in diesem Fall, dass sie ein Geräusch

wahrgenommen haben und sich Gedanken darüber gemacht haben, wie man dieses beschreiben kann.

Bei der Frage was die Lernenden gesehen haben, wurde oft geschrieben:

- „Das Lineal bewegt sich auf und ab.““
- „Es geht hoch und runter.“
- „wie sich das Lineal bewegt“

Auch diese Antworten genügen. Wichtig ist die Wahrnehmung der Bewegung des Lineals für die anschließende Erklärung, wie das Geräusch entsteht.

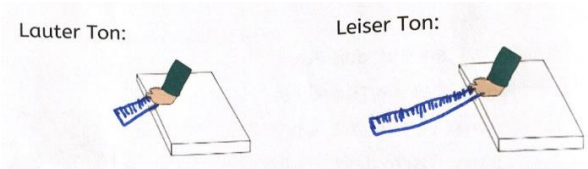


Abbildung 33: Schülerantwort 2 Experiment 2a

Auch bei dieser Aufgabe waren sich die Lernenden einig.

Verbesserungen würde ich am Lückentext vornehmen. Hier wurde von mir zu viel Vorwissen erwartet, um den Sachverhalt verstehen zu können. Die Lernenden haben den Lückentext zwar alle korrekt ausgefüllt, beim Abschlussgespräch habe ich allerdings gemerkt, dass sie es noch nicht so genau verstanden haben. Deshalb findet sich in der aktualisierten Version des Heftes eine Aufgabe mit Bildern und die Reihenfolge muss bestimmt werden.

11.5.5 Experiment 2b: die kitzelnde Stimmgabel

Bei diesem Experiment ist mir bereits bei der Beobachtung der ersten Gruppe aufgefallen, dass man ganz einfach auch den Sinneseindruck Hören hätte einbauen können. Dazu können die Lernenden die Stimmgabel anschlagen und zunächst den eher leisen Ton hören. Danach können die Lernenden diese wieder anschlagen und den Tisch als Resonanzkörper verwenden. Dieses Wissen kann dann beim Experiment 3c erweitert werden. Diese Aufgabe werde ich im Experimentierheft ergänzen.

Auch diese Station wurde von vielen Lernenden als Lieblingsexperiment genannt. Das Berühren der tönenden Stimmgabel erzeugte viele begeisterte Gesichter. Die

meisten Lernenden beschrieben, dass sie ein Vibrieren oder Kitzeln gefühlt haben.

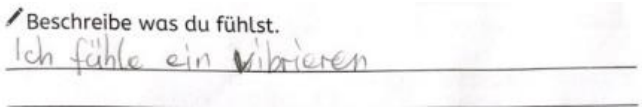

Beschreibe was du fühlst.
Ich fühle ein Vibrieren

Abbildung 34: Schülerantwort 1 Experiment 2b

Zur Beobachtung der angeschlagenen Stimmgabel im Wasser beschrieben alle Schüler*innen, dass sich das Wasser bewegt.

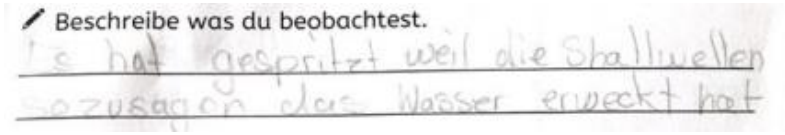

Beschreibe was du beobachtest.
Es hat gespritzt weil die Shallwellen sozusagen das Wasser erweckt hat

Abbildung 35: Schülerantwort 2 Experiment 2b

Dieser Schüler erklärt seine Beobachtung sogar. Er spricht von Schallwellen, die das Wasser erweckt haben. Andere Lernende haben ihre Beobachtungen so beschrieben:

- das Wasser spritzt/sprudelt
- das Wasser bewegt sich
- Schwingungen im Wasser

Diese Antworten zeigen mir, dass die meisten Lernenden die Übertragung der Schwingungen der Stimmgabel auf das Wasser wahrnehmen konnten.

Bei der abschließenden Ankreuzaufgabe sollten die Sinneseindrücke Fühlen und Sehen angekreuzt werden. Hier ist mir aufgefallen, dass in jeder Klasse einige Lernende nur eines der beiden angekreuzt hatten. Dabei war keine einheitliche Antwort zu erkennen. Mal wurde nur *fühlen* und mal nur *sehen* angekreuzt, obwohl man in ihren Antworten (Ich sehe…, Ich fühle…) erkennen konnte, dass sie beide Eindrücke wahrgenommen haben. Ich erkläre mir dies als Flüchtigkeitsfehler und denke, dass nicht für jeden klar war, wie viele Antworten angekreuzt werden müssen. Im neuen Experimentierheft habe ich deshalb das Zahlwort „zwei“ hinzugefügt.

11.5.6 Experiment 2c: die Dosengitarre

Bei diesem Experiment haben mich die Lernenden sehr erstaunt. Nur sehr wenige haben die Tippkarte benötigt und die meisten Schüler*innen haben direkt angefangen auszuprobieren, um die Dosengitarre eigenständig zu bauen. Auch bei den

dazugehörigen Aufgaben habe ich nichts anzumerken, da jeder der Lernenden diese richtig beantwortet hat.

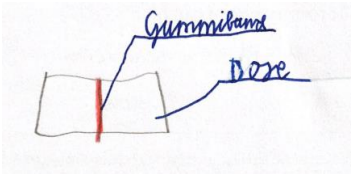


Abbildung 36: Schülerskizze 1 Experiment 2c

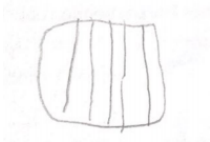


Abbildung 37: Schülerskizze 2 Experiment 2c

Wie Abbildung 36 zeigt, haben sich einige der Lernenden mehrere Gummibänder genommen und auch damit versucht Töne zu erzeugen. Die Aufgabe hat also auch zum eigenständigen Experimentieren angeregt.

Alle Schüler*innen haben den Ton der Dosengitarre als lauter beschrieben. Bei der Frage nach Instrumenten mit Hohlkörper haben die Lernenden sehr viele verschiedene gefunden.

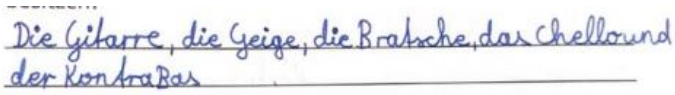


Abbildung 38: Schülerantwort Experiment 2c

Andere fügten noch Instrumente wie die Flöte, das Klavier und die Trommel hinzu. Damit haben sie deutlich mehr Instrumente gefunden als auf der Tippkarte standen.

11.5.7 Experiment 2d: die Triangel

Bei der Bearbeitung des Experiments kamen viele Nachfragen. Die Schüler*innen sollten ihre Vermutungen kurz begründen. Dabei haben viele schon eine ähnliche Erklärung gegeben, wie sie in der abschließenden Aufgabe gefordert wurde. Die Lernenden konnten demnach nicht nachvollziehen, wieso sie das Experiment zweimal erklären müssen. Die Erklärung der eigenen Vermutung wird deshalb aus dem Heft herausgenommen.

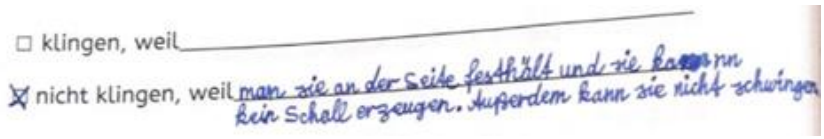


Abbildung 39: Schülerantwort 1 Experiment 2d

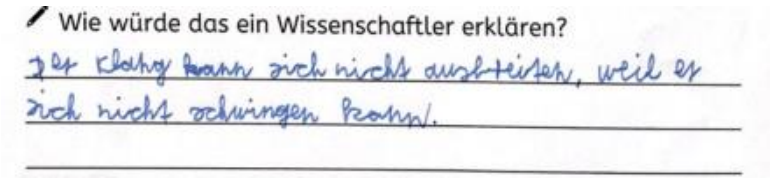


Abbildung 40: Schülerantwort 2 Experiment 2d

Wie in diesen Beispielen haben die meisten Lernenden ihre Vermutung mit dem Schwingen der Triangel erklärt. Diese Erklärung wird von ihnen auch in der letzten Aufgabe gefordert.

Von den Schüler*innen gegebene Antworten:

- „Die Hand unterbricht die Schwingungen."
- „Der Schall geht durch die Schwingungen in die Luft und wen die Hand da ist kann keine Schwinung enstehen."
- „Sie kann nicht schwingen weil sie festgehalten wird."
- „Weil der Schall durch die Hand unterdrückt wird."

Die meisten Lernenden haben somit das Lernziel erfüllt. Sie erklären, dass die Schallquelle nicht frei schwingen kann und dadurch die Triangel nicht nachklingt.

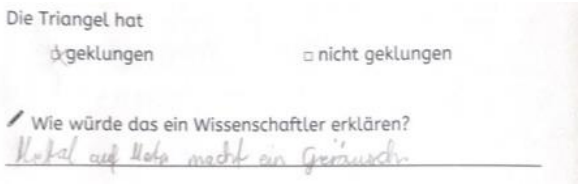


Abbildung 41: Schülerantwort 3 Experiment 2d

Diese Schülerantwort zeigt mir, dass meine Formulierung auch zu anderen Interpretationen geführt hat. Die Triangel erzeugt keinen Klang, wenn man sie festhält. Es entsteht aber dennoch ein Geräusch. Dieses Geräusch beschreibt dieser Lernende (Abb. 40). So ist es besser zu schreiben: Hält man die Triangel fest, dann klingt sie nach/klingt sie nicht nach. So wird vermieden, dass die Lernenden das Geräusch mit dem eigentlichen Klang verwechseln.

11.5.8 Experiment 3a: der wandernde Ton

Dieses Experiment war meiner Meinung nach das schwierigste und es wurde nicht bei allen Gruppen das Phänomen wahrgenommen, welches von mir beabsichtigt war. Einige konnten demnach nur feststellen, dass der Ton gestoppt wird, nicht aber, dass die andere Stimmgabel weiterklingt. Ich denke, an dieser Station ist eine dauerhafte Betreuung sinnvoll.

Damit alle Schüler*innen das Phänomen wahrnehmen können, habe ich mich spontan dazu entschieden, das Experiment in der Abschlussrunde durchzuführen. Im gemeinsamen Gespräch mit den Klassen kamen wir zu dem Ergebnis, dass sich die Schallwellen auch in Richtung der zweiten Stimmgabel ausbreiten und diese durch die Schwingungen angeregt wird. Dadurch können wir den Ton wahrnehmen.

