



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Schülervorstellungen zum Thema Schall“

verfasst von / submitted by

Mag. Daniel Schwendinger BA

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2017 / Vienna, 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 020 412

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium UF Katholische Religion
UF Physik

Betreut von / Supervisor:

Mag. Dr. Hildegard Urban-Woldron, Privatdoz.

Vorwort und Danksagung

Während eines Fachdidaktikseminars an der Universität Wien im Wintersemester 2016/17 mit dem Titel „Physikunterricht an Schülervorstellungen orientieren“ reifte die Idee, Schülervorstellungen noch intensiver nachzugehen. Da uns unsere Seminarleiterin Frau Dr. Urban-Woldron auf die Forschungslücke im Bereich des Schalls aufmerksam machte, kristallisierte sich nach einigen anderen Vorüberlegungen zu einer möglichen Realisierung eines solchen Projektes dieses Fachgebiet als konkretes Forschungsgebiet heraus.

Wichtig war mir dabei, dass sich meine Forschungen auch für meine Tätigkeit als Physiklehrer bezahlbar machen. Die theoretische Vertiefung zu Schülervorstellungen auf der fachdidaktischen, sowie jene zum Thema Schall auf der physikalischen Seite brachten diesbezüglich auch meinen gewünschten persönlichen Erkenntnisgewinn, der sich durch die Forschungen mit Schülerinnen und Schülern an meinem Berufsfeld Schule zusätzlich erweiterte.

Besonders bedanken möchte ich mich daher bei Frau Dr. Urban-Woldron, die mich bei der Themenfindung unterstützt und sich für die Betreuung meiner Diplomarbeit bereiterklärt hat. Ein herzliches Dankeschön gilt ihr für die Hilfestellungen zur Durchführung der empirischen Studie, zur Abfassung der Diplomarbeit und für ihre zuverlässige Betreuung.

Allen Schülerinnen und Schülern, die bei der Studie im Rahmen von Interviews oder beim Ausfüllen der Fragebögen bereitwillig mitgemacht haben, sei ebenfalls gedankt sowie der Direktorin und den Physikkollegen und Physikkolleginnen für deren wohlwollende Unterstützung.

Zurückblickend auf mein Studium sei auch meinen Kommilitonen für die gute und schöne gemeinsame Zeit gedankt. Danke für den Austausch, die Unterstützung, die Ermutigungen und die Freuden im und neben dem Studium.

Besonderer Dank gilt meiner Familie, auf die ich schon seit langem und auch jetzt immer noch zählen kann; ebenso meinen Freundinnen und Freunden sowie meiner lieben Frau Moni. Danke für deine Geduld, deine Unterstützung und deine liebevollen Gesten während dem Abfassen dieser Arbeit.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Fachwissenschaftliche Grundlagen zum Schall	2
2.1	Schallerzeugung	2
2.2	Schallausbreitung	3
2.3	Schallgeschwindigkeit	3
2.4	Charakteristische Größen einer Schallwelle	5
2.5	Schallarten.....	6
2.5.1	<i>Ton</i>	6
2.5.2	<i>Klang</i>	7
2.5.3	<i>Geräusch und Knall</i>	8
2.6	Frequenzbereiche.....	8
2.7	Tonhöhe	10
2.8	Schallintensität	11
2.9	Schallpegel und Lautstärke.....	12
2.10	Lautheit und Lautstärkenbewertung.....	14
2.11	Lärm und Lärmschutz	14
2.12	Eigenschaften des Schalls	16
2.12.1	<i>Reflexion, Hall und Echo</i>	16
2.12.2	<i>Brechung</i>	17
2.12.3	<i>Beugung</i>	18
2.12.4	<i>Dissipation und Absorption</i>	18
2.12.5	<i>Stehende Wellen</i>	20
2.12.6	<i>Doppler-Effekt</i>	22
2.12.7	<i>Überschallknall</i>	22
2.13	Anwendungsgebiete zum Thema Schall	23
2.13.1	<i>Ultraschalldiagnostik</i>	23
2.13.2	<i>Schall in der Natur – Biosonar</i>	24

3	Fachdidaktische Grundlagen.....	25
3.1	Überlegungen aus der Lernpsychologie	25
3.2	Der konstruktivistische Ansatz	27
3.3	Schülervorstellungen	27
3.4	Die Problematik hinter Schülervorstellungen.....	29
3.5	Charakterisierung von Schülervorstellungen.....	30
3.6	Konzeptwechsel.....	31
3.7	Strategien des Konzeptwechsels	32
3.7.1	<i>Anknüpfen</i>	33
3.7.2	<i>Konfrontation</i>	33
3.7.3	<i>Umdeuten</i>	33
3.7.4	<i>Brücken bauen</i>	34
3.8	Rolle der Lehrperson	34
3.9	Didaktische Rekonstruktion.....	35
3.10	Schülervorstellungen im Bereich des Schalls – aktueller Forschungsstand.....	35
3.11	Schall im österreichischen Lehrplan	36
4	Empirische Untersuchung.....	37
4.1	Forschungsfragen	37
4.2	Forschungsdesign	38
4.3	Zum Verhältnis der beiden Forschungsansätze	40
4.4	Qualitative Erhebung – Interviews	42
4.4.1	<i>Gestaltung des Interviewleitfadens</i>	43
4.4.2	<i>Durchführung der empirischen Vorstudie</i>	45
4.4.3	<i>Auswahl der Stichprobe und Beschreibung des Settings</i>	46
4.4.4	<i>Auswertung</i>	48
4.4.4.1	Transkription	49
4.4.4.2	Qualitative Inhaltsanalyse	49
4.5	Ergebnisse der qualitativen Studie	51

4.5.1	<i>Ergebnisse zur ersten Forschungsfrage.....</i>	52
4.5.2	<i>Ergebnisse zur zweiten Forschungsfrage</i>	60
4.6	Quantitative Erhebung – Fragebogen	63
4.6.1	<i>Gestaltung des Fragebogens.....</i>	63
4.6.2	<i>Pretest.....</i>	65
4.6.3	<i>Auswahl der Stichprobe und Beschreibung des Settings.....</i>	66
4.6.4	<i>Auswertung.....</i>	68
4.7	Ergebnisse der quantitativen Studie	68
5	Diskussion der Ergebnisse im Forschungskontext.....	78
5.1	Ergebnisse im Blick auf die erste Forschungsfrage	78
5.2	Ergebnisse im Blick auf die zweite Forschungsfrage	79
6	Abschlussresümee	82
7	Literaturverzeichnis	86
8	Abbildungsverzeichnis	90
9	Tabellenverzeichnis	91
Anhang.....		92
1)	Interviewleitfaden	92
2)	Fragebogen.....	93
3)	Transkribierte Interviews	95
4)	Datenmatrix der Fragebogenauswertung	134
	Abstract	137
	<i>Deutsche Fassung.....</i>	<i>137</i>
	<i>Englische Fassung.....</i>	<i>137</i>

1 Einleitung

Während meiner Recherchen für diese Arbeit, erblickte ich zufällig in einem meiner Bücher, das ich mir in meinem ersten Studienjahr als Lernhilfe zugelegt hatte, eine kleine Notiz. Es handelte sich um eine Aussage von meinem Professor aus der Einführungsvorlesung. Er wollte uns jungen Physikstudierenden klarmachen was naives Denken ist und präziserte es mit der Haltung: „Was in der Gehschule funktioniert, muss in der Beschleunigungsanlage so funktionieren.“ Ich musste beim Lesen schmunzeln und zugleich erinnerte es mich auch an Schülervorstellungen, denn viele Vorstellungen die Schülerinnen und Schüler¹ in den Physikunterricht mitbringen sind von dieser Art. Dies überrascht nicht, denn logischerweise greifen sie dabei auf alltägliche Erfahrungen zurück und auch als Student oder Studentin lernt man diesbezüglich im Laufe des Studiums noch dazu.

Die alltäglichen Denk- und Erklärungsmuster prägen Schülerinnen und Schüler, und so werden eben Vorstellungen, die sich bisher bewährt haben und einsichtig scheinen, auch für andere schwierigere physikalische Zusammenhänge herangezogen, bei denen sie aber physikalisch genauer betrachtet nicht passen. Im Bereich der Optik, Mechanik oder Elektrizitätslehre wurde hier in der Physikdidaktik schon einiges erforscht und auch zahlreiche Fehlvorstellungen aufgedeckt. Im Bereich der Akustik hingegen finden sich nur einzelne Publikationen und mit dieser Arbeit soll zur Erschließung dieses Feld ein Beitrag geleistet werden.

In einem ersten theoretischen Teil erfolgt dazu in Kapitel 2 eine Darstellung zur Physik des Schalls und in Kapitel 3 zur den Hintergründen der Schülervorstellungen. Ihre Entstehung, ihre Problematik und der Umgang mit ihnen werden dabei geklärt. Der zweite Teil ist ein empirischer, und so findet sich in Kapitel 4 die Beschreibung der durchgeführten Forschung zu den Schülervorstellungen im Bereich des Schalls. Aufgrund der Situierung des Themas in der Sekundarstufe I ist die empirische Untersuchung für diese Altersstufe ausgerichtet. Die erste beschriebene Methode der empirischen Phase bilden qualitative Interviews. Die auf diese Vorstudie aufbauende quantitative Untersuchung mittels Fragebögen wird im Anschluss dargelegt. Die Ergebnisse folgen jeweils im Anschluss an die Studien und in Kapitel 5 werden sie abschließend diskutiert.

¹ In dieser Arbeit sollen sprachlich sowohl Frauen als auch Männer sichtbar gemacht werden. Wenn dies in einzelnen Fällen zur besserer Lesbarkeit nicht gemacht wurde, sind freilich auch immer alle weiblichen Vertreterinnen mitgemeint.

2 Fachwissenschaftliche Grundlagen zum Schall

Zu Beginn gilt es zunächst zu klären, was unter Schall physikalisch zu verstehen ist. Aus dem Alltag sind Schüler und Schülerinnen viele Phänomene aus dem Gebiet des Schalls bekannt. Sie wissen, um dessen Bedeutung für unsere zwischenmenschliche Kommunikation, zugleich auch um seine Gefahren. Viele bringen Erfahrungen aus dem Bereich der Musik mit, weil sie ein Instrument spielen oder einfach nur gerne Musik hören. Insbesondere auch biologische Fakten, wie der begrenzte Hörbereich des Menschen oder, dass sich jener von Tieren davon unterscheidet, sind bekannt. Technikbegeisterten Kindern kommen vielleicht Flugzeuge in den Sinn, die aufgrund ihres hohen Tempos die Schallmauer durchbrechen können. Ob der für Menschen unhörbare Ultraschall bei der medizinischen Untersuchung dazu gehört, mag für manche fraglich erscheinen.

Einleitend steht daher nun eine theoretische Grundlegung, welche die Basis der vorliegenden Arbeit und der in Zusammenhang mit ihr erstellten fachdidaktischen Forschung darstellt. Zunächst werden die wichtigsten Begrifflichkeiten und physikalischen Fakten im Bereichs des Schalls geklärt, wobei unter Schall allgemein zunächst all das bezeichnet, was vom menschlichen Gehör registriert werden kann. Dies können nach der recht verbreiteten Einteilung Töne, Klänge, Geräusche oder Knalle sein (vgl. *Demtröder*, 2008, S. 405). Voraussetzung für die Übertragung und Registrierung von Schall ist allerdings zunächst, dass Schall erzeugt wird.

2.1 Schallerzeugung

Die Quelle für Schall kann, wie *Kadner* (1994) feststellt, grundsätzlich jeder schwingungsfähige Körper sein (vgl. S.9). Im Physikunterricht werden die Schüler und Schülerinnen beispielsweise dazu animiert, ein Lineal an einer Tischkante zum Schwingen zu bringen oder mit einem Gummiband oder einer gespannten Saite Schall zu erzeugen. Egal welches schwingungsfähige Material dabei angeregt wird, kommt es in dessen Umgebung zu Druckschwankungen. Der Luftdruck und die Luftdichte um das schwingende Medium ändern sich. Die Luftteilchen werden

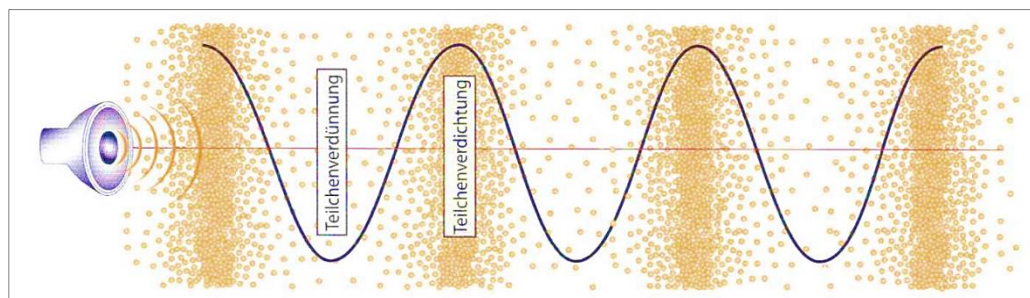


Abbildung 1: Schallausbreitung als Dichteschwankung (vgl. *Nocke*, 2014, S. 22)

durch die Schwingungen verdichtet und verdünnt und es kommt zu einer periodischen Luftdichteschwankung, wie es auf Abbildung 1 zu erkennen ist. Im Gebiet der Verdichtung wird die Teilchendichte des Mediums höher und im Gebiet der Verdünnung geringer. (vgl. *Nocke*, 2014, S. 14)

Die Schallausbreitung erfolgt also durch die Anregung von Moleküle, die die Stöße an die angrenzenden Moleküle longitudinal, das heißt in Ausbreitungsrichtung, weitergeben, bis sie beispielsweise am Trommelfelleines Menschen ankommen. Träger dieser Wellen können alle elastischen Medien wie Gase, Flüssigkeiten oder Festkörpern sein. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 40f.)