Einige Schüler*innen, die das eigentliche Phänomen wahrnehmen konnten, erklärten ihre Erkenntnis folgendermaßen:

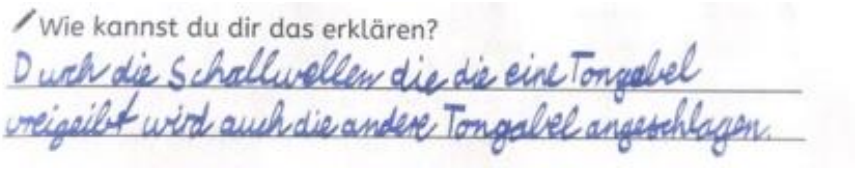
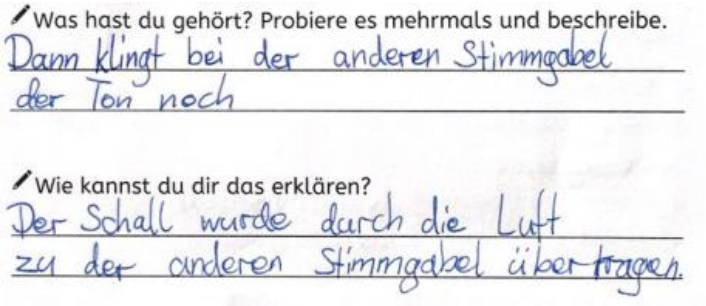

Wie kannst du dir das erklären?
Durch die Schallwellen die die eine Tongabel
weigeibt wird auch die andere Tongabel angeschlagen.

Abbildung 42: Schülerantwort 1 Experiment 3a


Was hast du gehört? Probiere es mehrmals und beschreibe.
Dann klingt bei der anderen Stimmgabel
der Ton noch

Wie kannst du dir das erklären?
Der Schall wurde durch die Luft
zu der anderen Stimmgabel übertragen.

Abbildung 43: Schülerantwort 2 Experiment 3a

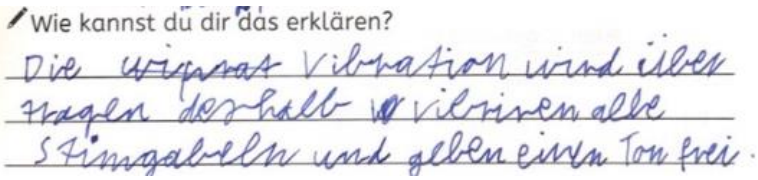
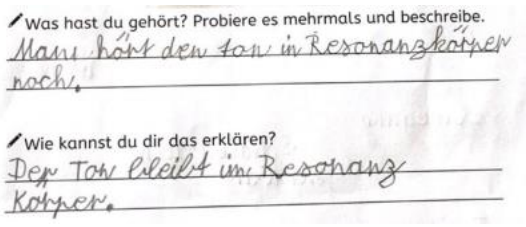

Wie kannst du dir das erklären?
Die ~~wirgnat~~ Vibration wird über
tragen deshalb vibrieren alle
Stimgabeln und geben einen Ton frei.

Abbildung 44: Schülerantwort 3 Experiment 3a


Was hast du gehört? Probiere es mehrmals und beschreibe.
Man hört den ton in Resonanzkörper noch.

Wie kannst du dir das erklären?
Der Ton bleibt im Resonanz Körper.

Abbildung 45: Schülerantwort 4 Experiment 3a

Betrachtet man einige dieser Schülerantworten, so war es eine gute Idee das Experiment nochmals zu besprechen. Abbildung 44 und 45 zeigen, dass beide Schüler*innen noch von hervorgelockten Tönen sprechen. Der eine Lernende denkt der Ton bleibt im Resonanzkörper und klingt deshalb nach und der andere spricht von einem Ton, den die Stimmgabel freigibt. Beide Schüler*innen haben demnach die Entstehung und Ausbreitung des Schalls in Form von Schallwellen noch nicht verinnerlicht. Im weiteren Verlauf sollte ihnen dieses neue Konzept in unterschiedlichen Situationen angeboten werden. Ich denke, dass dieses Experiment mit einer Betreuung besser funktionieren würde und würde es deshalb nicht verändern.

11.5.9 Experiment 3b: tanzende Körner

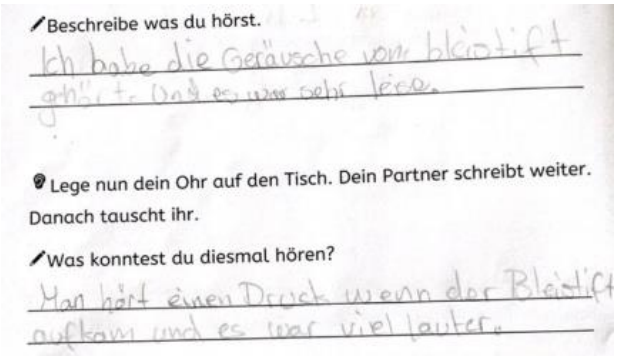
Das Experiment fanden vielen Kinder sehr spannend, allerdings fiel ihnen das Kreuzworträtsel teilweise sehr schwer. Eine Skizze eines Beobachtungsprozesses zu machen ist nicht sehr sinnvoll, obwohl viele Lernende sich dabei viel Mühe gegeben haben.

Abbildung 46: Schülerskizze Experiment 3b

Besser wäre es, wenn sie ihre Beobachtung beschreiben würden. Das Kreuzworträtsel hat bei fast allen Lernenden gut funktioniert.

11.5.10 Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?

Auch diese Station hat bei jedem der Lernenden funktioniert. Alle haben ein leises Geräusch am Anfang beschrieben. Wenn sie das Ohr auf den Tisch gelegt hatten, haben alle ein lautes Geräusch/Kratzen beschrieben.


Beschreibe was du hörst.

Ich habe die Geräusche vom Bleistift gehört. Und es war sehr leise.

Lege nun dein Ohr auf den Tisch. Dein Partner schreibt weiter. Danach tauscht ihr.

Was konntest du diesmal hören?

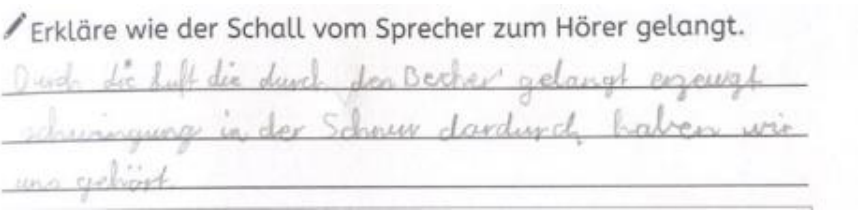
Man hört einen Druck wenn der Bleistift aufkam und es war viel lauter.

Abbildung 47: Schülerantwort Experiment 3c

Auch die abschließende Ankreuzaufgabe konnten alle Lernenden korrekt beantworten.

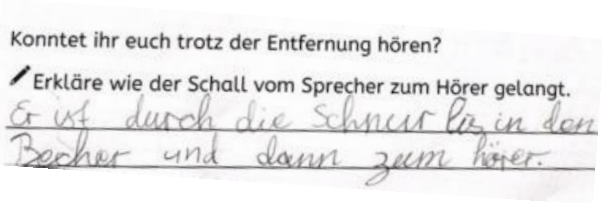
11.5.11 Experiment 3d: das Dosentelefon

Auch bei diesem Experiment wären ein paar helfende Hände gut gewesen, um die Löcher in den Becherboden zu bohren. Da die Lernenden alle unterschiedlich dicke Becher dabei hatten, war dies teils schwierig. Dennoch hatte am Schluss jeder der Schüler*innen ein funktionierendes Dosentelefon. Auch das Ausprobieren auf dem Flur hat problemlos funktioniert. Die Lernenden waren sehr leise und kehrten nach ihrem Versuch wieder in die Klasse zurück. Dort sollten sie dann eine Erklärung notieren.


Erkläre wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt.

Durch die Luft die durch den Becher gelangt erzeugt Schwingung in der Schnur dardurch haben wir uns gehört

Abbildung 48: Schülerantwort 1 Experiment 3d


Konntet ihr euch trotz der Entfernung hören?

Erkläre wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt.

Es ist durch die Schnur bis in den Becher und dann zum hörer.

Abbildung 49: Schülerantwort 2 Experiment 3d

Alle Kinder sprachen davon, dass der Schall oder die Schwingungen über die Schnur zum Becher des Hörers gelangt. Mit dieser Erkenntnis haben die Lernenden das Lernziel erreicht. Die Lernenden haben verinnerlicht, dass sich die Schallwellen auch in festen Körpern ausbreiten können. Auch dieses Experiment haben wir im Abschlussgespräch besprochen. Die Lernenden konnten ihre Meinungen austauschen und wir kamen gemeinsam zu dem Konsens, dass die Luft im Becher in Schwingung gerät, diese an die Schnur am Becherboden weitergibt und sich die Schallwelle an der Schnur entlang bis in den anderen Becher und von dort aus in unser Ohr ausbreitet.

11.5.12 Sternen-Station:

Diejenigen, die die Sternen-Station gemacht haben, waren dabei sehr erfolgreich. Das Richtungshören fanden alle sehr interessant und das Experiment hat bei allen funktioniert. Auch der Informationstext „Unser Ohr“ führte durchweg zu korrekten Antworten. Diese Station kann auch von der Lehrkraft in der Nachbereitung des Labors mit der ganzen Klasse durchgeführt werden. Auch das Richtungshören kann für eine solche Nachbereitung einfach nachgestellt werden. Es werden lediglich ein Schlauch und zwei Trichter dafür benötigt. Das Angebot von zwei Differenzierungsaufgaben hat bei allen drei Klassen genügt.

12 Fazit

Im Mittelpunkt der Arbeit stand die Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema Schall. Ziel des Schülerlabors sollte es sein, mithilfe authentischer Versuche die Eigentätigkeit der Lernenden anzuregen und diese zu motivieren, sich physikalisches Wissen anzueignen. Dabei soll das naturwissenschaftliche Interesse der Schüler*innen durch selbstständiges Forschen und Experimentieren geweckt werden. Das Schülerlabor soll eine Ergänzung zum Sachunterricht in der Schule darstellen und den Schüler*innen damit die Möglichkeiten außerschulischer Lernorte aufweisen. Damit das Schülerlabor diesen Anforderungen gerecht wird, habe ich mich neben der Sachanalyse des Themas auch mit verschiedenen didaktischen und methodischen Aspekten auseinandergesetzt. Dabei wurde dargestellt, dass Schülerlabore das positive Selbstbild der Lernenden stärken und naturwissenschaftliches Lernen ermöglichen. Diese Effekte bewirkt vor allem die Eigentätigkeit der Lernenden im Schülerlabor. Dieses sollte deshalb neben motivationalen Zielen vor allem individuelle Leistungsvoraussetzungen differenzieren und individuelle Lernprozesse ermöglichen. Das Thema sollte interessant aufbereitet werden, indem abwechslungsreiche Experimente und Aufgabenstellungen entwickelt werden. Diesen Erwartungen hoffe ich mit der Entwicklung des Schülerlabors genüge getan zu haben. Der Entwicklungsprozess des Schülerlabors und des Experimentierheftes hat mir gezeigt, wie viel Zeit eine solche methodisch-didaktische Planung beansprucht. Besonders schwer fiel mir dabei, die Lernenden einzuschätzen. Ich konnte mich dabei nicht am Leistungsniveau einer bekannten Klasse orientieren, sondern musste einen Mittelweg finden, der alle Besucher*innen des Schülerlabors in gewisser Weise anspricht. Ich war ständig im Zwiespalt, wie offen oder angeleitet die Experimente sein dürfen. Auch der Text- und Schreibanteil war für mich schwierig einzuschätzen. Die Auseinandersetzung mit verschiedenen Differenzierungsmöglichkeiten und die Umsetzung dieser meinerseits sollen Lernenden nach ihrem Leistungsstand individuelle Lösungswege ermöglichen. In der Erprobung wurden meine Erwartungen übertroffen. Diese hat mir gezeigt, dass sich die lange Planung auszahlt. Die Lernenden waren sehr begeisterungsfähig und haben sich motiviert mit den Inhalten auseinandersetzen können. Überrascht hat mich, wie sehr die Lernenden aufeinander Rücksicht genommen haben und so jeder experimentieren durfte. Es gab kaum Disziplin- und nur wenige Verständnisprobleme. Dennoch wäre es interessant zu sehen, wie manche Experimente mit mehreren Betreuern funktioniert hätten.