Die Übertragung und Ausbreitung von Schall im Medium Luft ist wahrscheinlich das naheliegendste Beispiel, aber eben auch durch alle elastischen Medien möglich, also auch durch Flüssigkeiten wie Wasser oder durch feste Körper wie beispielsweise Metall. Demensprechend spricht man dann von Luftschall, Wasserschall oder bei festen Stoffen von Körperschall (vgl. *Günther et al.* 2008 S. 114). In Festkörpern können neben Longitudinalwellen allerdings auch Biegungswellen² auftreten. (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 531)

2.2 Schallausbreitung

In Gasen und Flüssigkeiten erfolgt die Schallübertragung in Form einer longitudinalen Welle. Die Ausbreitung des Schalls erfolgt dabei grundsätzlich in alle Raumrichtungen, zeigt aber für unterschiedliche Schallquellen unterschiedliche Charakteristika. *Kadner* (1994) beispielsweise differenziert für die Akustik daher mit der Nennung von unterschiedlichen Beispielen:

„Saiten- und Blasinstrumente sind typische Beispiele für lineare Schallquellen. Die Lautsprechermembran strahlt Schallwellen flächenhaft ab. Ein Fahrzeug erzeugt näherungsweise kugelförmige Schallwellen.“ (*Kadner*, 1994, S. 9)

Demgemäß breitet sich Schall linear, flächenhaft oder räumlich aus. Betrachtet man eine Punktschallquelle – beispielsweise ein klingendes Handy in der Mitte eines Raumes – bewirkt diese Druckschwankungen, die sich radial in alle Raumrichtungen ausbreiten, sozusagen wie eine „atmende Kugel“ (*Nocke*, 2014, S. 15).

2.3 Schallgeschwindigkeit

Wie schnell sich der Schall ausbreitet ist von den Eigenschaften des Trägermediums abhängig. Schon *Isaac Newton* (1643-1727) versuchte in der ersten Ausgabe seines Hauptwerkes

² Besonders in der Seismik sind diese von Relevanz und es treten dort auch noch andere komplexere Wellenarten (Love- und Rayleigh-Wellen) auf. (vgl. *Bahr, Resag, & Riebe*, 2013, S. 267-268)

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica die Schallgeschwindigkeit zu bestimmen und kam mit $c = \sqrt{\frac{p}{\rho}}$ dabei auf $c = 280 \text{ m/s}$. Da er aber die Temperaturschwankungen im Medium, welche sich durch die Schnelligkeit der Schallwellenausbreitung ergeben, nicht berücksichtigte, kam er auf einen zu geringen Wert. (vgl. Meschede, 2010, S. 166)

Heute ist man diesbezüglich schon weiter. Eine grundsätzliche Betrachtung für die Schallausbreitung in Fluiden und Gasen ergibt³:

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \quad \begin{array}{l} K \dots \text{Kompressionsmodul} \\ \rho \dots \text{Dichte} \end{array} \quad (1)$$

aus. In festen Körpern muss statt der Kompression die Elastizität berücksichtigt werden und daher ergibt sich die (longitudinale) Schallgeschwindigkeit zu:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad \begin{array}{l} E \dots \text{Elastizitätsmodul} \\ \rho \dots \text{Dichte} \end{array} \quad (2)$$

Im Wesentlichen ist die Schallgeschwindigkeit also von der Dichte des Materials, sowie vom Elastizitätsmodul und Kompressionsmodul abhängig. (vgl. Bergmann & Schaefer, 2008, S. 530)

Der folgenden Tabelle 1 ist zu entnehmen, wie groß die Schallgeschwindigkeit für verschiedene Medien bei 20 °C ist. In Wassers beispielsweise ist sie etwa viermal so groß wie in Luft.

Stoff	c [m/s]	Stoff	c [m/s]	Stoff	c [m/s]
gasförmig		flüssig		fest	
Kohlendioxyd	266	Azeton	1190	Blei	1300
Sauerstoff	326	Benzol	1324	Kupfer	3900
Stickstoff	349	Wasser	1485	Aluminium	5100
Helium	1007			Eisen	5100
Wasserstoff	1309			Flinglas	4000

Tabelle 1: Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Stoffen (20 °C)
(vgl. Meschede, 2010, S. 180)

Für die konkrete Berechnung für die Schallgeschwindigkeit in Gasen gilt nach Tipler (2009):

$$c = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M}} \quad \begin{array}{l} c \dots \text{Schallgeschwindigkeit} \\ \gamma \dots \text{Adiabatexponent (für Luft } \gamma = 1,4) \\ R \dots \text{Gaskonstante (} R = 8,314 \text{ J/mol} \cdot \text{K)} \\ T \dots \text{absolute Temperatur in K} \\ M \dots \text{Molare Masse (} 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol)} \end{array} \quad (3)$$

³ Für die Herleitung dieser Formel, wird eine Flüssigkeit in einem Rohr betrachtet, die durch den Druckstoß eines Kolbens eine Kompression erfährt. (vgl. Tipler, 2009, S. 588+590)

Die Schallgeschwindigkeit ist also zunächst vom Gas selbst abhängig. Für ein gegebenes Gas aber und damit für fixe Werte für den Adiabatenexponent γ und die Gaskonstante R ist sie nur mehr von der absoluten Temperatur (gemessene Temperatur T [°C] + 273) abhängig. Die Dichte des Mediums hat keinen Einfluss auf sie. (vgl. *Tipler* 2009, S. 585)

Die Schallgeschwindigkeit wird bei trockener Luft und einer Temperatur von 20 °C üblicherweise mit $c_{Luft} = 343 \frac{m}{s}$, was etwa 1230 km/h entspricht, angegeben (vgl. *Nocke*, 2014, S. 18). Die Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit kann wie *Bergmann & Schaefer* (2008) sie anführen mit folgender Formel 4 näherungsweise berechnet werden:

$$c_{Luft} = (331,2 + 0,6 \vartheta) m/s \quad (4)$$

Demzufolge nimmt die Schallgeschwindigkeit in der Luft bei einer Temperaturänderung von 1 °C näherungsweise um 0,6 m/s zu und ist dementsprechend bei heißer Luft größer. (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 525)

2.4 Charakteristische Größen einer Schallwelle

Wie sich eine Schallwelle mathematisch gut beschreiben lässt, wird mit der Betrachtung einer Stimmgabel oder einer Saite eines Musikinstrumentes als Schallquelle gut ersichtlich. Wird ein solches Instrument mit einem Schlag angeregt, schwingt es. Die Schwingungen des Instruments sind periodisch und werden so als Schallwelle auch mit einer bestimmten Periodizität übertragen. In Abbildung 2 sind die abwechselnden Gebiete einer Schallwelle mit ihren Teilchenverdichtungen und Teilchenverdünnungen ersichtlich. Mit der Wellenlänge λ wird der Abstand von zwei benachbarten Verdichtungen bzw. zweier Verdünnungen angegeben. Neben der räumlichen Ausbreitungscharakterisierung durch die Wellenlänge λ , wird die zeitliche Komponente einer Schallwelle durch die Frequenz angegeben. Sie gibt die Anzahl der Luftdruckschwankung, sprich Schwingungen pro Sekunde an. Sie wird in Hertz [Hz] angegeben. 100 Hz

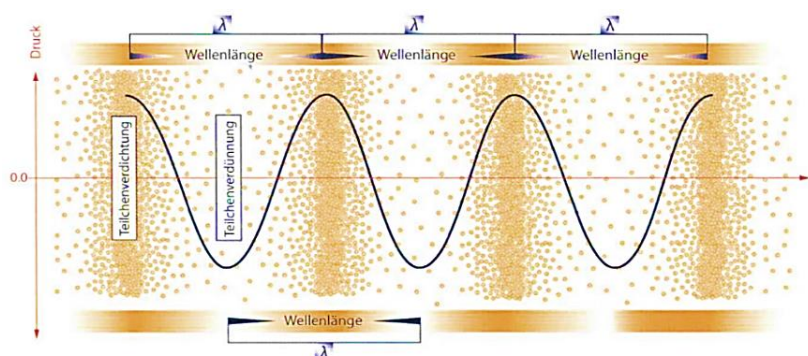


Abbildung 2: Periodische Verdichtung und Verdünnung bei Schall mit Angabe der Wellenlänge λ (vgl. *Nocke*, 2014, S. 22)

würde dementsprechend an einem fixen Ort 100 Luftdruckwechsel pro Sekunde bedeuten.

Rechnerisch ergibt sie sich aus der Dauer einer Periode, der Periodendauer mit $f = 1/T$ [1/s]. Die Einheit Hertz steht damit für 1/s.

Damit ergibt sich für die Ausbreitungsgeschwindigkeit folgender Zusammenhang:

$$c = \lambda \cdot f \quad \begin{array}{l} c \dots \text{Schallgeschwindigkeit} \\ \lambda \dots \text{Wellenlänge} \\ f \dots \text{Frequenz} \end{array} \quad (5)$$

In der Tabelle 2 sind die eben explizierten relevanten Größen zur Bestimmung einer Schallwelle nochmal übersichtlich dargestellt. (vgl. Nocke, 2014, S. 21f.)

Physikalische Größe	Formelzeichen	Physikalische Maßeinheit
Periode (Dauer)	$T = 1 / f$	s
Frequenz	$f = 1 / T$	Hz = 1/s
Wellenlänge	λ	m
Schallgeschwindigkeit	c	m/s

Tabelle 2: Übersicht zur Wellencharakterisierung

2.5 Schallarten

Bei der eben beschriebenen Schallart handelt es sich aber – wenngleich sie auch die Basis für das Verständnis des Themas Schall darstellt – um eine doch recht spezielle Ausformung. Wie eingangs schon angedeutet, kann das erlebte Schallereignis als Ton, Klang, Geräusch oder Knall vom Menschen erfahren werden und wird beispielsweise auch von Demtröder (2008) so klassifiziert (vgl. S. 405).

2.5.1 Ton

Bei der beschriebenen periodischen Druckschwankung⁴ in Abbildung 2 handelt es sich um eine harmonische Welle einer bestimmten Wellenlänge, die sich mit einer Sinusfunktion beschreiben lässt. Für sie gilt laut Tipler (2009, S. 591):

$$y(x, t) = A \cdot \sin(k \cdot x - \omega \cdot t) \quad \begin{array}{l} k \dots \text{Wellenzahl } (k = \frac{2 \cdot \pi}{\lambda}) \\ x \dots \text{Ortskomponente} \\ \omega \dots \text{Kreisfrequenz } (\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}) \\ t \dots \text{Zeit} \end{array} \quad (6)$$

⁴ Tipler sowie Halliday gehen bei ihrer Darstellung von Schallwellen zunächst von der Auslenkung der Moleküle des Trägermediums um ihre Ruhe-/Gleichgewichtslage aus. Wie erwähnt, erfolgt diese, da es sich um eine Longitudinalwelle handelt, in eine Richtung, der Ausbreitungsgeschwindigkeit. Die damit einhergehende Druckänderung ist dieser Auslenkung um 90° ($\pi/2$ rad) phasenverschoben. Über die Beziehung: $p_{\max} = \rho_0 \cdot \omega \cdot v \cdot s_{\max}$ ist die maximale Druckamplitude mit der (maximalen) Auslenkamplitude $s_{\max}$ verknüpft. Wobei ρ_0 die Gleichgewichtsdichte des Gases, ω die Kreisfrequenz und v die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle ist. (vgl. Tipler, 2009, S. 594f. und Halliday, Resnick, & Walker, 2013, S. 392)

Die Wellenzahl k spezifiziert dabei die räumliche Veränderung des Tones und die Kreisfrequenz ω die zeitliche Veränderung. Das Argument ($k \cdot x - \omega \cdot t$) der sinusförmigen

Wellenfunktion wird auch als Phase bezeichnet. (vgl. *Tipler*, 2009, S. 591)

Es handelt sich dabei um die „einfachste“ Erscheinungsform von Schall und de facto kommt so ein Ton in der Natur in dieser Form sehr selten vor, auch wenn eine solche Sinusschwingung technisch einfach realisierbar ist. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 33)