Besonders die Abschlussrunden empfand ich als sehr interessant. Die Lernenden waren hier sehr aktiv und ich konnte feststellen, dass sie viele Erkenntnisse gewonnen haben. Das positive Feedback der Lernenden und Lehrenden hat mich darin bestätigt, dass das Schülerlabor an sich erfolgreich war. Allerdings hat mir ebendieses Feedback und das Auswerten der Hefte gezeigt, an welchen Stellen des Schülerlabors noch Verbesserungen nötig sind. Das war für mich eine großartige Möglichkeit meinen eigenen Arbeitsprozess zu reflektieren und das Experimentierheft zu optimieren.

Insgesamt war die Auseinandersetzung und Entwicklung des Schülerlabors für mich sehr gewinnbringend. Ich hatte die Möglichkeit meine methodisch-didaktischen Überlegungen in die Praxis umzusetzen und dadurch meine Kompetenzen als zukünftige Lehrkraft weiterzuentwickeln. Durch die Erprobung des Schülerlabors war es mir möglich, meine Planung und die Einschätzung der Schüler*innen zu reflektieren. Abschließend kann ich sagen, dass ich sehr froh bin diese Erfahrung machen zu dürfen. Sie hat mich weiter in meinem Berufswunsch als Grundschullehrerin bestärkt.

13 Literaturverzeichnis

Adamina, M. & Hild, P. (2019). *Mit Lernaufgaben Kompetenzen fördern*. In: *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.-9. Schuljahr*. Hrsg. von Peter Labudde und Susanne Metzger (S. 119-134). Bern: Haupt.

Affeldt, F.; Siol, A.; Markic, S.; Eilks, I. (2018). *Neue Ansätze zur Differenzierung im Schülerlabor*. In: *Chemkon: Chemie konkret – Forum für Unterricht und Didaktik. 2018, 25, Nr. 7*, S. 255-262. Weinheim: Wiley-VCH.

Baar, R. & Schönknecht, G. (2018). *Außerschulischen Lernorte: didaktische und methodische Grundlagen*. Weinheim, Basel: Beltz.

Backhaus, U. & Braun, T. (2009). *Impulse für offenes Experimentieren. Forschendes Lernen in der Physik*. In: *Schule forscht: Ansätze und Methoden zum forschenden Lernen*. Hrsg. von Rudolf Messner (S. 106-121). Hamburg: edition Köber-Stiftung.

Bell, T. (2010). *Entdeckendes und forschendes Lernen*. In: *Physik Methodik - Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Hrsg. von Silke Mikelskis-Seifert, Thorid Rabe (S. 70-81). Berlin: Cornelsen.

Berger, V. (2010). *Die experimentelle Methode*. In: *Physik Methodik – Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Hrsg. von Silke Mikelskis-Seifert, Thorid Rabe (S. 29-43). Berlin: Cornelsen.

Berthold, C.; Christ, D.; Braam, G.; Haubich, J.; Herfert, M.; Hilscher, H.; Kraus, J.; Möller, C. (2012). *Physikalische Freihandexperimente. Band 2: Akustik, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Optik*. Köln: Aulis.

Borucki, H. (1989). *Einführung in die Akustik*. Mannheim/Wien/Zürich: BI-Wissenschaftsverlag.

Brade, J. & Dühlmeier, B. (2015). *Lehren und Lernen in außerschulischen Lernorten*. In: *Handbuch Didaktik des Sachunterrichts*. Hrsg. von Maria Fölling-Albers, Margarete Götz, Andreas Hartinger, Joachim Kahlert, Susanne Miller, Steffen Wittkowske (S. 434-441). Bad Heilbrunn: Klinkhardt.

Duit, R. (2002). *Alltagsvorstellungen und Physiklernen*. In: *Physikdidaktik in der Praxis*. Hrsg. von Ernst Kircher und Werner B. Schneider (S. 1-26). Berlin, Heidelberg: Springer.

Dühlmeier, B. (2010). *Mehr Außerschulische Lernorte in der Grundschule. Neun Beispiele für den fächerübergreifenden Sachunterricht*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Eichler, H. J., Kronfeldt, H. D. & Sahm, J. (2016). *Das neue Physikalische Grundpraktikum*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Euler, M. & Schüttler, T. (2020). *Schülerlabore*. In: *Physikdidaktik. Methoden und Inhalte*. Hrsg. von Ernst Kircher, Raimund Girwidz, Hans E. Fischer (S. 127-166). Berlin, Heidelberg: Springer.

Fischer, H. E. & Draxler, D. (2002). *Konstruktion und Bewertung von Physikaufgaben*. In: *Physikdidaktik in der Praxis*. Hrsg. von Ernst Kircher und Werner B. Schneider (S. 300-322). Berlin [u.a.]: Springer.

Fischknecht-Tobler, U. & Labudde, P. (2019). *Beobachten und Experimentieren*. In: *Fachdidaktik Naturwissenschaft: 1.-9. Schuljahr*. Hrsg. von Peter Labudde und Susanne Metzger (S. 135-150). Bern: Haupt.

Gesellschaft für Didaktik des Sachunterrichts (GDSU). (2013). *Perspektivrahmen Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Giest, H. (2009). *Vom Spiel zur Lerntätigkeit*. In: *Lernen und kindliche Entwicklung: Elementarbildung und Sachunterricht*. Hrsg. von Roland Lauterbach, Hartmut Giest und Brunhilde Marquardt-Mau (S. 11-18).

Girwidz, R., Häußler, P. & Kircher, E. (2001). *Physikdidaktik. Eine Einführung*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Girwidz, R. (2020). *Experimente im Physikunterricht*. In: *Physikdidaktik: Grundlagen*. Hrsg. von Ernst Kircher, Raimund Girwidz und Hans E. Fischer (S. 264-289). Berlin, Heidelberg: Springer.

Hartinger, A. (2007). *Experimente und Versuche*. In: *Dimensionen des Sachunterrichts Bd.3: Handbuch Methoden im Sachunterricht*. Hrsg. von Dietmar von Reeken (S. 68-73). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Haupt, O. J.; Domjahn, J.; Martin, U.; Skiebe-Corrette, P.; Vorst, S.; Zehren, W.; Hempelmann, R. (2013). *Schülerlabor - Begriffsschärfung und Kategorisierung*. In:

Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht. Ausgabe 66,6 (S. 324-330). Neuss: Seeberger.

Hoffmann, D. (2010). *Themenfeld Schall*. In: *Wir experimentieren in der Grundschule: einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 1. Luft, Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall* (S. 155-184). Hrsg. von Joachim Kahlert und Reinhard Demuth. Köln: Aulis.

Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). *Conceptual Change – Entwicklung physikalischer Vorstellungen*. In: *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Hrsg. von Horst Schecker, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Reinders Duit (S. 24-38). Berlin, Heidelberg: Springer.

Hopf, M. & Wilhelm, T. (2018). *Schülervorstellungen zu Feldern und Wellen*. In: *Schülervorstellungen und Physikunterricht. Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Hrsg. von Horst Schecker, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Reinders Duit (S. 186-208). Berlin, Heidelberg: Springer.

Lehner, M. (2020). *Didaktische Reduktion*. Bern: Haupt.

Lüders, K. & Pohl, R. O. (2017). *Pohls Einführung in die Physik. Band 1: Mechanik, Akustik und Wärmelehre*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Lüders, K. & Oppen, G. von (2008). *Bergmann – Schäfer. Lehrbuch der Experimentalphysik. Band 1*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Meschede, D. (2015). *Gerthsen Physik*. Berlin, Heidelberg: Springer.

Plasa, T. (2013). *Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren*. Berlin: Logos.

Ranger, G. (2017). *Kinder in kooperativen Lernphasen kognitiv aktivieren: Eine Videostudie zur Qualität der Peer-Interaktionen im naturwissenschaftlichen Sachunterricht*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.

Reeken, D. von (2007). *Beobachtung*. In: *Dimensionen des Sachunterrichts Bd.3: Handbuch Methoden im Sachunterricht*. Hrsg. von Dietmar von Reeken (S. 39-45). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Sauerborn, P. & Brühne, T. (2012). *Didaktik des außerschulischen Lernens*. Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Schecker, H. & Duit, R. (2018). *Schülervorstellungen und Physiklernen*. In: *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Hrsg. von Horst Schecker, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Reinders Duit (S. 1-22). Berlin, Heidelberg: Springer.

Schlichting, H. J. (2010): *Freihandexperimente zwischen Schulexperimenten und Alltagsphänomenen*. In: *Handbuch Experimentieren*. Hrsg. von Hilde Köster, Frank Hellmich, Volkhard Nordmeier (S. 131-152). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.

Sinambari, Gh. R. & Sentpali, S. (2020). *Ingenieurakustik: Physikalische Grundlagen, Anwendungsbeispiele und Übungen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien.

Stamer, I. (2019). *Authentische Vermittlung von Naturwissenschaften im Schülerlabor: Förderung der authentischen Wahrnehmung von Naturwissenschaften durch Einblicke in die Forschung des Sonderforschungsbereichs (SFB) 677 mittels Videos*. Kiel: Universitätsbibliothek Kiel.

Trautwein, A.X.; Kreibig, U. & Hüttermann, J. (2008). *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.

Wiesner, H.; Schecker, H. & Hopf, M. (2015). *Physikdidaktik kompakt*. Hallbergmoos: Aulis.

Wilhelm, T. & Schecker, H. (2018). *Strategien für den Umgang mit Schülervorstellungen*. In: *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Hrsg. von Horst Schecker, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Reinders Duit (S. 40-62). Berlin, Heidelberg: Springer.

Wodzinski, R. (2010). *Experimentieren lernen*. In: *Handbuch Experimentieren*. Hrsg. von Hilde Köster, Frank Hellmich und Volkhard Nordmeier (S. 153-169). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren GmbH.

Wodzinski, R. & Wilhelm, T. (2018). *Schülervorstellungen im Anfangsunterricht*. In: *Schülervorstellungen und Physikunterricht: Ein Lehrbuch für Studium, Referendariat und Unterrichtspraxis.* Hrsg. von Horst Schecker, Thomas Wilhelm, Martin Hopf, Reinders Duit (S. 244-270). Berlin, Heidelberg: Springer.

Zwiorek, S. (2010). *Gruppenarbeit – Stationen und Egg Races am Beispiel von Schülerexperimenten*. In: *Physik Methodik. Handbuch für die Sekundarstufe I und II*. Hrsg. von Silke Mikelskis-Seifert und Thorid Rabe (S. 148-157). Berlin: Cornelsen.

14 Quellenverzeichnis

Bundesverband der Schülerlabore e.V. (o.J.) LernortLabor. URL: https://www.lernortlabor.de/ (zuletzt besucht am 12.09.2020).

Glugla, M. & Lindemann-Sperfeld, L. & Schulz, R.K. (2010). Lärm, schule@ifa. URL: https://markusglugla.de/publications/Glugla10IFA.pdf (zuletzt besucht am 03.11.2020)

Hessisches Kultusministerium (o.J. a). Leitfaden Sachunterricht. Maßgebliche Orientierungstexte zum Kerncurriculum Primarstufe. URL: https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/leitfaden_sachunterricht1.pdf (zuletzt besucht am 08.09.2020)

Hessisches Kultusministerium (o.J. b). Rahmenplan der Grundschule Hessen. URL: https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/HKM/rahmenplan_grundschule_95.pdf (zuletzt besucht am 21.09.2020).

Hessisches Kultusministerium (2011). Bildungsstandards und Inhaltsfelder. Das neue Kerncurriculum für Hessen. Primarstufe. Sachunterricht. URL: https://kultusministerium.hessen.de/sites/default/files/media/kc_sachunterricht_prst_2011.pdf (zuletzt besucht am 24.09.2020).

Kloppenburg, L. (2020). Schülervorstellungen von Grundschülern zum Thema „Schall“. URL: http://www.thomas-wilhelm.net/arbeiten/Schall.pdf (zuletzt besucht am 10.11.2020).

SUPRA – Lernplattform (o.J.). URL: http://www.supra-lernplattform.de/ (zuletzt besucht am 24.10.2020).

15 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modell entdeckend-forschendes Lernen (Bell 2010: 75)..... 17
Abbildung 2:Experimentierzyklus (Fischknecht-Tobler/Labudde 2019: 137)..... 19
Abbildung 3: Druckschwankungen in der Luft (Borucki 1989: 111)..... 27
Abbildung 4: a) Schwingung a (t); b) Momentbild der Welle a(x) (Eichler et al. 2016: 95) 27
Abbildung 5: Darstellung der unterschiedlichen Schwingungen: a) tonerzeugende, b) klangerzeugende, c) geräuscherzeugende, d) knallerzeugende Schwingung (Borucki 1989: 88) 29
Abbildung 6: Schwingungsknoten und -bäuche einer stehenden Welle (Eichler et al. 2016: 95) 33
Abbildung 7: a) Stimmgabel; b) Schwingung der angeschlagenen Stimmgabel (Lüders/Oppen 2008: 552) 34
Abbildung 8: Querschnitt des menschlichen Ohrs (Lüders/Oppen 2008: 594) 37
Abbildung 9: Regeln im Schülerlabor..... 61
Abbildung 10: Symbolbeschreibung im Experimentierheft 61
Abbildung 11: Aufgabe Experiment 1a 63
Abbildung 12: Aufgabe Experiment 1b 64
Abbildung 13: Tippkarte 1 Experiment 1c..... 65
Abbildung 14: Aufgabe Experiment 1c 65
Abbildung 15: Aufgabe 1 Experiment 2a 66
Abbildung 16: Aufgabe 2 Experiment 2a (www.physikdigital.de) 67
Abbildung 17: Aufgabe Experiment 2b 68
Abbildung 18: Tippkarte Experiment 2b 68
Abbildung 19: Aufgabe 1 Experiment 2c 69
Abbildung 20: Tippkarte Experiment 2c..... 69
Abbildung 21: Aufgabe 2 Experiment 2c 69
Abbildung 22: Aufgaben Experiment 2d 70
Abbildung 23: Aufgaben Experiment 3a 71
Abbildung 24: Aufgaben Experiment 3b 72
Abbildung 25: Kreuzworträtsel Experiment 3b 72
Abbildung 26: Aufgabe Experiment 3d 74
Abbildung 27: Aufgaben Richtungshören 75
Abbildung 28: Schülerantwort Experiment 1a..... 81

Abbildung 29: Schülerantwort Experiment 1b 81
Abbildung 30: Schülerskizze Experiment 1c 82
Abbildung 31: Schülerantwort Experiment 1c 83
Abbildung 32: Schülerantwort 1 Experiment 2a 83
Abbildung 33: Schülerantwort 2 Experiment 2a 84
Abbildung 34: Schülerantwort 1 Experiment 2b 85
Abbildung 35: Schülerantwort 2 Experiment 2b 85
Abbildung 36: Schülerskizze 1 Experiment 2c 86
Abbildung 37: Schülerskizze 2 Experiment 2c 86
Abbildung 38: Schülerantwort Experiment 2c 86
Abbildung 39: Schülerantwort 1 Experiment 2d 87
Abbildung 40: Schülerantwort 2 Experiment 2d 87
Abbildung 41: Schülerantwort 3 Experiment 2d 87
Abbildung 42: Schülerantwort 1 Experiment 3a 88
Abbildung 43: Schülerantwort 2 Experiment 3a 88
Abbildung 44: Schülerantwort 3 Experiment 3a 88
Abbildung 45: Schülerantwort 4 Experiment 3a 89
Abbildung 46: Schülerskizze Experiment 3b 89
Abbildung 47: Schülerantwort Experiment 3c 90
Abbildung 48: Schülerantwort 1 Experiment 3d 90
Abbildung 49: Schülerantwort 2 Experiment 3d 91

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Erledigte Experimente der SuS……...78

Anhang:

Anhang 1: erste Version des Experimentierheftes

Anhang 2: überarbeitete Version des Experimentierheftes

Anhang 3: Materialliste für Lehrkräfte

Anhang 4: Lösungen

Anhang 5: Stationskarten und Tippkarten

Schülerlabor zum Thema Schall

Experimentierheft von

_____

Klasse:_____

Datum:_____

Laufzettel

Hier kannst du alle erledigten Stationen abhaken: ✓

Station	Seite	Erledigt
Station 1: Schall erzeugen und wahrnehmen		
Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang	S. 1	☐
Experiment 1b: Wir erzeugen Schall	S. 2	☐
Experiment 1c: das Gläserrätsel	S. 3	☐
Station 2: Schall durch Schwingungen		
Experiment 2a: das schwingende Lineal	S. 4+5	☐
Experiment 2b: kitzelnde Stimmgabel	S. 6	☐
Experiment 2c: die Dosengitarre	S. 7+8	☐
Experiment 2d: die Triangel	S. 9	☐
Station 3: Wie breitet sich Schall aus?		
Experiment 3a: der wandernde Ton	S. 10	☐
Experiment 3b: tanzende Körner	S. 11 + 12	☐
Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?	S. 13	☐
Experiment 3d: das Dosentelefon	S. 14	☐
★		
★ 1: Richtungshören	S. 15+16	☐
★ 2: unser Ohr	S.17+18	☐

Es gibt insgesamt 3 Stationen. Mache zuerst alle Experimente der Stationen 1 und 2. Erst dann darfst du mit Station 3 beginnen. Bist du mit allen Stationen fertig, dann darfst du die ★- Aufgaben machen.

Regeln im Schülerlabor

1.) Ich folge den Anweisungen der Betreuer und Lehrer.
2.) Ich gehe ordentlich mit den Materialien um.
3.) Wenn ich mit einem Experiment fertig bin, dann räume ich alles wieder auf.
4.) Ich arbeite gemeinsam mit meinem Partner an einem Experiment.
5.) Ich gehe freundlich mit meinen Mitschülern um.
6.) Ist eine Station besetzt, dann gehe ich zur nächsten.
7.) Bei Problemen frage ich einen Lehrer oder Betreuer.
8.) Ich nehme eine Tippkarte nur, wenn ich nicht mehr weiter weiß.
9.) Bin ich mit allen Stationen fertig, dann darf ich mir eine ★- Aufgabe aussuchen.

Eine Wörtersammlung findest du auf Seite 19.

Was die Symbole bedeuten:

Du sollst etwas **beobachten**.

Du musst genau **zuhören**.

Du sollst deine Überlegungen **aufschreiben.**

Es wird ein **Tipp** gegeben.

Räume die Station und deinen Arbeitsplatz **auf**.

Du darfst selbst **experimentieren**. Folge den Anweisungen.

Vorsicht! Hier musst du aufpassen.

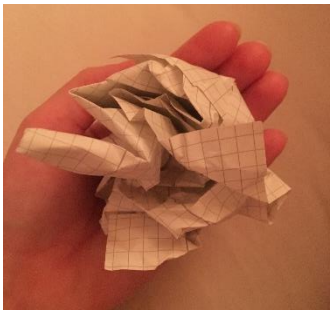
Station 1: Schall erzeugen und wahrnehmen

Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang

Es gibt vier verschiedene Schalleindrücke:

- **Ton**: gleichmäßige Schwingungen
- **Klang:** mehrere Töne überlagern sich
- **Geräusch**: uneinheitliche Schwingungen
- **Knall**: kurze, starke Schwingung

Hör genau hin und verbinde die Bilder mit dem dazugehörigen Schalleindruck:



Ton	Knall	Klang	Geräusch
_____	_____	_____	_____
_____	_____	_____	_____

Findest du noch weitere Beispiele? Schreibe sie unter die Begriffe.

Experiment 1b: Wir erzeugen Schall

Nimm dir eines der Instrumente oder Gegenstände.

✎ Was hast du gewählt?

_____

✎ Zeichne oder beschreibe deinen gewählten Gegenstand:

✋ Versuche mit deinem Gegenstand **lauten und leisen** Schall zu erzeugen.

⚠ Gehe dabei vorsichtig mit den Gegenständen um!

✎ Beschreibe was du tun musst, damit **lauter und leiser** Schall entsteht.

_____

_____

_____

Stelle deinem Partner deinen Gegenstand vor.

Experiment 1c: das Gläserrätsel

Du brauchst:

- 3 Gläser
- einen Becher mit Wasser
- einen Löffel

Kannst du es schaffen, dass alle drei Gläser beim Anschlagen mit dem Löffel unterschiedlich klingen?

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte 1.

Hier ist Platz für eine Skizze deines Aufbaus:

Erkläre von was es abhängt, dass sich die Töne unterscheiden.

_____

_____

_____

_____

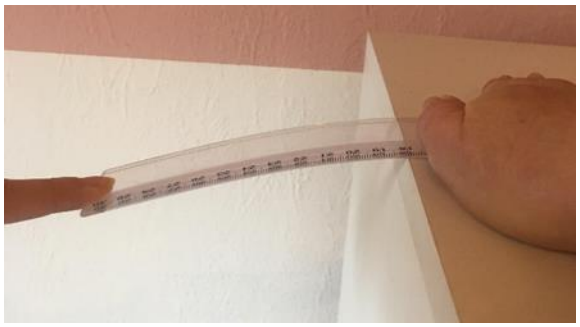
Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Station 2: Schall durch Schwingungen

Experiment 2a: das schwingende Lineal

Du brauchst: **ein Lineal.**

Lege das Lineal so auf den Tisch, dass eine Hälfte über die Tischkante ragt. Halte das Lineal mit einer Hand auf dem Tisch fest. Drücke das Ende des Lineals vorsichtig nach unten und lass es wieder los.



Beschreibe was passiert.

Ich höre _____

_____

Ich sehe _____

_____

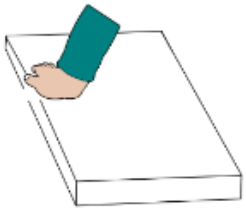
Versuche auf diese Weise andere Töne zu erzeugen.