2.5.2 Klang

Beim Spielen von Musikinstrumenten wird jedoch einiges klarer. Wird mit unterschiedlichen Instrumenten der gleiche Ton gespielt, zeigt sich bei genauer Betrachtung und Analyse einer Aufnahme, dass diese zwar eine periodische Schallwelle erzeugen, es sich aber nicht um ein harmonisches Sinussignal handelt. Dabei wird die sogenannte Grundschwingung von mehreren Schwingungen mit höherer Frequenz überlagert. Die Frequenz dieser Oberschwingungen sind ganzzahlige Vielfache der Grundschwingung. Abhängig von der Anzahl und Qualität dieser Oberschwingungen haben Instrumente einen individuellen Klang bzw. eine unterschiedliche Klangfarbe. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 34)

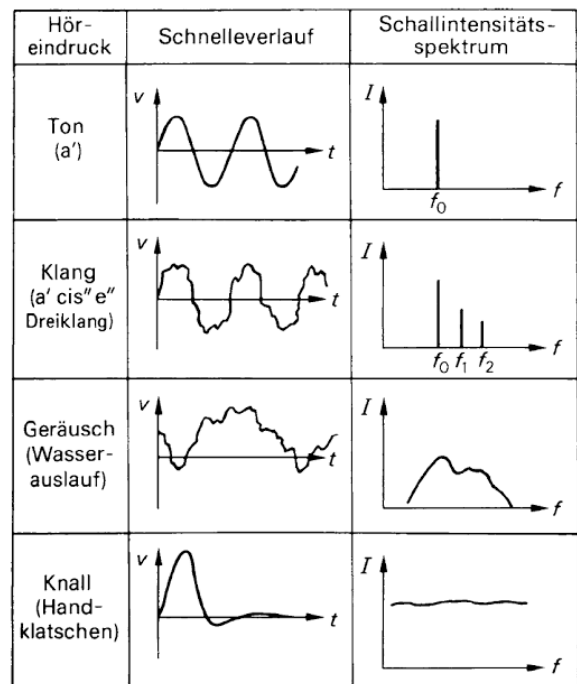


Abbildung 3: Funktionsgraph von Schallwellen inklusive entsprechendem Frequenzspektrum (vgl. *Hering, Martin, & Stohrer*, 2016, S. 572)

Die unharmonische Schwingung eines Klanges kann mit Hilfe einer Fourieranalyse zerlegt werden. Sie ist nach ihrem Erfinder *Jean Baptiste Fourier* (1768-1830), einem französischen Mathematiker und Physiker, benannt. Wie er zeigte, kann jede periodische Funktion als Summe von sinusförmigen Funktionen zerlegt werden, wobei die Frequenzen der Oberschwingungen eben Vielfache der Grundfrequenz sind. Für die Funktion gilt dann:

$$f(t) = \sum_{n=0}^N A_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t) \quad \begin{array}{l} A_n \dots \text{Amplitude} \\ \omega_n \dots \text{Kreisfrequenz } (\omega_n = n \cdot \omega_0; \omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_0) \\ t \dots \text{Zeit} \end{array} \quad (7)$$

A_0 bzw. ω_0 sind die Amplitude bzw. Kreisfrequenz der Grundschwingung mit der Frequenz f_0 . Alle weiteren Frequenzen der (Ober-)Schwingungen besitzen dann ganze Vielfache der

Grundfrequenz $\omega_n = n \cdot \omega_0$. In der Akustik wird gerne das ganze Frequenzspektrum [Abb. 3] dargestellt, das zum Beispiel über die Klangfarbe eines Instruments Auskunft gibt. Die Ausschläge der einzelnen Frequenzbereiche zeigen die Größe der Amplitude der jeweiligen Schwingung an. In Abbildung 3 ist es für einen Dreiklang angegeben und so zeigen sich neben der Grundfrequenz f_0 noch zwei weitere Oberschwingungen mit den Frequenzen f_1 bzw. f_2 . (vgl. Demtröder, 2008, S. 357-359)

2.5.3 Geräusch und Knall

Bei einem unperiodischen Schallereignis ohne jeglichen Gesetzmäßigkeiten bzgl. der Frequenzen, sprich wo auch keine Fourieranalyse möglich ist, handelt es sich um ein Geräusch. Geräusche begegnen uns Menschen tagtäglich und häufig. Sie können dabei Schallanteile unterschiedlichster Art enthalten, wie es auch auf Abbildung 3 ersichtlich wird. Im vierten Fall [Abb. 3], bei einer starken und plötzlichen Druckschwankung, spricht man von einem Knall, beispielsweise beim Zerplatzen eines Luftballons oder Zerschlagen von Geschirr, oder bei einem interessanten Beispiel in Kapitel 2.12.7 [Überschallknall]. (vgl. Kadner, 1994, S. 38f.)

2.6 Frequenzbereiche

Ob wir Menschen aber irgendetwas wahrnehmen, hängt von der Frequenz und der Amplitude eines Schallereignisses ab. Zunächst zur Frequenz. Frequenzen zwischen 20 Hz und 20.000 Hz (was einer Wellenlänge λ von 17 m bzw. $17 \cdot 10^{-3}$ m entspricht) sind für den Menschen hörbar, wenngleich die obere Hörgrenze mit zunehmendem Lebensalter bis 15.000 Hz abnimmt (vgl.

Bezeichnung	Frequenzbereich
Infraschall	0 Hz - 16 Hz
Hörschall	16 Hz - 20 kHz
Ultraschall	20 kHz - 1 GHz
Hyperschall	über 10 GHz

Tabelle 3: Schallbereiche
(vgl. Bergmann & Schaefer, 2008,
S. 519f.)

Tipler, 2009, S. 595+620). Dieser Frequenzbereich wird allgemein als Hörschall bezeichnet, wie es auf der Tabelle 3 nach einer Einteilung nach Bergmann & Schaefer ersichtlich ist. (S. 520) Der Hörschall nimmt in der Einteilung des Schalls nach der Frequenz also einen zentralen Platz ein. Der darunterliegende Schall von 0 Hz – 16 Hz nennt sich Infraschall. Seine Frequenzen sind für das menschliche Gehör nicht mehr wahrnehmbar – für einige Tiere allerdings schon. Viele Vögel können so das Brausen der Brandung oder den Wind wahrnehmen. Einige wenige wie der Auerhahn oder der Elefant⁵ können ihn sogar erzeugen und so miteinander kommunizieren. (vgl. Sorge, 2002, S. 17). Infraschall ist manchen Tieren also sowohl Orientierungshilfe als auch

⁵ Erst jüngst ist es dem Wiener Kognitionsbiologen Herbst mit seiner Forschungsgruppe gelungen, nachzuweisen wie genau Elefanten Infraschall erzeugen. (Vgl. Herbst et al., 2012).

Mittel zur Kommunikation. Bei Erdbeben werden ebenfalls Wellen mit recht großen Wellenlängen ausgesandt und sind dem Bereich des Infraschalles zuzuordnen. Auch sie können von manchen Tieren wahrgenommen werden. (vgl. *Bergmann & Schaefer* 2008, S. 520)

Frequenzen von 20 kHz - 1 GHz werden dem Ultraschall zugeordnet. Da er über dem vom Menschen wahrnehmbaren Bereich liegt, wurde er relativ spät erforscht und nutzbar gemacht. Besonders durch das Schiffsunglück der Titanic im Jahre 1912 suchte man nach einer Technik, um solche Katastrophen zu vermeiden (vgl. *Sohn & Holzgreve*, 2003, S. 22f.). So wurde in dieser Zeit um 1913 vom deutschen Physiker *Alexander Behm* das Echolot erfunden. Damit konnten zwar keine Eisberge dedektiert werden, aber man machte sich den Ultraschall zu Nutzen, um damit Wassertiefen zu bestimmen. Es wird dabei auch die Zeit zwischen dem Aussenden eines Signales und dessen Rückkunft nach der Reflexion am Meeresgrund bestimmt und bei bekannter Schallgeschwindigkeit kann dann die Wassertiefe berechnet werden. Neben dieser vertikalen Methode entwickelte sich dann das sogenannte Sonar (= Abkürzung aus der englischen Bezeichnung ***Sound Navigation and Ranging***), mit dem auch horizontale Ortungen möglich sind. Es wird beispielsweise zur Ortung von U-Booten oder Fischschwärmen eingesetzt. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 51f.)

Einen besonderen Stellenwert hat der Ultraschall in der Medizin eingenommen, da mittels Sonografie eine nichtinvasive und schmerzlose Methode gefunden wurde, mit der Gewebe unter der Haut analysiert werden kann [siehe Kapitel 2.13.1]. Auch beim Zerstören von Gallen- oder Nierensteinen kommen Ultraschallwellen in Form von Stoßwellen zum Einsatz. (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 589f.)

Analog dazu werden, wie *Kadner* (1994) beschreibt, Werkstoffe bzw. Werkstücke durchschallt, um sie auf Fehler im Material zu untersuchen. Eine weitere Anwendung im Bereich der Technik ist das Bohren mit Ultraschall, wobei hier das Bohrwerkzeug nicht rotiert, sondern auf und ab bewegt, oder die Reinigung von Oberflächen im Ultraschallbad auf Basis von Kavitation⁶. (vgl. *Kadner* 1994, S. 22ff.) Andere bedeutende Beobachtungen aus dem Bereich der Tierwelt werden in Kapitel 2.13.2 zur Echolotung, wie sie bei Delfinen und Fledermäuse vorkommt, expliziert.

Bei Frequenzen über 10 GHz spricht man von Hyperschall. Die Schallwellen haben hier bereits Wellenlängen in der Größenordnung von Licht und es treten vermehrt Streuungs- und Absorptionseffekte auf. Im Bereich von 10 THz ist allerdings die Grenze von möglichen

⁶ Kavitation bedeutet „Hohlraumbildung“ und wird in diesem Fall von Ultraschallwellen verursacht. Durch Druckwellen fällt der statische Druck unter den des Verdampfungsdrucks und es bilden sich Dampfblasen, die gleich wieder zusammenfallen, aber Schockwellen bewirken, die den Schmutz abtragen und die Oberflächen reinigen.

Schwingungen erreicht, da die Wellenlänge nicht kleiner als der doppelte Atomabstand werden kann. (vgl. *Meschede*, 2010, S. 196)

2.7 Tonhöhe

Zu klären gilt in diesem Zusammenhang noch welchen Wahrnehmungseindruck nun Töne unterschiedlicher Frequenz beim Menschen hinterlassen. Grundsätzlich gilt, je höher die Frequenz ist, desto höher ist der wahrgenommene Ton (vgl. *Mückenfuß*, 2009, S. 223). Allerdings ist das die physikalische Erklärung. Der hinterlassene Wahrnehmungseindruck ist eine physiologische Kategorie und dies gilt es dabei zu bedenken. In welchem Bereich sich die Töne unterschiedlicher Frequenz befinden, dazu hat *Speiser* (2000) ein paar gute Beispiele zusammengetragen:

„Der tiefste Ton auf dem Klavier hat 27 Hertz, der höchste 4 200 Hertz. Die männliche Sprechstimme bewegt sich um 110 Hertz, die weibliche um 250 Hertz herum. Die tiefste Bassstimme singt bis zum großen C hinab, das sind 65 Hertz, das begehrte hohe f des Koloratur-Suprans liegt bei 1 400 Hertz.“ (*Speiser* 2000, S. 33)

Ein Klavier kommt also relativ nahe an die untere Grenze des menschlichen Hörbereichs von 16 Hertz. Die obere Grenze von 20 000 Hertz liegt doch einiges darüber. Allerdings handelt es sich dabei um die Frequenz des Grundtons und es kann durchaus sein, dass die Obertöne des Instrumentes weit darüber reichen. (vgl. *Speiser*, 2000, S. 33) Dazu ist noch ergänzend zu erwähnen: Ein besonders angenehmes Hörerlebnis – wie es schon *Pythagoras* im 6 Jh. v. C. herausfand – empfindet der Mensch, wenn zwei Töne, die halbe oder doppelte Frequenz des anderen besitzt. *Pythagoras* fanden dies durch Zupfen an Saiten des Monochords⁷ heraus. Bildeten die Längen der Saiten ganzzahlige Vielfache, so stellt sich ein wohlklingender – konsonanter – Klang ein. Ein solches akustisches Intervall wurde dann in sieben⁸ Teile unterteilt und der Tonunterschied durch die doppelte Frequenz als Oktave bezeichnet [Tab. 4]. Auch die sogenannte Quint, bei der die Frequenzen im Verhältnis von 3:2 stehen, oder die Terz (5:4) wird als konsonant empfunden. (vgl. *Mathelitsch & Verovnik*, 2004, S. 46+127)

⁷ Das Monochord wird bis heute im Unterricht herangezogen und das nicht nur aus historischen Gründen. Wie der Name andeutet, handelt es sich dabei um ein Instrument mit einer einzelnen (gr. *mono*) Saite (gr. *chord*). Sie wird über einem verstärkenden (Resonanz-)Kasten und durch einen verschiebbaren Steg zum Schwingen gebracht, um die beschriebenen Gesetzmäßigkeiten experimentell zu überprüfen. (vgl. *Pospiech & Siemsen*, 2005, S. 17f.) Auch der Zusammenhang der Frequenz mit der Spannung der Saite, welche durch eine am Saitenende befestigte Masse variierbar ist, kann damit experimentell erforscht werden. (vgl. *Mathelitsch & Verovnik*, 2004, S. 128f.)