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

➔ Auf der nächsten Seite geht es weiter!

✎ Vervollständige die Skizze indem du das Lineal einzeichnest. Wie erzeugst du unterschiedliche Töne?

Lauter Ton:



Leiser Ton:

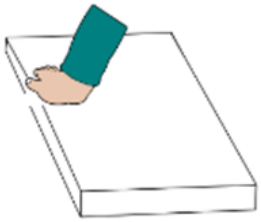


Abbildung 1

✎ Vervollständige den Lückentext.

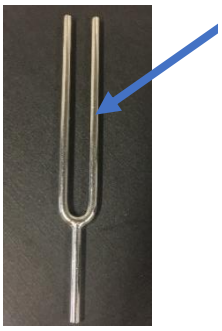
Ton – schwingt – Ohr – Lineal – Luft – zusammengedrückt - Trommelfell

Das _____ schwingt schnell auf und ab. Schwingt es nach oben, dann drückt es die darüberliegende _____ zusammen. Wenn das Lineal dann nach unten _____, dehnt sich die Luft wieder aus. Da das Lineal sehr oft auf und ab schwingt, wird die umliegende Luft ständig _____ und dann wieder ausgedehnt. Diese Schwingungen in der Luft gehen bis an unser _____. Dort treffen sie auf das _____. Dieses gibt die Vibrationen in unser Innenohr weiter. Dadurch können wir den _____ hören.

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 2b: kitzelnde Stimmgabel

Halte die Stimmgabel fest und schlage einen Zinken mit dem Schlegel an. Halte sie nun vorsichtig an deine Fingerspitzen.



Beschreibe was du fühlst.

_____

_____

Schlage nun die Stimmgabel an und halte sie vorsichtig ins Wasser.

Beschreibe was du beobachtest.

_____

_____

Kreuze die richtigen Antworten an:

Wir konnten den Schall nicht nur hören, sondern auch

☐ fühlen ☐ schmecken

☐ sehen ☐ riechen

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 2c: die Dosengitarre

Du brauchst:

- ein Gummiband
- eine Dose

✋ Spanne das Gummiband zwischen zwei Finger. Zupfe nun mit einem weiteren Finger an dem Band.

✏ Kreuze die richtige Antwort an:

Beim Zupfen des Gummibandes entsteht ein

□ lauter Ton

□ leiser Ton

Überlege wie du eine Dosengitarre aus der Dose und dem Band bauen kannst.

💡 Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte 1.

✏ Zeichne eine Skizze deiner Dosengitarre.

Zupfe das Gummiband der Dosengitarre an. Was hörst du?

Kreuze die richtige Antwort an:

Der entstandene Ton ist

□ lauter als zuvor.

□ leiser als zuvor.

Merke: Die Dose ist ein Hohlkörper. Beim Zupfen des Gummibandes schwingt die Luft in der Dose mit. Dadurch wird der Schall lauter.

Den Hohlkörper nennt man **Resonanzkörper**.

Kennst du Musikinstrumente, die einen Resonanzkörper besitzen?

_____

_____

_____

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte 2.

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 2d: die Triangel

Du brauchst:

- eine Triangel
- einen Schlegel

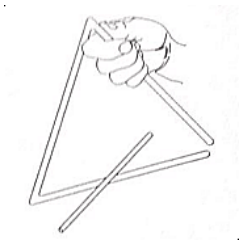


Abbildung 2

⚠Achtung! Vermute zuerst was passiert:

Einer von euch hält die Triangel an einer Ecke fest, der andere schlägt sie mit dem Schlegel an.

✎ Kreuze nur eine der folgenden Aussagen an und begründe:

Ich vermute die Triangel wird

☐ klingen, weil_____

☐ nicht klingen, weil_____

✋ Jetzt dürft ihr es ausprobieren.

✎ Was ist passiert?

Die Triangel hat

☐ geklungen ☐ nicht geklungen

✎ Wie würde das ein Wissenschaftler erklären?

_____

_____

_____

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Station 3: Wie breitet sich Schall aus?

Experiment 3a: der wandernde Ton

Du brauchst:

- zwei Stimmgabeln und Resonanzkörper
- Schlegel

✋ Stelle die Resonanzkörper nebeneinander. Schlage eine der Stimmgabeln mit dem Schlegel an. Halte die angeschlagene Stimmgabel nach kurzer Zeit fest.

✎ Was hast du gehört? Probiere es mehrmals und beschreibe.

_____

_____

✎ Wie kannst du dir das erklären?

_____

_____

_____

Du kannst deine Erklärung auch in das Bild einzeichnen.

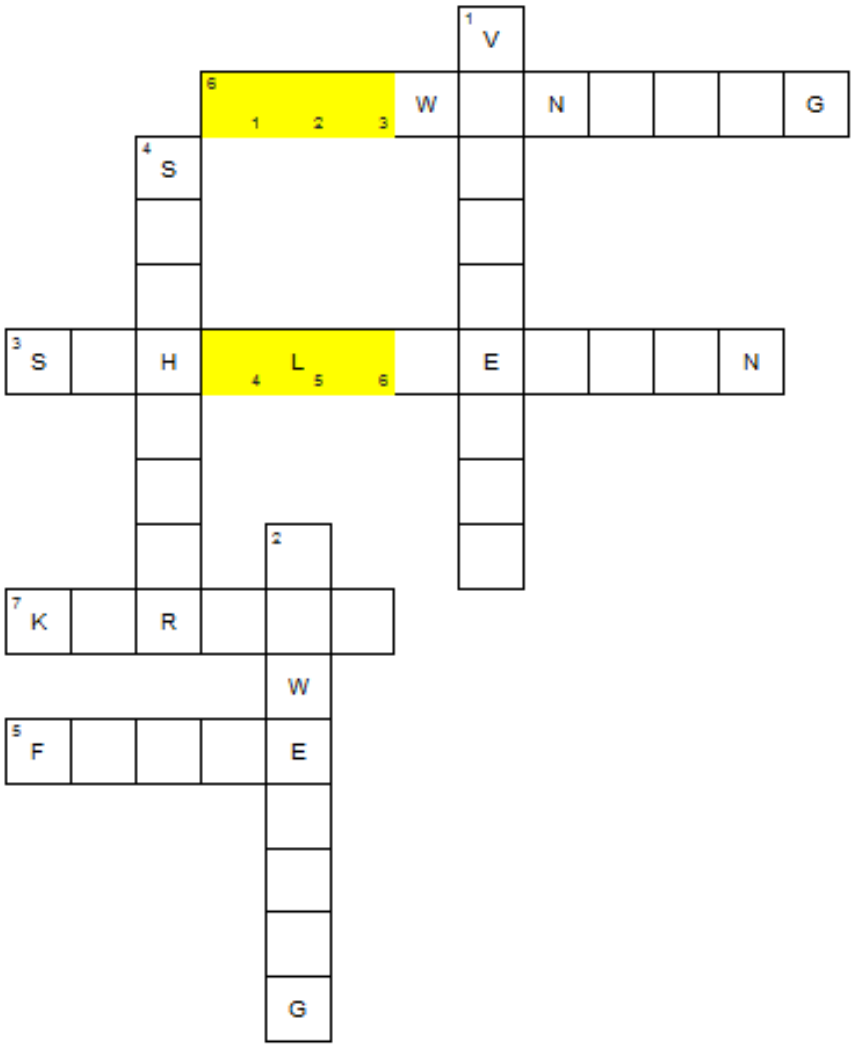
Experiment 3b: Tanzende Körner

✋ Der Kochtopf ist mit Folie bespannt. Lege eine Handvoll Sandkörner auf die Folie. Halte die Trommel in die Nähe des Topfes. Schlage nun einige Male auf die Trommel.

✎ Zeichne eine Skizze. Was kannst du beobachten?

✎ Löse das Rätsel auf der nächsten Seite. Setze die fehlenden Wörter in das Kreuzworträtsel und in den Text ein. Findest du das Lösungswort?

1. Schlägt man auf die Trommel, dann beginnt diese zu _____.
2. Diese Vibrationen setzen die umliegende Luft in _____.
3. Es entstehen sogenannte _____.
4. Sie sind für uns nicht _____.
5. Sie gehen vom Deckel aus in alle Richtungen. Einige treffen auf die _____.
6. Diese wird dadurch in _____ versetzt.
7. Diese Schwingung lässt die _____ tanzen.



Lösungswort:

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?

Du brauchst **Stift und Papier**.

✋ Lege das Papier auf den Tisch. Zeichne die Form auf dem Papier nach.

✏ Beschreibe was du hörst.

_____

_____

👂 Lege nun dein Ohr auf den Tisch. Dein Partner schreibt weiter. Danach tauscht ihr.

✏ Was konntest du diesmal hören?

_____

_____

Wie würde das ein Wissenschaftler erklären? Kreuze die richtige Antwort an:

☐ Der Tisch schwingt mit und verstärkt dadurch die Schallwirkung. Das Geräusch ist deshalb lauter, wenn wir unser Ohr auf den Tisch legen.

☐ Die Schallwirkung wird durch den Tisch nicht verstärkt. Das Geräusch wird nicht lauter, wenn wir unser Ohr auf den Tisch legen.

Experiment 3d: das Dosentelefon

Du brauchst:

- 2 Plastikbecher
- Schnur (etwa 10 Meter lang)
- Nagel

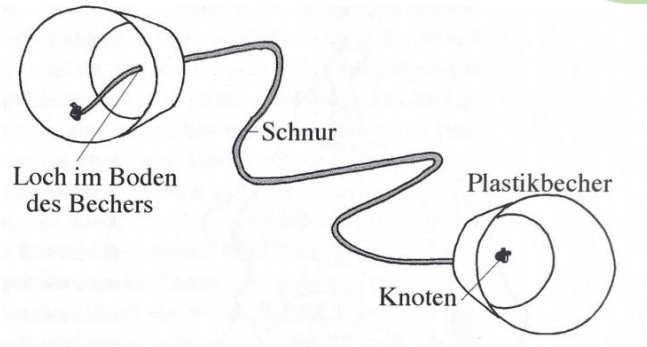


Abbildung 3

Nehmt beide Plastikbecher.

⚠Vorsicht! Ruft zuerst einen Betreuer oder Lehrer.

In den Becherboden bohrt ihr mit dem Nagel ein kleines Loch. Fädelt nun die Schnur durch die beiden Löcher. Macht an beiden Enden der Schnur einen Knoten.

✋Ist euer Dosentelefon fertig? Dann geht auf den Flur. Jeder nimmt einen Becher in die Hand. Die Schnur muss stramm gespannt sein. Nun spricht einer von euch leise in den Becher. Der andere muss sich den Becher ans Ohr halten.

Konntet ihr euch trotz der Entfernung hören?

✎Erkläre wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt.

_____

_____

_____

💡 Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

★ 1: Richtungshören

Wissen unsere Ohren aus welcher Richtung die Töne kommen?

✎ Was denkst du? Kreuze an.

□ Ja unsere Ohren wissen es.

□ Nein unsere Ohren wissen es nicht.