⁸ Heute wird eine Oktave in 12 Schritte eingeteilt. Auf dem Klavier sind dies die sieben weißen und fünf schwarzen (Halbtöne) Tasten, was einer jeweiligen Erhöhung der Frequenz mit dem Faktor $1,05946 (= \sqrt[12]{2})$ entspricht. (vgl. *Mathelitsch & Verovnik*, 2004, S. 41) Sie sind damit gleichstufig bzw. gleichschwebend temperiert. Da die Frequenzverhältnisse aber so nicht mehr ganz stimmen, klingt beispielsweise eine Terz nicht mehr ganz so rein. (vgl. *Speiser*, 2000, S. 34)

Ton	c	d	e	f	g	a	h	c'
Frequenzverhältnis Ton zu c	1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2

Tabelle 4: Frequenzverhältnisse der C-Dur-Tonleiter (vgl. Pospiech & Siemsen, 2005, S. 17)

Zu den angegebenen Frequenzverhältnissen muss noch ein Referenzpunkt angegeben werden, sonst wäre es nicht möglich, gemeinsam wohlklingende Musik zu machen: der sogenannte Normalton a^1 . Mathelitsch & Verovnik halten zu seiner Geschichte fest:

„Die Zuordnung zu einer bestimmten Frequenz änderte sich einige Male: Zur Zeit von Beethoven war der Kammerton bei etwas mehr als 420 Hz, 1859 hat eine französische Kommission (mit Berlioz, Meyerbeer) eine Frequenz von 435 Hz beschlossen und seit 1939 gilt aufgrund einer Konferenz in London 440 Hz als Standard.“ (Mathelitsch & Verovnik, 2004, S. 42))

Daran halten sich allerdings nicht alle, speziell manche Orchester. Manche Streicher werden daher etwas höher gestimmt. (vgl. Speiser, 2000, S. 35)

2.8 Schallintensität

Eine weitere relevante Größe neben der Frequenz, die zur Charakterisierung von Schallwellen von Bedeutung ist, ist jene der Amplitude. Denn ob wir Menschen irgendetwas wahrnehmen, hängt neben der Frequenz auch von der Amplitude einer Schallwelle ab. Dabei gilt, je größer die Amplitude, desto stärker wird ein Schallereignis auch wahrgenommen. (vgl. Mückenfuß, 2009, S. 223) Dazu jedoch noch die folgende genauere Erläuterung:

Betrachtet man mit Tipler (2009) eine Punktschallquelle in einem Medium, so schickt diese Schallwellen in alle Richtungen aus. Die von der Quelle übertragene Schallenergie verteilt sich dabei immer wieder auf Kugeloberflächen A in den Raum hinaus. Über die dabei abgestrahlte Leistung P lässt sich die mittlere Leistungsdichte (senkrecht zur Ausbreitungsrichtung), bzw. die Intensität I der Welle folgendermaßen angeben:

$$I = \frac{\langle P \rangle}{A} \quad \begin{array}{l} I \dots \text{Intensität} \\ \langle P \rangle \dots \text{mittlere Leistungsdichte} \\ A \dots \text{Kugeloberfläche } (A = 4 \cdot \pi \cdot r^2) \end{array} \quad (8)$$

Sie ist demgemäß proportional zu $1/r^2$ und reduziert sich daher beispielsweise bei doppeltem Abstand schon auf ein Viertel der Anfangsgröße. Angegeben wird die Intensität in Watt pro Quadratmeter $[W/m^2]$. (vgl. Tipler, 2009, S. 597)

Außerdem lässt sich über die Energiedichte von Schallwellen ein allgemeiner Zusammenhang für harmonische Welle erstellen und somit ergibt sich:

$$I = \frac{1}{2} \frac{P_{\max}^2}{\rho_0 \cdot v} \quad \begin{array}{l} I \dots \text{Intensität} \\ P_{\max} \dots \text{Maximale Druckamplitude} \\ \rho_0 \dots \text{mittlere Dichte des Mediums} \\ v \dots \text{Wellengeschwindigkeit} \end{array} \quad (9)$$

Damit kann ein sehr wichtiger Referenzpunkt innerhalb der Akustik festgelegt werden. Es ist dies jener Punkt, der vom Menschen gerade wahrgenommen wird. Man spricht von der sogenannten Reiz- oder Hörschwelle. (vgl. *Tipler*, 2009, S. 598)

Die Hörschwelle liegt laut *Kadner* (1994) bei $I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$, was einem Druck von $p = 20 \mu\text{Pa}$ entspricht⁹. Die obere Grenze – die Schmerzschwelle liegt bei $I = 1 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ bzw. bei $p = 60 \text{ Pa}$. Wie *Pospiech & Siemsen* (2005) richtig feststellen, liegt dazwischen also „der erstaunliche Faktor 10^{13} “ (S. 19). Aus diesem Grund wird die Schallintensität auch noch anders dargestellt. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 63)

2.9 Schallpegel und Lautstärke

Der große Bereich ist dabei der eine Grund, der andere ist, dass laut dem Weber-Fechner'schen Gesetz die vom Menschen subjektiv wahrgenommene Reizintensität nicht linear, sondern logarithmisch mit der physikalischen definierten Schallintensität zusammenhängt. Für den Schall(intensitäts)pegel, bzw. die Lautstärke L lässt sich damit folgender Zusammenhang klarstellen:

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \begin{array}{l} L \dots \text{Lautstärke} \\ I \dots \text{Schallintensität} \\ I_0 \dots \text{Schallintensität bei unterer Reizschwelle} \left(I_0 = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) \end{array} \quad (10)$$

Die Einheit der Lautstärke L wird mit Dezibel [dB] angegeben. Ein Ton, dessen Reiz also gerade wahrgenommen werden kann, hat demnach eine Lautstärke von 0 Dezibel und bei der Schmerzgrenze 130 Dezibel (da $\frac{I}{I_0} = 10^{13}$ und $\log 10^{13} = 13$). So ist es auch auf der von *Kadner* (1994) zusammengetragenen Tabelle 5 zu sehen, die zudem noch andere Beispiele aus dem Alltag beinhaltet. Mit der Formel 10 wird zudem ersichtlich, dass die doppelte Schallintensität vom Menschen nicht als doppelt so laute Lautstärke wahrgenommen wird, da (mit I_0 als

⁹ Wäre das menschliche Ohr noch empfindlicher, wären die Schwingungen der Luftmoleküle (Brownsche Bewegung) als ständiges störendes Rauschen hörbar, was doch sehr unangenehm wäre. (vgl. *Meschede*, 2010, S. 193f.)

Referenz) $L = 10 \log \left(\frac{2 \cdot 1}{I_0} \right) = 10 \log 2 \approx 3 \text{ dB}$.¹⁰ Für die Erhöhung um die doppelte Lautstärke braucht es zehn Schallquellen der gleichen Art. Ein interessantes physiologisches Faktum ist zudem noch, dass vom Menschen erst bei einer Intensitätsänderung von ca. 20-25% ein Lautstärkeunterschied registriert wird. (vgl. Meschede, 2010, S. 193)

Schallquellen	Schalldruck in μPa	Schallpegel dB (A)	Schallintensität in W/m^2
Reizschwelle	20	0	$10^{-12} = 1 I_0$
Flüstern	200	20	$10^{-10} = 10^2 I_0$
Zimmerlautstärke	20 000	60	$10^{-6} = 10^6 I_0$
Verkehrslärm (stark)	200 000	80	$10^{-4} = 10^8 I_0$
Presslufthammer	600 000	90	$10^{-3} = 10^9 I_0$
Schmerzschwelle	60 000 000	130	$10^{-1} = 10^{13} I_0$

Tabelle 5: Einige Beispiele für Schalldrücke, Schallpegel und Schallintensitäten (vgl. Kadner, 1994, S. 63)

Neben der Möglichkeit den Lautstärkepegel mit der Schallintensität zu berechnen, kann sie auch mit der in Formel 9 dargelegter Proportionalität der Schallintensität zum Quadrat der Druckamplitude ($I \sim P_{\max}^2$) folgendermaßen formulieren werden:

$$L = 20 \log \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad \begin{array}{l} L \dots \text{Lautstärke} \\ P \dots \text{Schalldruck} \\ P_0 \dots \text{Schalldruck bei unterer Reizschwelle} (P_0 = 20 \mu\text{Pa}) \end{array} \quad (11)$$

Der physiologische Eindruck, den eine Schallquelle hinterlässt, ist aber nicht nur von der Intensität derselben abhängig, sondern sie hängt auch von der Frequenz der Schallwelle ab. So kann es sein, dass von zwei Tönen mit der gleichen Intensität aber unterschiedlicher Frequenz einer nicht mehr wahrgenommen wird. Wie auf Abbildung 4 ersichtlich, ist dies besonders bei den niedrigen Frequenzen der Fall. Diagramme dieser Art wurden durch Experimente ermittelt. Es zeigt, wie Nocke (2014) klarstellt, sogenannte Isophone, also

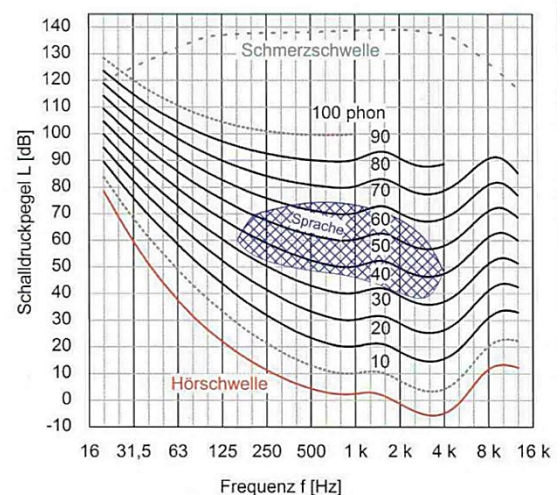


Abbildung 4: Lautstärkepegel und Bereich der Sprache (vgl. Nocke, 2014, S. 30)

¹⁰ Nocke (2014) gibt für die Addition von Schalldruckpegel die Formel $L_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n 10^{L_i/10} \text{ dB}$ an. Für n gleiche Schallquellen ergibt sich die Vereinfachung von $L_{\text{ges}} \approx L_i + 10 \log n \text{ dB}$. So ergibt sich allgemein für das Summieren von zwei beliebigen gleich großen Schallquellen eine Schallpegelerhöhung von $10 \log 2 \approx 3 \text{ dB}$. (vgl. Nocke, 2014, S. 20)

Kurven gleicher Lautstärkepegel in Abhängigkeit ihrer Frequenz (vgl. Nocke, 2014, S. 29). Referenzpunkt in diesem Fall ist eine Frequenz von $f = 1$ kHz und nur in diesem Fall sind die hier eruierten Lautstärkepegel (angegeben in *Phon*, griech. für Schall) mit den Schalldruckpegel (in dB) ident. Für die gleiche Lautstärkeempfindung von 40 Phon bräuchte es beispielsweise bei 1 kHz einen Ton mit 40 dB und bei 63 Hz schon 80 dB. Zudem ist im Diagramm [Abb. 4] auch die Hörschwelle und die für das menschliche Ohr gefährliche Schmerzschwelle zu sehen. Im schrafierten Bereich der Sprache (170 Hz – 3 000 Hz) ist das Gehör besonders empfindlich. (vgl. Nocke, 2014, S. 29f.)

2.10 Lautheit und Lautstärkenbewertung

Zusammenfassend ist bzgl. der Lautstärke nun klargeworden: „*Dezibel* ist eine physikalische Einheit, *Phon* hingegen eine *subjektive, physiologische*.“ (Trautwein, Kreibig, & Hüttermann, 2014, S. 98). Weil die wahrgenomme Lautstärke aber vom Phonwert nicht richtig wiedergegeben wird, wurde noch die Lautheit (Einheit: Sone) eingeführt. Denn ein doppelt so hoher Phonwert wird als viel größere Lautstärkensteigerung wahrgenommen. Die Verdoppelung des Sonewerts jedoch bringt die gewünschte physiologische Verdoppelung, wobei der Lautstärkepegel von 40 Phon bei einem 1000 Hz-Ton mit 1 Sone als Bezugspunkt definiert wird. (vgl. Mathelitsch & Verovnik, 2004, S. 45).

Aufgrund der Tatsache, dass unser Gehör im besagten Frequenzbereich besonders empfindlich ist, werden Geräusche, die ja eine ganze Bandbreite von Frequenzen behinhalten können, auch gewichtet. Der empfindliche Bereich wird als wichtig eingestuft und die niedrigeren bzw. höheren Frequenzen daher unterdrückt. Diese Lautstärkebewertung wird als bewerteter Schalldruckpegel bezeichnet. Der bedeutenste und eben geschilderte ist der sogenannte A-bewertete Schallpegel und wird in dB (A) angegeben. Damit können Lautstärkepegel also dem menschlichen Hörvermögen entsprechender angegeben werden, zum Beispiel auch beim Lärmschutz. (vgl. Nocke, 2014, S. 30f.)