Finde es heraus! Nimm den Schlauch. Halte dir die Trichter an die Ohren. Dein Partner steht hinter dir und tippt den Schlauch an verschiedenen Stellen mit einem Stift an. Er notiert die Ergebnisse. Danach tauscht ihr.

Abbildung 4

Hat euer Partner richtig ✓ oder falsch ✕ gelegen?

Experiment 1: Wer hört? _____

	Rechts	Mitte	Links
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			

Experiment 2: Wer hört? _____

	Rechts	Mitte	Links
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			

★2: Unser Ohr

Wie hören wir?

Lies den Text und setze die **dick gedruckten** Wörter in die Zeichnung ein.

Unser Ohr teilt sich in Außenohr, Mittelohr und Innenohr auf.
Die Schallwellen treffen zuerst auf unsere **Ohrmuschel**. Dort gelangen sie durch den **Gehörgang** zum **Trommelfell**. Dieses beginnt durch den Schall zu schwingen. Die Schwingung setzt die dahinterliegenden **Gehörknöchelchen** in Bewegung. Sie sitzen im Mittelohr und verstärken den Schall. Die Gehörknöchelchen geben die Schwingungen an das Innenohr weiter. Dort sitzt die **Schnecke**, die mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Der Schall wird dort in ein Signal umgewandelt und durch den **Hörnerv** zu unserem Gehirn weitergeleitet. Erst durch unser Gehirn erkennen wir, dass wir etwas hören.

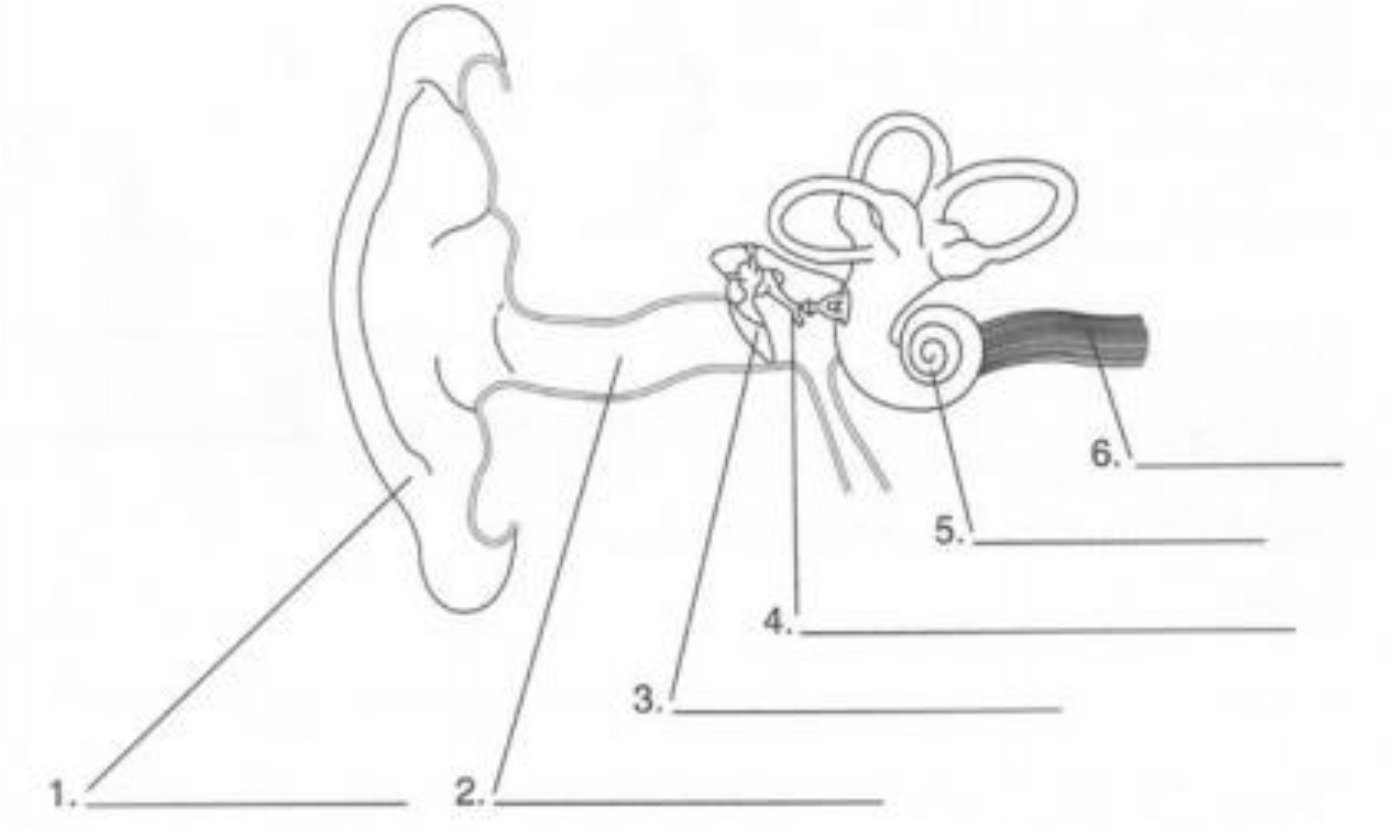


Abbildung 5

Zeichne den Weg des Schalls durch das Ohr ein.

Wie heißen die drei Bereiche unseres Ohres?

_____

_____

Wörtersammlung

das Gummiband – die Gummibänder

der Resonanzkörper – die Resonanzkörper

die Skizze – die Skizzen: Eine einfache, schnelle Zeichnung von etwas.

die Stimmgabel – die Stimmgabeln

der Schlegel – die Schlegel

der Trichter – die Trichter

das Instrument – die Instrumente:

die Gitarre – die Gitarren

die Triangel – die Triangel

Abbildungsverzeichnis Experimentierheft:

Abbildung 1: www.physikdidgital.de (o.J.) URL: https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjgw6K9hYvtAhWPAGMBHVFkD3QQFjATegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.physikdigital.de%2Fapp%2Fdownload%2F13850262578%2FAB%2520Das%2520Schwingende%2520Lineal.docx%3Ft%3D1523007609&usg=AOvVaw14XCoWQkbLrj37r62X_LEV (zuletzt besucht am 10.11.2020)

Abbildung 2: Hoffmann, D. (2010). *Themenfeld Schall*. In: *Wir experimentieren in der Grundschule: einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 1. Luft, Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall* (S. 155-184). Hrsg. von Joachim Kahlert und Reinhard Demuth. Köln: Aulis. S.189

Abbildung 3: Berthold, C.; Christ, D.; Braam, G.; Haubich, J.; Herfert, M.; Hilscher, H.; Kraus, J.; Möller, C. (2012). *Physikalische Freihandexperimente. Band 2: Akustik, Wärme, Elektrizität, Magnetismus, Optik*. Köln: Aulis. S. 501

Abbildung 4: Hoffmann, D. (2010). *Themenfeld Schall*. In: *Wir experimentieren in der Grundschule: einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 1. Luft, Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall* (S. 155-184). Hrsg. von Joachim Kahlert und Reinhard Demuth. Köln: Aulis. S. 212

Abbildung 5: Hoffmann, D. (2010). *Themenfeld Schall*. In: *Wir experimentieren in der Grundschule: einfache Versuche zum Verständnis physikalischer und chemischer Zusammenhänge. Teil 1. Luft, Schwimmen und Sinken, Elektrizität, Magnetismus, Feuer, Schall* (S. 155-184). Hrsg. von Joachim Kahlert und Reinhard Demuth. Köln: Aulis. S. 210

Anhang 2: überarbeitete Version des Experimentierheftes

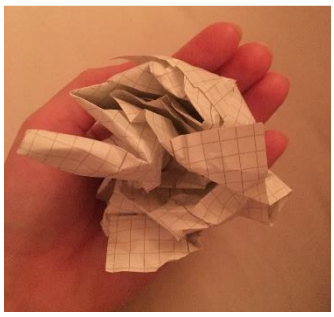
Station 1: Schall erzeugen und wahrnehmen

Experiment 1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang

Es gibt vier verschiedene Schalleindrücke:

- **Ton**: gleichmäßige Schwingungen
- **Klang:** mehrere Töne überlagern sich
- **Geräusch**: uneinheitliche Schwingungen
- **Knall**: kurze, starke Schwingung

Hör genau hin und verbinde die Bilder mit dem dazugehörigen Schalleindruck:



Ton	Knall	Klang	Geräusch
	_____	_____	_____
	_____	_____	_____

Findest du noch weitere Beispiele? Schreibe sie unter die Begriffe.

Experiment 1b: Wir erzeugen Schall

Nimm dir eines der Instrumente oder Gegenstände.

✎ Benenne den Gegenstand.

_____

✎ Zeichne oder beschreibe deinen gewählten Gegenstand:

Welchen Schalleindruck erzeugt dein Gegenstand. Kreuze an:

☐ Klang

☐ Geräusch

✋ Versuche mit deinem Gegenstand **lauten und leisen** Schall zu erzeugen.

⚠ Gehe dabei vorsichtig mit den Gegenständen um!

✎ Beschreibe was du tun musst, damit **lauter und leiser** Schall entsteht.

_____

_____

Stelle deinem Partner deinen Gegenstand vor.

Experiment 1c: das Gläserrätsel

Du brauchst:

- 3 Gläser
- einen Becher mit Wasser
- einen Löffel

Kannst du es schaffen, dass alle drei Gläser beim Anschlagen mit dem Löffel unterschiedlich klingen?

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

Hier ist Platz für eine Skizze deines Aufbaus:

Erkläre von was es abhängt, dass sich die Töne unterscheiden.

_____

_____

_____

_____

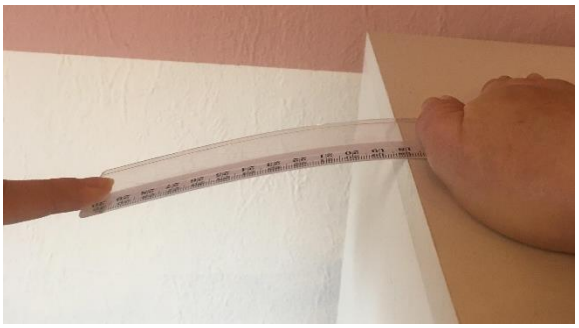
Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Station 2: Schall durch Schwingungen

Experiment 2a: das schwingende Lineal

Du brauchst: **ein Lineal.**

Lege das Lineal so auf den Tisch, dass eine Hälfte über die Tischkante ragt. Halte das Lineal mit einer Hand auf dem Tisch fest. Drücke das Ende des Lineals vorsichtig nach unten und lass es wieder los.



Beschreibe was passiert.

Ich höre _____

_____

Ich sehe _____

_____

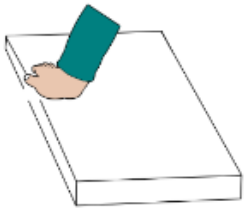
Versuche auf diese Weise andere Töne zu erzeugen.

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

➔ Auf der nächsten Seite geht es weiter!

✎ Zeichne das fehlende Lineal ein. Wie muss es auf dem Tisch liegen, wenn du einen leisen und einen lauten Ton erzeugen willst?

Lauter Ton:



Leiser Ton:

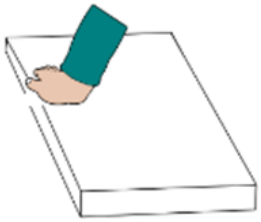


Abbildung 1

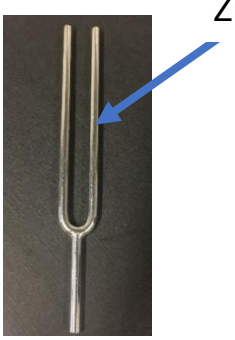
✎ Vervollständige den Lückentext.

Ohr - benachbarte – Trommelfell – angestoßen – Ton - Teilchen – Richtungen

Schall ist eine Schwingung, die sich wie eine Welle in der Luft ausbreitet. Die Luft besteht aus vielen kleinen unsichtbaren _____. Schwingt das Lineal nach oben und nach unten, dann werden die Luftteilchen _____. Die angestoßenen Teilchen stoßen andere _____ Teilchen an. Sie bewegen sich hin und her wie auf einer Schaukel aber verlassen ihren Platz nicht.

So breitet sich der Schall in alle _____ aus. Diese Schwingungen in der Luft gehen bis an unser _____. Dort treffen sie auf das _____. Dieses gibt die Vibrationen in unser Innenohr weiter. Dadurch können wir den _____ hören.

Experiment 2b: kitzelnde Stimmgabel



Halte die Stimmgabel fest und schlage einen Zinken mit dem Schlegel an. Halte den unteren Teil der Stimmgabel auf den Tisch.

Kreuze an. Was konntest du feststellen?

□ Der Ton wird lauter. □ Der Ton wird leiser.

Schlage die Stimmgabel an und halte den Zinken an deine Fingerspitzen.

Beschreibe was du fühlen konntest.

_____

_____

Schlage nun die Stimmgabel an und halte sie vorsichtig ins Wasser.

Beschreibe was du beobachtest.

_____

_____

Kreuze die zwei richtigen Antworten an:

Wir konnten den Schall nicht nur hören, sondern auch

□ fühlen □ schmecken

□ sehen □ riechen

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 2c: die Dosengitarre

Du brauchst:

- ein Gummiband
- eine Dose

✋ Spanne das Gummiband zwischen zwei Finger. Zupfe nun mit einem weiteren Finger an dem Band.

✏ Kreuze die richtige Antwort an:

Beim Zupfen des Gummibandes entsteht ein

□ lauter Ton

□ leiser Ton

Überlege wie du eine Dosengitarre aus der Dose und dem Band bauen kannst.

💡 Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte 1.

✏ Zeichne eine Skizze deiner Dosengitarre.

✏ Auf der nächsten Seite geht es weiter!

Zupfe das Gummiband der Dosengitarre an. Was hörst du?

Kreuze die richtige Antwort an:

Der entstandene Ton ist

□ lauter als zuvor.

□ leiser als zuvor.

Merke: Die Dose ist ein Hohlkörper. Beim Zupfen des Gummibandes schwingt die Luft in der Dose mit. Dadurch wird der Schall lauter.

Den Hohlkörper nennt man **Resonanzkörper**.

Kennst du Musikinstrumente, die einen Resonanzkörper besitzen?

_____

_____

_____

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte 2.

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 2d: die Triangel

Du brauchst:

- eine Triangel
- einen Schlegel

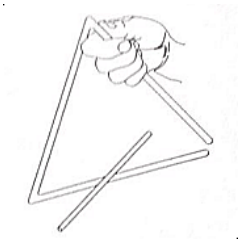


Abbildung 2

⚠Achtung! Vermute zuerst was passiert:

Einer von euch hält die Triangel an einer Ecke fest, der andere schlägt sie mit dem Schlegel an.

✎Kreuze nur eine der folgenden Aussagen an und begründe:

Ich vermute die Triangel

☐ klingt nach.

☐ klingt nicht nach.

✋Jetzt dürft ihr es ausprobieren.

✎Was ist passiert?

Hält man die Triangel fest, dann

☐ klingt sie nach. ☐ klingt sie nicht nach.

✎ Wie würde das ein Wissenschaftler erklären?

_____

_____

_____

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Station 3: Wie breitet sich Schall aus?

Experiment 3a: der wandernde Ton

Du brauchst:

- zwei Stimmgabeln und Resonanzkörper
- Schlegel

✋ Stelle die Resonanzkörper nebeneinander. Schlage eine der Stimmgabeln mit dem Schlegel an. Halte die angeschlagene Stimmgabel nach kurzer Zeit fest.

✎ Was hast du gehört? Probiere es mehrmals und beschreibe.

_____

_____

_____

✎ Wie kannst du dir das erklären?

_____

_____

_____

Du kannst deine Erklärung auch in das Bild einzeichnen.

Experiment 3b: Tanzende Körner

✋ Der Kochtopf ist mit Folie bespannt. Lege eine Handvoll Sandkörner auf die Folie. Halte die Trommel in die Nähe des Topfes. Schlage nun einige Male auf die Trommel.

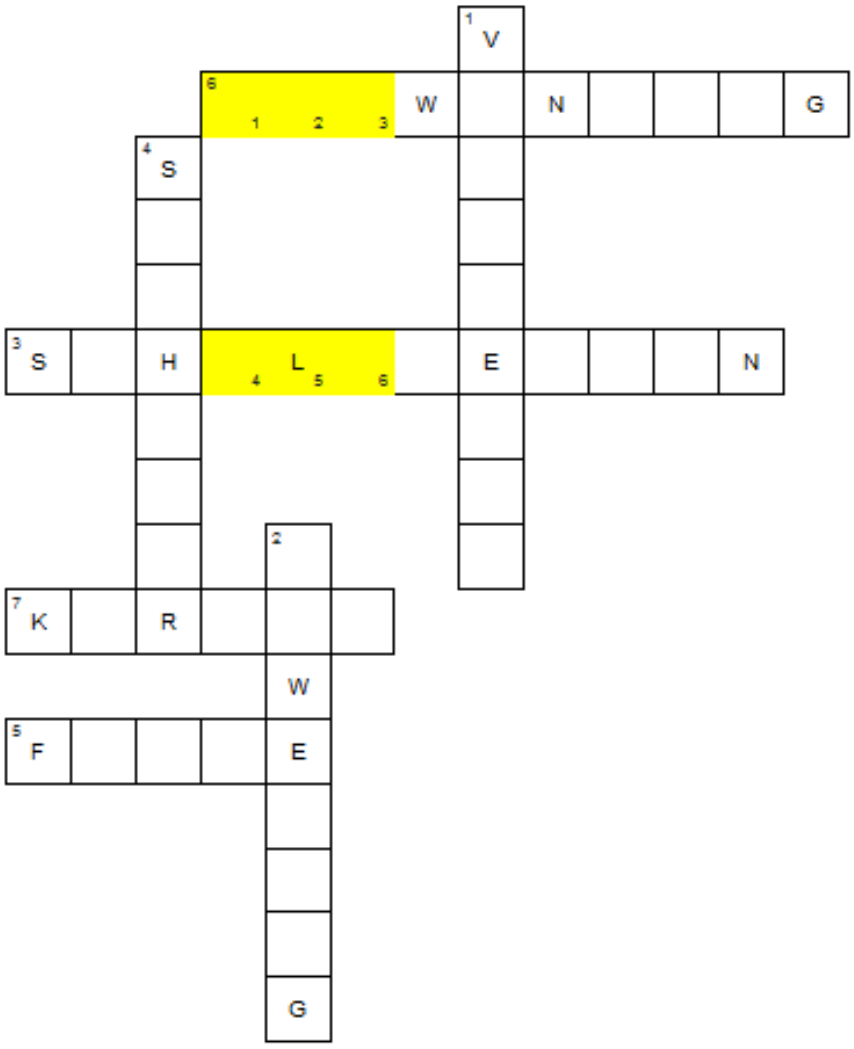
✎ Beschreibe was du beobachten kannst.

_____

_____

✎ Löse das Rätsel auf der nächsten Seite. Setze die fehlenden Wörter in das Kreuzworträtsel und in den Text ein. Findest du das Lösungswort?

1. Schlägt man auf die Trommel, dann beginnt diese zu _____.
2. Diese Vibrationen setzen die umliegende Luft in _____.
3. Es entstehen sogenannte _____.
4. Sie sind für uns nicht _____.
5. Sie gehen vom Deckel aus in alle Richtungen. Einige treffen auf die _____.
6. Diese wird dadurch in _____ versetzt.
7. Diese Schwingung lässt die _____ tanzen.



Lösungswort:

L
1 2 3 4 5 6

Bist du fertig mit dem Experimentieren? Dann **räume** bitte die Station **auf**.

Experiment 3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?

Du brauchst **Stift und Papier**.

✋ Lege das Papier auf den Tisch. Zeichne die Form auf dem Papier nach.

✎ Beschreibe was du hörst.

_____

_____

👂 Lege nun dein Ohr auf den Tisch. Dein Partner schreibt weiter. Danach tauscht ihr.

✎ Was konntest du diesmal hören?

_____

_____

Wie würde das ein Wissenschaftler erklären? Kreuze die richtige Antwort an:

☐ Der Tisch schwingt mit und verstärkt dadurch die Schallwirkung. Das Geräusch ist deshalb lauter, wenn wir unser Ohr auf den Tisch legen.

☐ Die Schallwirkung wird durch den Tisch nicht verstärkt. Das Geräusch wird nicht lauter, wenn wir unser Ohr auf den Tisch legen.

Experiment 3d: das Dosentelefon

Du brauchst:

- 2 Plastikbecher
- Schnur (etwa 10 Meter lang)
- Nagel

Nehmt beide Plastikbecher.

⚠Vorsicht! Ruft zuerst einen Betreuer oder Lehrer.

1. Bohrt ein kleines Loch in den Becherboden.

2. Fädelt die Schnur von unten durch das Loch.

3. Macht an beiden Enden der Schnur einen Knoten.

Fertig ist euer Dosentelefon!

→Auf der nächsten Seite geht es weiter.

Ist euer Dosentelefon fertig? Dann geht auf den Flur. Jeder nimmt einen Becher in die Hand. Die Schnur muss stramm gespannt sein. Nun spricht einer von euch leise in den Becher. Der andere muss sich den Becher ans Ohr halten.

Konntet ihr euch trotz der Entfernung hören?

Erkläre wie der Schall vom Sprecher zum Hörer gelangt.

_____

_____

_____

Brauchst du Hilfe? Dann nimm dir die Tippkarte.

★ 1: Richtungshören

Wissen unsere Ohren aus welcher Richtung die Töne kommen?

✎ Was denkst du? Kreuze an.

□ Ja unsere Ohren wissen es.

□ Nein unsere Ohren wissen es nicht.

Finde es heraus! Nimm den Schlauch. Halte dir die Trichter an die Ohren. Dein Partner steht hinter dir und tippt den Schlauch an verschiedenen Stellen mit einem Stift an. Er notiert die Ergebnisse. Danach tauscht ihr.

Hat euer Partner richtig ✓ oder falsch ✗ gelegen?

Experiment 1: Wer hört? _____

	Rechts	Mitte	Links
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			

Experiment 2: Wer hört? _____

	Rechts	Mitte	Links
Versuch 1			
Versuch 2			
Versuch 3			
Versuch 4			

★2: Unser Ohr

Wie hören wir?

Lies den Text und setze die **dick gedruckten** Wörter in die Zeichnung ein.