2.11 Lärm und Lärmschutz

Unter Lärm versteht man nach Kadner (1994) störend oder unangenehm empfundenen Schall (S. 72). Das kann also vom lauten Flugzeug über uns am Himmel, dem lauten Motorrad auf der Straße, dem Quietschen einer nicht geölten Türe bis zum nervenden Tropfen des Wasserhahns bei leiser Umgebung oder dem Knistern einer Chipspackung beim Filmschauen gehen. Es ist also nicht nur der Lautstärkepegel, der den Lärm auszeichnet. Daher hält Kadner (2014) fest:

„Auch die Einwirkdauer, die Frequenzzusammensetzung, die Tageszeit und die subjektive Einstellung der Person können maßgeblichen Einfluß auf unsere Schallempfindungen haben.“ (Kadner, 1994, S. 72)

Es ist mittlerweile erwiesen, dass Lärm Auswirkungen auf unsere Psyche und unseren Organismus haben kann. Meist wird hier – wie auch Nocke (2014) es macht – zwischen auraler und extra-auraler Wirkung von Schall unterschieden. Extra-aural – außerhalb des Ohres – können schon Schallpegel ab 30 dB negative Auswirkungen auf unsere Psyche und unser vegetatives Nervensystem haben. Kircher u.a. (2015) vertiefen:

„Während Lärm zwischen 30 und 65 dB(A) „lediglich“ psychische Reaktionen hervorruft, ist bereits bei 65 bis 90 dB (A) mit psychischen Reaktionen, Kreislaufbeschwerden, Kommunikationsstörungen, Schlafstörungen, Herzklopfen und einem Ansprechen des vegetativen Nervensystems zu rechnen.“ (vgl. Kircher, Girwidz, & Häußler, 2015, S. 361)

Aurale Beeinträchtigungen haben konkrete physische Folgen. Zu hohe Schallpegel, d.h. ab 80 dB können Tinnitus, Schwerhörigkeit oder Taubheit bewirken (vgl. Nocke, 2014, S. 38).

Eine lärmbedingte Schwerhörigkeit zeigt sich medizinisch durch die sogenannte C⁵-Senke. Im Bereich von 3000- 7000 Herz wird ein merklicher Hörverlust von bis zu 50 dB festgestellt, der sich längerfristig auf den ganzen Hörbereich ausbreiten kann. Ist man längerfristig einer Belastung von 120 dB ausgesetzt, führt dies zu irreperablen Schädigungen des Ohres. Die Lautstärkepegel bei manchen Konzerten sind aber in diesem Bereich zu finden und daher ist der Lärmschutz ein wichtiges Thema für Schüler und Schülerinnen¹¹. (vgl. Nocke, 2014, S. 38)

Die verbreitesten technischen Maßnahmen zum Lärmschutz sind nach Kadner (1994) die Schalldämpfung und die Schalldämmung. Erstere ergibt sich durch das Verwenden von porösen und rauen Stoffen. Die Schallwellen werden von solchen Stoffen recht gut absorbiert, wie man es im Winter bei Neuschnee in der sonst recht lauten Stadt merken kann. Auch Teppiche, Kork oder Vorhänge zählen zu dieser Kategorie. Die Schalldämmung hingegen arbeitet mit besonders harten Stoffen, die die Schallwellen reflektieren. Dazu gehören Beton oder Glas, wie bei Schallschutzfenstern. Ein technisches Beispiel, das diese beiden Lärmschutzmöglichkeiten vereinigt, ist der Schalldämpfer [Abb. 5],

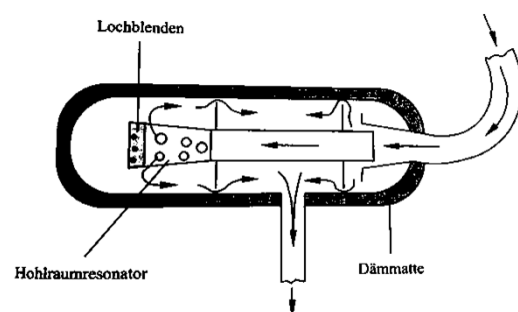


Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Schalldämpfers (vgl. Kadner, 1994, S. 75)

¹¹ Eine kleine Sammlung von physikalisch-didaktischer Vertiefungen zu verschiedenen Themen der Akustik für den Physikunterricht ist schon vor längerer Zeit in Wien entstanden. Der Autor geht dabei auch auf gesundheitliche Schäden des Lärms und verschiedene Lärmschutzmaßnahmen ein. (vgl. Neuwirth, 2002)

wie er im Kfz-Bereich zur Anwendung kommt. Auf der Dämmmatte geben die Schallwellen Energie ab und werden in Wärme umgewandelt. Die Hohlraumresonatoren und Lochblenden unterstützen den Effekt indem sie den Schall umleiten. (vgl. Kadner, 1994, S. 74f.)

2.12 Eigenschaften des Schalls

Bei der Ausbreitung des Schalls sind bisher schon einige Eigenschaften erwähnt worden, die auf seinen Wellencharakter zurückzuführen sind. Beispielsweise bei der Erklärung des Sonars im Kapitel 2.6 wurde auf die Reflexion von Ultraschallwellen verwiesen. Da es sich beim Schall physikalisch um eine Welle handelt, treten neben der erwähnten Reflexion auch Brechung, Beugung und Interferenz auf. Diese sollen daher nun expliziert werden.

2.12.1 Reflexion, Hall und Echo

Ob eine Schallwelle reflektiert wird, hängt in erster Linie vom Material ab, auf das sie trifft. Aus dem Alltag kennt man die Erfahrung, dass Schall beispielsweise an einer Felswand oder einer Hauswand zurückgeworfen wird und ein Echo (griechisch für Nachhall) zu vernehmen ist. Das Echo ist die Wiederkehr des reflektierten Ausgangssignals. Es folgt dabei dem Reflexionsgesetz, das besagt, dass der Einfallswinkel gleich dem Ausfallwinkel entspricht [Abb. 6] (vgl. Wagner, Reischl, &

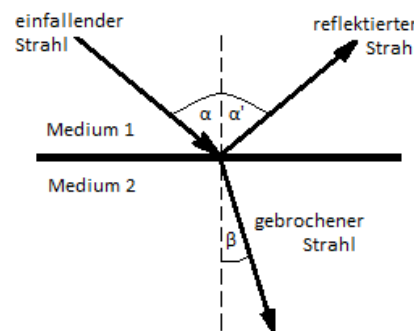


Abbildung 6: Illustrierung des Reflexionsgesetzes und der Brechung

Steiner, 2010, S. 392). Die zeitliche Differenz zwischen dem Ausgangssignal und dem rückkehrenden Signal muss größer als 0,1 Sekunden¹² betragen um es eindeutig von einander zu unterscheiden. Ansonsten spricht man von Nachhall. (vgl. Kadner, 1994, S. 52)

Für die Akustik von Räumen ist dies natürlich von großer Relevanz, wenn Schall gezielt weiter geleitet werden soll. Zum Beispiel wenn Chöre oder Orchester in einer reflektierenden „Konzertmuschel“ aufspielen (vgl. Tipler, 2009, S. 605), oder der Souffleur in einer Art konkavem Spiegel Richtung Bühne sitzt. (vgl. Kadner, 1994, S. 53)

Nocke (2014) gibt neben der erläuterten (geometrischen) Reflexion auch noch die diffuse Reflexion (=Diffusion) an, die auftritt wenn die Wellenlänge ungefähr der Strukturgröße des Materials entspricht. Sie wird in manchen Räumen gewünscht um den Schall gut im Raum zu

¹² Bergmann & Schaefer (2008) führen als Referenz und Beispiel das Aussprechen einer Silbe an, für die man 1/5 Sekunde braucht. Demnach müsste man etwa in 34 m ($2d = \frac{1}{5} \cdot 340 \text{ m}$) Entfernung ein Echo hören und bei geringerem Abstand einen Nachhall. (vgl. Bergmann & Schaefer, 2008, S. 531)

verteilen und damit eine optimale Klanggestaltung zu gewinnen – beispielsweise in einem Klassenraum (vgl. *Nocke*, 2014, S. 52-55). Zu bedenken ist dabei allerdings die Wellenlänge von Schallwellen. Wie *Bergmann & Schaefer* (2008) richtig feststellen, haben sie ja im Vergleich zu Lichtwellen doch eine größere Wellenlänge. Das ist der Grund warum auch vom Waldrand ein Echo zu vernehmen ist. (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 532)

Schall wird im Normalfall nicht zur Gänze, sondern nur zu einem gewissen Grad reflektiert. Dieser ist abhängig vom Material, auf das die Schallwelle trifft. *Demtröder* (2008) definiert dafür den sogenannten Schallwiderstand Z , der sich aus der Dichte ρ des Materials und der Schallgeschwindigkeit c ergibt. Demnach ist $Z = \rho \cdot c$. Damit lässt sich der Reflexionsgrad R folgendermaßen berechnen:

$$R = \frac{I_R}{I_e} = \left(\frac{Z_1 - Z_2}{Z_1 + Z_2} \right)^2 \quad (12)$$

R ... Reflexionsgrad
 I_R ... Intensität der einfallenden Schallwelle
 I_e ... Intensität der reflektierten Schallwelle
 Z_1 ... Schallwiderstand Medium 1
 Z_2 ... Schallwiderstand Medium 2

Je größer also die Schallwiderstände (aufgrund der Dichte) der beiden Medien differieren, desto eher wird der Schall reflektiert. (vgl. *Demtröder*, 2008, S. 409)

2.12.2 Brechung

Darüber hinaus können Schallwellen bei einem Übergang in ein anders Medium wie in Abbildung 7 dargestellt auch brechen. Nach dem Snellius'schen Brechungsgesetz $n_1 \cdot \sin \alpha_1 = n_2 \cdot \sin \alpha_2$ brechen die Schallwellen beim Übergang in ein Medium mit einem geringeren Brechungsindex n_2 ($n = c/v$) – d.h. einem Medium mit größerer Schallgeschwindigkeit – vom Einfallslot weg. (vgl. *Wagner, Reischl, & Steiner*, 2010, S. 396f.).

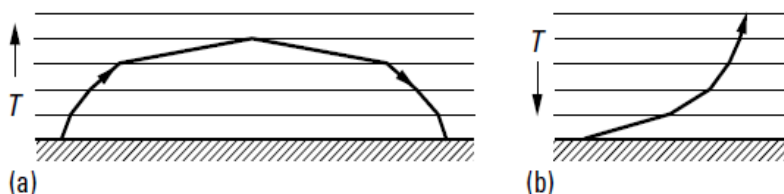


Abbildung 7: Brechung von Schall bei unterschiedlicher Temperatur
 a) Zunahme b) Abnahme der Temperatur mit der Höhe (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 534)

Dies ist beispielsweise der Fall, wenn die Temperatur in der Atmosphäre zunimmt [Abb. 7a] Je größer der Einfallswinkel dabei wird, desto größer auch der Brechungswinkel, allerdings nur bis maximal 90°. Darüber hinaus wird die Schallwelle nicht mehr gebrochen, sondern totalreflektiert. Für den Fall, dass die Temperatur mit der Höhe [Abb. 7b] abnimmt wird die

Schallwelle zum Einfallslot hin gebrochen und steigt nahezu senkrecht von der Erde. (vgl. *Bergmann & Schaefer, 2008, S. 534*)

Eine besondere Beobachtung aus dem Jahre 1920 schildert *Kadner (1994)*. In der Nähe von Moskau kam es zu einer starken Explosion, die bis ca. 70 km Entfernung hörbar war. Interessanterweise hörten einige Menschen den Kall auch in der Region zwischen 160 und 250 km Entfernung. Dazwischen – in der Zone des Schweigens [Abb. 8] wurde nichts registriert. Die Schallwellen der Explosion wurden zwar in den ersten Kilometern über dem Erdboden aufgrund der

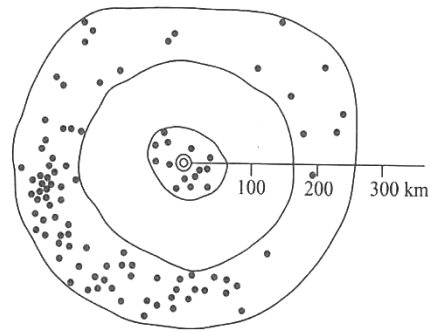


Abbildung 8: Zentrum der Explosion mit Zone des Schweigens (vgl. *Kadner, 1994, S. 54*)

absteigenden Temperatur zunächst leicht vom Einfallslot gebrochen. Da die Temperatur zwischen 20 und 45 km Höhe aber aufgrund photochemischer Prozesse wieder zunimmt, kommt es zur Brechung vom Lot weg und schließlich zur Totalreflexion. Die Schallwellen gelangten so wieder zur Erde zurück und wurden deshalb auch zwischen 160 und 250 km Entfernung wahrgenommen. (vgl. *Kadner, 1994, S. 53*)

2.12.3 Beugung

Ein weiteres Phänomen, das sich bei der Ausbreitung von Schallwellen nachweisen lässt, ist die Beugung. Diese ist insbesondere an Rändern von Hindernissen wie einem Haus zu beobachten, auf die eine Schallwelle trifft. Die Welle wird dabei am Objekt gebrochen und breitet sich auch in den geometrischen Schatten aus. Auch bei Öffnungen (beispielsweise bei einer Tür), die ähnlich groß wie die Schallwellenlänge sind, tritt die Brechung der Wellen auf. Dieses Phänomen ist freilich bei allen Wellenarten zu beobachten – auch bei Licht. Da die Wellenlängen von Schallwellen aber mit einer Größenordnung von einigen Zentimetern bis Metern einiges größer dimensioniert sind, können diese im Alltag besser beobachtet werden, da größere Wellenlängen stärker gebrochen werden. Demnach sind es auch die tiefen Basstöne, die im Schattenbereich eines Hauses stärker gebeugt und daher besser zu hören sind. (vgl. *Tipler, 2009, S. 606*)

2.12.4 Dissipation und Absorption

Schallwellen werden, wie schon angeklungen ist, nicht immer reflektiert, sondern je nach der Beschaffenheit des Mediums auch absorbiert, also „verschluckt“ – wie *Tipler (2009)* es gut auf den Punkt bringt:

„Ebene starre Wände, Böden und Decken sind gute Reflektoren für Schallwellen, während poröse und weiche Materialien (z.B. Stoffe, Vorhänge, Möbelverkleidungen) viel von dem einfallenden Schall absorbieren.“ (Tipler, 2009, S. 604f.)