Unser Ohr teilt sich in Außenohr, Mittelohr und Innenohr auf.
Die Schallwellen treffen zuerst auf unsere **Ohrmuschel**. Dort gelangen sie durch den **Gehörgang** zum **Trommelfell**. Dieses beginnt durch den Schall zu schwingen. Die Schwingung setzt die dahinterliegenden **Gehörknöchelchen** in Bewegung. Sie sitzen im Mittelohr und verstärken den Schall. Die Gehörknöchelchen geben die Schwingungen an das Innenohr weiter. Dort sitzt die **Schnecke**, die mit einer Flüssigkeit gefüllt ist. Der Schall wird dort in ein Signal umgewandelt und durch den **Hörnerv** zu unserem Gehirn weitergeleitet. Erst durch unser Gehirn erkennen wir, dass wir etwas hören.

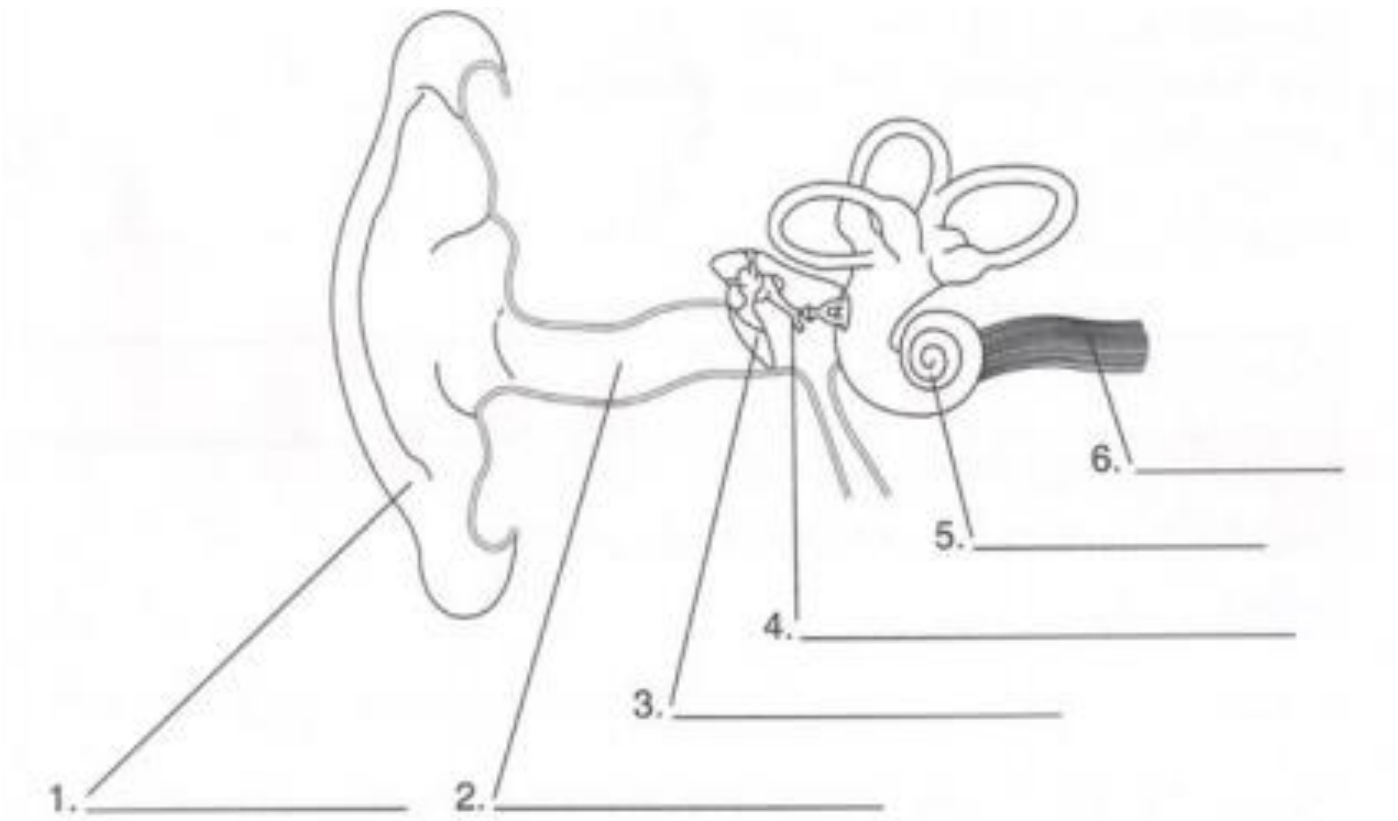


Abbildung 5

Zeichne den Weg des Schalls durch das Ohr mit einem Buntstift ein.

Wie heißen die drei Bereiche unseres Ohres?

_____

_____

Anhang 3: Materialliste für Lehrkräfte

Station/Experiment	Benötigte Materialien
1a: Ton, Knall, Geräusch, Klang	- Audiodatei, Laptop und Kopfhörer oder - Gitarre, Papier, Stimmgabel
1b: Wir erzeugen Schall	- Musikinstrumente: Tamburin, Trommel, Gitarre, Klanghölzer - Alltagsgegenstände: Alufolie, selbstgebastelte Rassel
1c: das Gläserrätsel	- 3 gleiche Weingläser - Becher - Löffel
2a: das schwingende Lineal	- 20-30cm lange Lineale
2b: kitzelnde Stimmgabel	- Stimmgabel (niedrige Frequenz; hier: 256 Hz) - Schlegel - Schüssel mit Wasser - Tücher zum Aufwischen
2c: die Dosengitarre	- Dosen (Plastik, Blech) verschiedener Größen - Gummibänder
2d: die Triangel	- Triangel - Schlegel
3a: der wandernde Ton	- zwei Stimmgabeln gleicher Frequenz - zwei Resonanzkörper - Schlegel
3b: tanzende Körner	- Salz- oder Sandkörner - Topf bespannt mit Frischhaltefolie - Tamburin mit Schlegel oder als Ersatz Topfdeckel und Holzlöffel
3c: Unser Tisch als Resonanzkörper?	- Malvorlage (Zahlenbild) - Stift
3d: das Dosentelefon	- 2 Joghurtbecher oder Blechdosen - Nagel und Hammer

	- 7-10m Schnur/Kordel
Stern 1: Richtungshören	- Schlauch - Zwei Trichter

Anhang 4: Lösungen

Experiment 1a:

Ton – Stimmgabel

Knall – einmal Klatschen

Klang – Gitarre

Geräusch – Papier zerknüllen

Weitere Beispiele:

- Knall: Explosion, Buch zuschlagen
- Geräusch: Summen, Autos
- Klang: Triangel, Flöte, Cello

Experiment 1b:

- In stärkere Schwingung versetzen – stärkeres Zupfen/Schlagen – dadurch wird der Klang/ das Geräusch lauter

Experiment 1c:

Die Töne unterscheiden sich aufgrund der Luftsäule, welche sich durch den Wasserstand verändert. Hier genügt die Antwort, dass der Wasserstand den Ton bestimmt. Im weiteren Verlauf des Unterrichts kann auf die Prozesse eingegangen werden.

Experiment 2a:

Ein lauter Ton entsteht, wenn das über die Tischkante ragende Linealstück kurz ist. Ein leiser demnach, wenn das Stück länger ist.

Lückentext:

1. Teilchen
2. angestoßen
3. benachbarte
4. Richtungen

5. Ohr
6. Trommelfell
7. Ton

Experiment 2b:
Der Ton wird lauter.
Wir konnten den Schall nicht nur hören, sondern auch fühlen und sehen.

Experiment 2c:
Beim Zupfen des Gummibandes entsteht ein leiser Ton.
Der entstandene Ton ist lauter als zuvor.
Weitere Musikinstrumente mit Resonanzkörper: Flöte, Trommel, Klavier, Kontrabass, Cello, Geige

Experiment 2d:
Hält man die Triangel fest, dann klingt sie nicht nach.
Erklärung: Eine Schallquelle muss frei schwingen können, damit der Schall nachklingen kann. Da die Triangel nicht frei schwingen kann, kann der Klang nicht nachklingen.

Experiment 3a:
Wichtigste Erkenntnis dieses Experiments ist, dass sich durch das Schlagen der Stimmgabel Schallwellen in alle Richtungen ausbreiten. Sie treffen dementsprechend auch auf die zweite Stimmgabel, welche dadurch ebenfalls in Schwingung gebracht wird (vgl. Berthold et al. 2012: 543f).

Experiment 3b:

1. vibrieren
2. Bewegung
3. Schallwellen
4. sichtbar
5. Folie
6. Schwingung
7. Körner

Experiment 3c:

- SuS beschreiben ein leises Geräusch

- SuS beschreiben ein lauteres Geräusch

Erklärung: Der Tisch schwingt mit und verstärkt dadurch die Schallwirkung. Das Geräusch ist deshalb lauter, wenn wir unser Ohr auf den Tisch legen.

Experiment 3d:

Erklärung: Die Luft im Becher wird in Schwingung versetzt sobald jemand in den Becher hineinspricht. Am Becherboden übertragen sich diese Schwingungen auf die Schnur, von wo aus sie sich als Schallwellen fortpflanzen. Am Ende der Schnur übertragen sich die Schallwellen auf den anderen Becher. Die Druckschwankungen der Luftteilchen im zweiten Becher breiten sich bis zum Ohr des Hörers aus (vgl. Berthold et al. 2012: 501).

Anhang 5: Stationenkarten und Tippkarten

Experiment 1b:

Wir erzeugen Schall

Experiment 1c:

das Gläserrätsel

Experiment 2a:

das schwingende Lineal

Experiment 2b:

kitzelnde Stimmgabel

Experiment 2c:

die Dosengitarre

Experiment 2d:

die Triangel

Experiment 3a:

der wandernde Ton

Experiment 3b:

tanzende Körner

Experiment 3c:

Unser Tisch als Resonanzkörper?

Experiment 3d:

das Dosentelefon

Tippkarte Experiment 1c:

Versuch es doch mal so:

Tippkarte Experiment 2a:

Versuche die Länge des überhängenden Linealstücks zu vergrößern oder zu verkleinern.

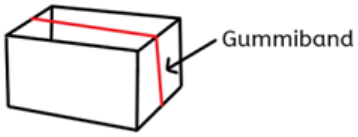
Tippkarte Experiment 2b:

Halten wir uns die vibrierende Stimmgabel an die Hand, dann _____ wir die Vibrationen.

Halten wir die Stimmgabel ins Wasser, dann können wir die Schwingungen _____.

Tippkarte 1 Experiment 2c:

Versuch es doch mal so:



Tippkarte 2 Experiment 2c:

Bilder von Cello, Geige, Flöte, Trommel

Tippkarte Experiment 3d:

Überlege dir wo du hineinsprichst. Wie können die Schallwellen von dort zum anderen Becher gelangen?

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, dass ich die Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel verwendet und sämtliche Stellen, die anderen Druckwerken oder digitalisierten Werken im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, in jedem einzelnen Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht habe. Die Versicherung gilt auch für verwendete Zeichnungen, Skizzen, Notenbeispiele sowie bildliche und sonstige Darstellungen.

_____

(Ort, Datum und Unterschrift der Verfasserin)