Für die akustische Raumgestaltung ist es manchmal gewünscht, dass Schall auch absorbiert wird. Man stelle sich nur ein Konzert oder einen Vortrag in einem Raum vor, der den ganzen Schall immer wieder zurückwirft und in dem ein permanentes Echo zu hören ist. Daher werden Wände oft mit schallabsorbierenden Materialien versehen. Ihr Absorptionsgrad a kann nach Nocke (2014, S. 56) folgendermaßen berechnet werden:

$$a = \frac{\text{absorbierte Energie}}{\text{auftreffende Energie}}$$

Ein Teil der Energie der Schallwelle wird dabei also abgegeben. Wenn Schallwellen auf ein Medium poröser Natur treffen, bringt sie dessen Moleküle zum Schwingen und dabei wird Energie der Schallwellen in Wärmeenergie umgewandelt. (vgl. Bergmann & Schaefer, 2008, S. 538)

Bergmann & Schaefer (2008, S. 536-538) differenzieren beim Begriff der Absorption etwas genauer, im Gegenteil zu manchen Autoren wie beispielsweise Mathelitsch & Verovnik (2004, S. 32f.) oder Kadner (1994, S. 58). Sie verwenden für die Abschwächung, die Schallwellen durch das Trägermedium bei zunehmender Entfernung erfahren, nämlich den Begriff der Dissipation.

Für Kugeln und Zylinder gilt für die Intensität der Schallwelle $I \sim \frac{1}{r^2}$ bzw. $I \sim \frac{1}{r}$. Sie nimmt also mit steigender Entfernung ab, da sich die Energie auf immer größer werdende Flächen aufteilt. Bei einer ebenen Welle hingegen gibt es diese Abschwächung aufgrund der veränderten geometrischen Voraussetzungen nicht. Allerdings tritt dort die eben erwähnte Dissipation ein. Sie meint die Abschwächung der Schallwelle aufgrund von thermodynamischen Ausgleichsprozessen in Folge der Druckschwankungen durch die Schallwelle und lässt sich wie folgt berechnen:

$$I = I_0 \cdot e^{-m \cdot r} \quad \begin{array}{l} I \dots \text{Intensität} \\ I_0 \dots \text{Anfangsintensität (bei } r = 0) \\ m \dots \text{Dissipationskonstante} \end{array} \quad (13)$$

Da die Dissipationskonstante für Wasser beispielsweise geringer ist als die für Luft, bedeutet dies, dass die Intensitätsabschwächung über den zurückgelegten Weg dort also geringer ausfällt als bei Luft. Für hohe Frequenzen wirkt sich die Dissipation zudem noch stärker aus. Insgesamt jedoch hängt der Effekt auch sehr von der Luftfeuchtigkeit ab, da diese bei der Ausbreitung unterstützend wirkt. (vgl. Bergmann & Schaefer, 2008, S. 537f.)

2.12.5 Stehende Wellen

Im Bereich der Musik trifft man noch ein anderes besonderes Phänomen, das durch die Reflexion von Wellen zu Stande kommt. Unter günstigen Bedingungen wird dabei eine Primärwelle an ihren Grenzflächen reflektiert und überlagert sich derart, dass eine stehende Welle entsteht. Ihre Amplitude bzw. Frequenz sind in dem Fall gleich und sie unterscheiden sich nur in ihrer Ausbreitungsrichtung. (vgl. Kadner, 1994, S. 55)

Zu beobachten ist dies beispielsweise bei Instrumenten wie der Gitarre, dem Klavier oder bei Geigen. Dort sind die einzelnen Saiten einer bestimmten Länge l an zwei Enden fixiert. Wird eine Saite durch anstreichen, zupfen oder anschlagen erregt, beginnt sie transversal zu schwingen. Durch die Fixation an beiden Enden entstehen stehende Wellen, die durch die sogenannte Resonanzfrequenz der Saite

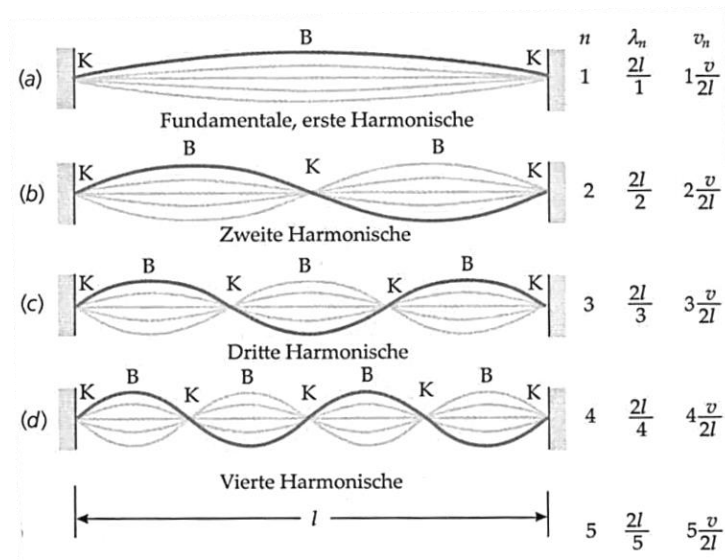


Abbildung 9: Stehende Wellen von Instrumentensaiten.
B bezeichnet die Schwingungsbäuche, K die Schwingungsknoten der Saite (vgl. Tipler, 2009, S. 638)

charakterisiert sind [Abb. 9] Die niedrigste Frequenz ($f = \frac{v}{2 \cdot l}$)¹³, wird als Eigenfrequenz, die entsprechende Schwingung als Grundschiwingung bezeichnet. Die n-Vielfachen davon sind die sogenannten Oberschwingungen, welche durch Fixieren eines entsprechenden Knotenpunkts angeregt werden können. (vgl. Bergmann & Schaefer, 2008, S. 538f.)

Für die entsprechenden Wellenlängen λ_n bzw. Frequenzen f_n gilt nach Tipler (2009, S. 638f.):

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot l}{n} \quad (\text{für } n = 1, 2, 3, \dots) \quad \lambda_n \dots \text{Wellenlängen für stehende Wellen} \quad (14)$$

$l \dots$ Saitenlänge

$\omega \dots$ Kreisfrequenz ($\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = \frac{2 \cdot \pi}{T}$)

$t \dots$ Zeit

$$f_n = n \frac{v}{2 \cdot l} \quad (\text{für } n = 1, 2, 3, \dots) \quad f_n \dots \text{Resonanz-Frequenzen} \quad (15)$$

$v \dots$ Zeit

$l \dots$ Länge

¹³ In der Abbildung wird die Frequenz f mit dem griechischen Buchstaben ν („Ny“) bezeichnet. Die Abkürzung v steht für die Ausbreitungsgeschwindigkeit und L für die Länge der Saite.

Zu klären gilt noch, wie es bei diesen Streichinstrumenten zur Schallerzeugung kommt. Durch die transversalen Auf- und Abbewegungen der Saite verdichtet und verdünnt sich die umliegende Luft und eine Schallwelle entsprechender Frequenz breitet sich aus. Der Effekt ist allerdings recht schwach und daher werden Streichinstrumente mit einem Resonanzkörper versehen, der durch das Schwingen der Saiten mitangeregt wird und die Schwingungen verstärkt. (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 540+544)

Neben den Saiteninstrumenten gibt es einige Instrumente, mit denen man Musik machen kann indem Luftsäulen zum Schwingen gebracht werden. Dazu zählen Pfeifen- und Blasinstrumente. Durch die Reflexion der Schallwellen an den Enden entstehen bei der passenden Wellenlänge wieder stehende Wellen. Sie sind von den Randbedingungen abhängig, sprich ob nur ein Ende, oder beide Enden offen sind. Bei Pfeifen spricht man hierbei von offenen oder gedackten Pfeifen (vgl. *Bergmann & Schaefer*, 2008, S. 566). Bei offenen Pfeifen befinden sich an den Enden jeweils die Schwingungsbäuche und bei den gedackten Pfeifen am geschlossenen Ende die Schwingungsknoten [Abb. 10]. Die Bedingung für die Ausbildung einer stehenden Welle bei einer offenen Pfeife ist, dass die Länge

der Pfeife der halben Wellenlängen $n = 1$ entspricht bzw. bei der gedackten Pfeife einem Viertel der Wellenlänge. Für die jeweiligen Resonanzfrequenzen muss für die beidseitig geöffnete Pfeife (a) und

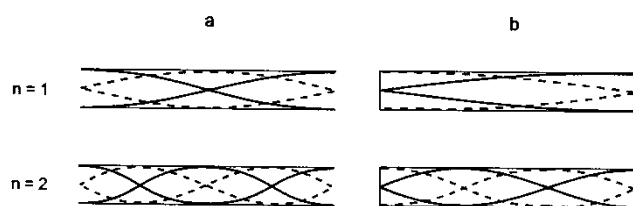


Abbildung 10: Stehende Wellen in einer Pfeife mit a) zwei offenen und b) einem offenen Ende (Strichlierte Linien: Druckverhältnisse) (vgl. *Mathelitsch & Verovnik*, 2004, S. 19)

die einseitig geöffnete Pfeife (b) in dem Fall gelten:

$$\lambda_n = \frac{2 \cdot l}{n} \quad (\text{für } n = 1, 2, 3, \dots) \quad \lambda_n \dots \text{Wellenlängen für stehende Wellen} \quad (16 \text{ a})$$

$l \dots$ Pfeifenlänge

$$\lambda_n = \frac{4 \cdot l}{n} \quad (\text{für } n = 1, 3, 5, \dots) \quad \text{b)}$$

$$f_n = n \cdot \frac{v}{2 \cdot l} \quad (\text{für } n = 1, 2, 3, \dots) \quad f_n \dots \text{Resonanz-Frequenzen} \quad (17 \text{ a})$$

$l \dots$ Pfeifenlänge

$$f_n = n \cdot \frac{v}{4 \cdot l} \quad (\text{für } n = 1, 3, 5, \dots) \quad \text{b)}$$

Bei einer gedackten, sprich einseitig geöffneten Pfeife treten demnach nur Resonanzfrequenzen mit ungeraden Vielfachen der Grundfrequenz auf. (vgl. *Halliday, Resnick, & Walker*, 2013, S. 401f.)

2.12.6 Doppler-Effekt

Der in Graz geborene und auch an der Universität Wien lehrende *Christian Doppler* (1803 – 1853) verwies im Jahre 1842 darauf, dass auch eine Bewegung zwischen einer Schallquelle und ihrem Empfänger zu einer Veränderung der bei ihm ankommenden und wahrgenommenen Frequenz kommt. Dieser nach ihm benannte Doppler-Effekt [Abb. 11] sorgt dafür, dass die bei einem Empfänger (A) ankommende Tonhöhe, beispielsweise einer Sirene, von einem ihm entgegenfahrendem Auto (im Vergleich für den Fall, dass das Auto steht) höher ist. Hinter dem Fahrzeug hingegen (B) ist die Frequenz geringer, d.h. der wahrnehmbare Ton tiefer. Ein Beobachter am Punkt (C) kann diese Frequenzänderung unmittelbar wahrnehmen. Rechnerisch bedeutet dies für die ankommenden Tonfrequenzen bei einem Empfänger A bzw. einem Empfänger am Ort B folgendes:

$$f = \frac{f_0}{1 - \frac{v}{c}} \quad (\text{A}) \quad f \dots \text{Empfangsfrequenz} \quad (18)$$

$f_0 \dots$ Sendefrequenz

$$f = \frac{f_0}{1 + \frac{v}{c}} \quad (\text{B}) \quad v \dots (\text{Relative}) \text{ Geschwindigkeit der Quelle}$$

$c \dots$ Schallgeschwindigkeit

Freilich tritt der Dopplereffekt auch in die andere Richtung auf, sprich wenn sich der Empfänger auf die ruhende Schallwelle zubewegt. Allerdings gilt dann $f = f_0(1 \pm \frac{v}{c})$. (vgl. Kadner, 1994, S. 59)

2.12.7 Überschallknall

Ein besonderer Fall tritt ein, wenn sich eine Quelle schneller als die Schallwellen bewegt. In diesem Fall – wie es bei einem Überschallflugzeug passiert – sammeln sich die Wellen hinter der Quelle, sodass eine sogenannte Stoßwelle entsteht, die auf der Erde als lauter Knall zu hören ist und kegelförmig den Mach-Winkel bildet [Abb. 12]. Dieser wird umso kleiner, je schneller sich das Flugzeug fortbewegt ($\sin \alpha = \frac{c_{\text{Schall}}}{v_{\text{Flugzeug}}}$). Das Verhältnis der beiden Geschwindigkeiten wird durch die Machzahl, nach

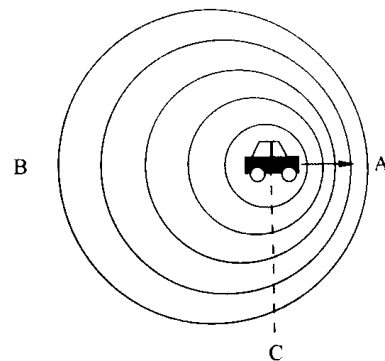


Abbildung 11: Illustration des Dopplereffekts (vgl. Kadner, 1994, S. 59)

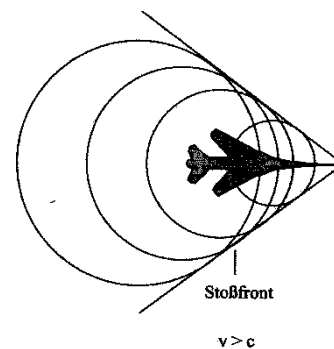


Abbildung 12: Entstehung einer Stoßwelle (vgl. Kadner, 1994, S. 43)

dem Österreicher *Ernst Mach* (1838-1916) angegeben ($M = \frac{v_{\text{Flugzeug}}}{c_{\text{Schall}}}$). Ein Flugzeug, das mit Mach 1 fliegt, fliegt demnach mit Schallgeschwindigkeit. Die Concorde erreichte Mach 2 und querte den Atlantik also mit zweifacher Schallgeschwindigkeit, war aber sehr laut und wurde nach einem Unfall aus dem Verkehr genommen. Gegenwärtig sind in den USA wieder Überschallflugzeuge in Planung. (vgl. *Kadner*, 1994, S. 43-47)

2.13 Anwendungsgebiete zum Thema Schall

Wo Schall überall anzutreffen ist und in welchen Bereichen er eingesetzt wird, klang bisweilen schon fallweise an. Die Beispiele sind zahlreich und reichen von seismologischen Untersuchungen, von Sonargeräten bei Schiffen, oder der Ortung in der Tierwelt bis zum umfangreichen Bereich der Akustik. Es finden sich hier zahlreiche spannende Anwendungen, wie die konkrete Physik von Musikinstrumenten wie der Geige oder des Klaviers¹⁴. Hier allerdings ist nur ein kleiner Einblick in zwei recht attraktive Beispiele möglich, welche auch im Physikunterricht zur Sprache kommen sollten.

2.13.1 Ultraschalldiagnostik

Im Kapitel 2.6 wurden bereits einige Anwendungen des Ultraschalls, wie die Echolotung und das Sonar angesprochen. Hier soll nun die bekannteste medizinische Anwendung noch kurz vertieft werden. Die bekannteste ist die Erstellung von Sonogramme mit einem Ultraschallgerät. Sie bieten im Gegenteil zur Diagnostik mit Röntgenstrahlen – neben der gesundheitlich unbedenklichen Anwendung – den Vorteil, auch Weichteile, wie Organe oder Muskeln sichtbar zu machen und dies mit einer sehr kurzen Abtastzeit. Besonders die Untersuchungen während der Schwangerschaft, bei denen die Entwicklung des ungeborenen Kindes beobachtet wird, sind hier zu nennen. Von einem Piezoelement werden dabei kurze Ultraschallimpulse ausgesandt, die an den Grenzflächen reflektiert werden und wieder zum Piezoelement gelangen, das nun als Empfänger fungiert. So können sie in einem Ultraschallbild visualisiert werden und der Fötus in Echtzeit beobachtet bzw. untersucht werden. Medizinisch und für die werdenden Eltern äußerst spannend lassen sich, wie *Speiser* (2000) feststellt, derart beim Fötus „Bewegungen verfolgen, vom 3. Monat an beobachtet man die Herztätigkeit. Im 6. Monat lässt sich das Geschlecht bestimmen“ (S. 26). Die beschreibende Methode wird Echo-Impuls-Verfahren oder A-Bild-Verfahren (von A=Amplitude) genannt. Heutzutage wird jedoch hauptsächlich das B-Bild-Verfahren angewandt, bei der durch das Verschieben des Schallkopfs quer zur Schallrichtung zweidimensionale Bilder bzw. durch zusätzliches Verändern der Verzögerungszeit sogar

¹⁴ Vgl. *Demtröder*, 2008, S. 414f

dreidimensionale Bilder mit einer Auflösung bis zu 1 mm erstellt werden können. (vgl. Demtröder, 2008, S. 410f.)

2.13.2 Schall in der Natur – Biosonar

Für Schülerinnen und Schüler ebenfalls sehr interessant sind die Anwendungen des Ultraschalls in der Biologie. Sowohl Fledermäuse als auch Delphine senden zu ihrer Orientierung Schallwellen aus. Diese werden an Objekten reflektiert und kehren so zurück, was den Fledermäusen die Jagd in der Nacht ermöglicht, denn die hohe Frequenz der Schallwellen ermöglicht es, auch kleine Objekte zu detektieren. Delphine arbeiten mit Schallfrequenzen von 20 kHz bis 40 kHz. Neben der Ortung ihrer Beute wird der Ultraschall auch für die Kommunikation untereinander verwendet. Bei Fledermäusen liegt der Frequenzbereich mit 20kHz bis 210kHz etwas darüber und ist breiter (allerdings von der Fledermausart abhängig). Die deutlich höheren Frequenzen ermöglichen es ihnen, kleinste Hindernisse und ihre Beute zu orten. Die entsprechenden Wellenlängen betragen nämlich 15 mm bzw. 1,4 mm. Dafür senden sie über ihren Mund oder ihre Nase Ultraschalltöne oder -knalle aus und diese werden nach der Reflexion über die Ohren wahrgenommen. Damit kann sich eine Fledermaus ein klares „Hörbild“ der Umgebung machen. (vgl. Sorge, 2002, S. 111-114)

3 Fachdidaktische Grundlagen

3.1 Überlegungen aus der Lernpsychologie

Die Frage wie Lernen funktioniert bzw. wie wir Wissen erwerben, ist in der Psychologie und der Pädagogik die zentrale Frage von der auch der Unterrichtserfolg abhängt. Insbesondere der Entwicklungspsychologe *Jean Piaget* hat versucht darauf zu antworten. Er beschreibt den Lernprozess mit den zwei Begriffen der Assimilation und der Akkommodation. Weichen neue Erfahrungen oder Eindrücke nur schwach von bisher bekannten ab, werden diese einem ähnlichen Schemata angeglichen und finden so leicht ihren Platz in unserem Gehirn. Gelingt dies gar nicht, so müssen vorhandene Schemata verändert, sprich akkommodiert werden. Damit lassen sich Lernprozesse psychologisch gut erklären. Der pädagogische Fokus liegt demnach darauf, ob und wie die Lernenden die neuen Informationen mit denen sie konfrontiert werden, einordnen und vernetzen. Es hat sich dabei schon lange die Ansicht durchgesetzt, dass der „wichtigste Faktor beim Lernen ist, was der Lernende schon weiß – man berücksichtige dies und lehre entsprechend“ – so bringt es zumindest der Lernpsychologe *Ausubel* zum Ausdruck (*Ausubel* zit. nach *Duit*, 2015, S. 662). Der Umgang mit dem Vorwissen der Schüler und Schülerinnen spielt demnach eine außerordentlich wichtige Rolle für den Lernprozess. (vgl. *Duit*, 2015, S. 662)

Die Problematik, mit der junge Menschen in der Schule immer noch oft konfrontiert werden, ist, dass neue Informationen, neues Wissen oft direkt vermittelt wird und es dabei gar nicht gelingen kann, an das Vorwissen anzuknüpfen – besonders im Physikunterricht, wo doch oft ganz neue Konzepte präsentiert werden. Wenn Schülern und Schülerinnen aber nach dem Modell des sogenannten Nürnberger-Trichters versucht wird, Wissen in das Gehirn zu stopfen, fehlt die beschriebene Komponente des Wissenserwerbs. Die neuen Informationen, die neuen Daten oder Sinneseindrücke müssen für die Lernenden Bedeutung gewinnen. Bloße Daten werden nur für kurze Zeit gemerkt. Lernen kann nur gelingen, wenn die Daten von den Schülern und Schülerinnen kognitiv aktiv verarbeitet werden und so eben von Daten zu Daten mit Bedeutung werden. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 29)

Warum das direkte Vermitteln von Wissen bei dem die Lernenden eine passive Rolle einnehmen, zudem nicht gelingen kann, schildert *Duit* anhand des „Zirkel des Verstehens des Verstehens“ [Abb. 13]. Für Lehrpersonen ist recht klar, was sie mit einer bestimmten Aussage vermitteln

wollen. Sie wissen über die Bedeutung ihrer Aussage – ihre Adressaten allerdings nicht bzw. nicht um diese konkrete Bedeutung, die die Lehrperson zu vermitteln intendiert. Die Schüler und Schülerinnen interpretieren die Aussage im Rahmen ihrer Deutungsmöglichkeiten, was schlussendlich zu Missverständnissen führen kann – sowohl in die beschriebene, als auch in die umgekehrte Richtung. Auch bei Kommentaren oder Rückfragen zu einem bestimmten Thema können diese Schwierigkeiten auftreten. (vgl. *Duit*, 2015, S. 663)

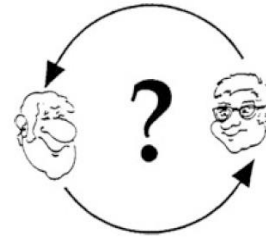


Abbildung 13: Zirkel des Verstehens des Verstehens (vgl. *Duit*, 2015, S. 663)

Eine andere Frage neben dem Erwerben von Wissen, welche im Anschluss an die Forschungen der kognitiven Psychologie genauso ergänzend gestellt werden kann, ist jene nach dem Problemlösen. Wie gehen Schüler und Schülerinnen an Probleme heran? Können falsche Vorstellung das Problemlösen erschweren oder hindern? Nach *Maichle* (1981) weist hier vieles darauf hin, dass Vorstellungen und innere Repräsentationen auch in diesem Bereich ihren Einfluss haben. Sie meint:

„Vieles deutet darauf hin, daß bei der Mehrzahl kognitiver Prozesse (beim Verstehen, beim Lernen, beim Denken und beim Sich-Erinnern) aktivierte Vorstellungen eine wichtige Rolle spielen: Wir transformieren die eingehende Information, ziehen beständig Schlüsse, lassen Teilinformationen aus oder fügen Elemente dazu. Wahrscheinlich sind solche Informationsveränderungen und -elaborationen [...] das, was menschliche Kognition im wesentlichen ausmacht.“ (*Maichle*, 1981, S. 56f.).

Zentral sind dabei aber jene Vorstellungen, auf die Schüler und Schülerinnen dabei zurückgreifen und welche sie aktivieren. Dies wiederum schließt den Kreis zum weiter oben erwähnten Psychologen *Piaget* und seiner Schemata-Theorie. Vorstellungen haben sowohl beim Problemlösen, als auch beim Lernen einen gehörigen Einfluss auf die Kognition der Schüler und Schülerinnen. (vgl. *Maichle*, 1981, S. 56)

Verantwortlich für das Lernen ist das Arbeitsgedächtnis, das im Gegenteil zum Kurzzeitgedächtnis, das nur sieben Informationseinheiten verarbeiten kann, unbegrenzte Kapazität hat. Wesentlich für die Verarbeitung von neuen Daten ist, neben dem Rückgriff auf passende Strukturen sprich Vorerfahrungen und Vorwissen aus dem Langzeitgedächtnis, auch die Vernetzung mit diesen. Nur so können sie Bedeutung gewinnen und auch gespeichert werden. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 31)

3.2 Der konstruktivistische Ansatz

Aus dieser lernpsychologischen Erkenntnis lässt sich nun ableiten, dass es sich beim Lernen nicht um einen passiven Prozess, wie es noch immer verbreitete Meinung ist, sondern um einen aktiven Prozess handelt, bei dem die Lernenden im Mittelpunkt des Geschehens stehen. Sie sind nicht bloße Empfänger, sondern gestalten den Lernprozess aktiv mit. (vgl. *Duit*, 2011 S. 10.)

Diese Meinung hat sich seit den 1970er Jahren verbreitet. Der radikale Konstruktivismus, der davon ausgeht, dass Wissen und Realität nur vom Individuum konstruiert werden, wurde aber in den 1990er Jahren vom moderaten Konstruktivismus abgelöst und daher wird in der Physikdidaktik des öfteren – wie *Duit* (1995) oder *Wiesner et al.* (2011) es machen – allgemein von der konstruktivistischen Sicht gesprochen. Diese berücksichtigt auch soziale und materielle Einflüsse auf die Erkenntnis. (vgl. *Widodo & Duit*, 2004)

Duit (2010) bringt diese konstruktivistische Ansicht mit der Aussage „Jeder ist seines Wissens Schmied“ auf den Punkt (S. 2) und charakterisiert sie an anderer Stelle indem er drei Aspekte beschreibt. Dass der Lernende das Wissen selbst konstruiert, wurde bereits klargestellt. Des weiteren verweist er darauf, dass auch naturwissenschaftliches Wissen vom Menschen konstruiert wird, auch wenn es als solches immer wieder mit der Realität abgeglichen wird. Lernen – so der dritte Aspekt – passiert immer in einem bestimmten Umfeld und von daher macht es einen Unterschied, ob in der Schule oder in der Familie, ob mit Computer oder mit dem Schulbuch gelernt wird. Es sind dies die angesprochenen sozialen und materiellen Gegebenheiten, die das individuelle Konstruieren beeinflussen. Wird die Lernumgebung mit berücksichtigt, spricht man auch vom „situierten Lernen“. Alles aber, unabhängig davon wo und unter welchen Bedingungen gelernt wird, ist vom Individuum selbst abhängig, im Speziellen davon, was es an Vorwissen und Vorstellungen mitbringt. (vgl. *Duit*, 2015, S. 664).

3.3 Schülervorstellungen

Speziell in der Physikdidaktik hat sich daher seit den 1970er Jahren der Fokus auf eben dieses Vorwissen und die Vorstellungen, die die Lernenden mit in den Unterricht bringen, gerichtet¹⁵. Gebildet werden diese im Alltag, beispielsweise durch Gespräche, durch Medien wie Fernsehen oder durch Erfahrung. Der Akzent der bei ihrer Erforschung gelegt wurde und wird, ist manchmal

¹⁵ Auch wenn diese lange im Mittelpunkt standen und es immer noch tun, so sieht *Duit* (1995) für den Physikunterricht weitere Bereiche, die eine konstruktivistische Sichtweise umfassen sollen. Neben den hier zu erforschenden Vorstellungen zu den Inhalten, sind dies auch wissenschafts-theoretische Vorstellungen, Vorstellungen vom Lern- und Lehrprozess, Vorstellungen von den Zwecken und Zielen naturwissenschaftlichen Unterrichts und die Einstellung der Lernenden, als auch der Lehrenden. (vgl. *Duit*, 1995, S. 907)

etwas anders gesetzt und daher finden sich in der wissenschaftlichen Literatur viele Bezeichnungen für dieses Phänomen. Auch *Wiesner* et al. stellen dies fest, sie meinen:

„Für die vorunterrichtlichen Wissens- und Denkstrukturen der Schülerinnen und Schüler gibt es eine Vielzahl von Bezeichnungen, die im Kern weitgehend als synonym angesehen werden können: Schülervorstellungen, Alltagsvorstellungen, Fehlvorstellungen, Präkonzepte, Misconceptions etc.“ (*Wiesner, Schecker, & Hopf, 2011, S. 34*)

Auch in dieser Arbeit wird der Begriff Schülervorstellungen verwendet, der sich im deutschsprachigen Raum doch recht durchgesetzt hat. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf, 2011, S. 29*)

Bevor aber auf die Schwierigkeiten eingegangen wird, die solch vorunterrichtliche Vorstellungen für den Physikunterricht mit sich bringen, soll ihre Genese noch geklärt werden. Freilich sind es die bereits angesprochenen vielfältigen Erfahrungen, die unser Wissen und unsere Vorstellung beim Versuch etwas zu begreifen, prägen. Laut *Jung* (2011) ist es insbesondere ihre Nützlichkeit, die sie stark gemacht hat. Und so zeigen sich besonders im Umfeld der Familie auch in der Gesellschaft Vorstellungen, die sich auch sprachlich tief verankert haben. So zum Beispiel, wenn jemand meint, viel Kraft zu haben. Diese possessive Charakterisierung der Kraft ist physikalisch nicht korrekt – auch die in der Alltagssprache physikalisch überholte Redewendung, dass die Sonne aufgehe. (vgl. *Jung, 2011, S. 17f.*)

Es ließen sich hier noch mehr Beispiele finden und viele Fachdidaktiker und Fachdidaktikerinnen haben einige dieser Ansichten schon aufgedeckt. Von daher wäre es eigentlich recht leicht mit ihnen umzugehen und sie im Unterricht zu entlarven. *Jung* (2011) macht dabei aber auf einen interessanten Aspekt aufmerksam. Er meint:

„Die Alltagsvorstellungen sind keineswegs schlicht falsch. Früher war dieser Irrtum weit verbreitet: Man hat etwas nur dann „richtig“ verstanden, wenn man es physikalisch [...] verstanden hat. Aber die Alltagsvorstellungen sind im Alltag oft richtiger, nämlich richtungsweisender, hilfreicher, als wissenschaftliche.“ (*Jung, 2011, S. 16*)

Das ist recht nachvollziehbar. Aber genau aus diesem Grund stellen sie für den Physikunterricht eine große Herausforderung dar, speziell dann, wenn sie konträr zu den physikalischen Fakten liegen. (vgl. *Duit, 2011, S. 9*)

Mit dem bisher Zusammengetragenen können Schülervorstellungen nun gut charakterisiert werden. Kurz könnte man zusammenfassend mit *Duit* (2010) zwei Punkte festmachen. Bei ihm kann man nämlich lesen:

„Schülervorstellung haben beim Lernen von Physik eine Doppelrolle: Sie sind einerseits notwendiger Anknüpfungspunkt des Lernens – andererseits aber auch Lernhemmnis.“

(Duit, 2010, S. 1)

3.4 Die Problematik hinter Schülervorstellungen

Anknüpfungspunkt sind Schülervorstellungen insofern Lernen aus konstruktivistischer Sicht nur mit ihnen gelingen kann, da Wissen ja konstruiert wird. Was aber wenn die Vorstellungen physikalisch falsch sind? Wäre es nicht einfacher, sie zu ignorieren, die Schüler und Schülerinnen aufzufordern die Vorstellung zu vergessen und die richtige Sichtweise zu vermitteln? Das muss aber schon aufgrund der Tatsache, dass viele Vorstellungen in der Sprache und im Alltag tief verwurzelt sind, scheitern (vgl. Jung, 1981, 17). Die alternative Möglichkeit besteht eben darin, an den Vorstellungen anzuknüpfen. Dies wiederum verlangt die Beziehung der Vorstellung aus dem Alltag und der wissenschaftlichen Sichtweise zu beleuchten und Schülern und Schülerinnen schlussendlich von den Vorteilen der neuen Sicht zu vermitteln. Das klappen indem sie merken, dass sie damit mehr und präziser erklären können. (vgl. Jung, 1981, 19f.)

Die Beziehung der beiden Sichtweisen gestaltet sich in der Praxis jedoch oft derart, dass physikalische Fakten und Theorien von Schüler und Schülerinnen unzureichend, falsch oder simplifiziert gedeutet werden. Freilich nicht immer und grundsätzlich, dennoch zeigen sich manche, wie es Wodzinski (2011) ausdrückt, als „inadäquat“ (S.24). Für den Physikunterricht ergeben sich dadurch recht tiefgreifende Herausforderungen.

Ein Beispiel dafür ist die sogenannte Verbrauchervorstellung. Im Alltag machen Schüler und Schülerinnen die Erfahrung, dass Autos zum Beispiel Treibstoff brauchen um zu fahren. Diese Vorstellung wird analog bei der Deutung eines Stromkreises mit einem Lämpchen angewendet. Das Lämpchen funktioniert, indem es den elektrischen Strom „verbraucht“. Andere Beispiele die sich im Physikunterricht als tückisch erweisen, sind das Geben-Nehmen-Schema oder das Ursache-Wirkung-Schema, die sich im Alltag oft bewährt haben, aber im physikalischen Bereich oft zu kurz greifen oder schlichtweg falsch sind. (vgl. Wiesner, Schecker, & Hopf, 2011, S. 34)

Auch wenn Schülern und Schülerinnen mittels Experimenten die Unzulänglichkeit ihrer Vorstellung bei einem bestimmten Fall aufgezeigt wird, sind sie dennoch nicht von der Falschheit ihrer Sichtweise überzeugt. Im Gegenteil – sie beharren auf ihrer Überzeugung, da sie sich ja bisher oft bewährt hat. Die Änderung ihrer Sichtweise herbeizuführen, ist also gar nicht so leicht und für die Unterrichtenden des Faches Physik eine große Herausforderung, da

Schülervorstellungen tief verwurzelt sind und sich Kinder diesbezüglich schwer überzeugen lassen. (vgl. *Duit*, 2015, 9f.)

Und auch wenn es gelingt, Schüler und Schülerinnen von einer bestimmten physikalischen Tatsache zu überzeugen, ist schon länger bekannt, dass sie nach einiger Zeit wieder in die alten Denkmuster zurückfallen. (vgl. *Jung*, 1981, S. 9).

Der Vollständigkeit halber muss auch noch eine weitere Schülervorstellung erwähnt werden, die mit der Disziplin der Physik als Naturwissenschaft zu tun hat. Viele Schüler und Schülerinnen – und auf diese Sichtweise haben sicher auch die Lehrpersonen einen wesentlichen Einfluss – gehen von der Objektivität der Physik aus. Was in Experimenten gezeigt wird, muss auch so gelten und ist dann auch wahr, meinen sie. *Duit* (2015) charakterisiert Schüler und Schülerinnen daher als „naive Realisten“ (S. 622). Das bedeutet aber auch, dass neben den physikalischen Fakten im Physikunterricht auch in erkenntnistheoretischer Hinsicht über Physik als Naturwissenschaft etwas gelernt werden muss. Dies wird unter dem Begriff *Nature of Science*¹⁶ gegenwärtig auch getan. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 30f.)

3.5 Charakterisierung von Schülervorstellungen

Nun aber nochmal zu den Schülervorstellungen an sich. Sie wurden in den letzten Jahren gut erforscht und so finden sich mittlerweile auch Veröffentlichungen, die einige Schülervorstellungen aus den verschiedenen Bereichen innerhalb der Physik beschrieben haben¹⁷. *Wiesner* (2008) hat versucht, einige theoretische Punkte zu Schülervorstellungen zusammenzutragen, die sich empirisch feststellen ließen. Sie sollen auch hier Platz finden:

- „Lerner bringen ein Inventar von Vorstellungen und Denkweisen zu physikalischen Begriffen und Phänomenen mit, die sich aus Alltagserfahrungen gebildet und im umgangssprachlichen Gebrauch bewährt haben.
- Diese Vorstellungen widersprechen häufig den entsprechenden physikalischen Konzepten.
- Sie erscheinen aus Sicht der Lehrenden oftmals in sich widersprüchlich und haben trotzdem eine gewisse innere Logik.

¹⁶ *Wiesner et al.* (2011) haben zur Natur der Naturwissenschaften einige Aspekte zusammengetragen. Sie verweisen beispielsweise auf den vorläufigen Charakter physikalischen Wissens oder die Wechselseitigkeit von Theorie und Beobachtung (vgl. S. 14). *Höttecke* (2001) wiederum trägt einige interessante konkrete Vorstellungen von Schülern und Schülerinnen über die Natur der Naturwissenschaften zusammen. Er verweist unter anderem auf stereotypische Vorstellungen über Naturwissenschaftler, konkret als „ein männlicher und absonderlicher Stereotyp“, der „einzeln und isoliert“ arbeitet (S.20). (vgl. *Höttecke*, 2001, 20f.)

¹⁷ So zum Beispiel: *Wiesner, Schecker, & Hopf*, (2011).

- Die Vorstellungen sind beim einzelnen Lernenden individuell geformt und lassen sich dennoch nach typischen Mustern beschreiben.
- Sie sind teilweise recht stabil gegen Physikunterricht und müssen daher bei der Unterrichtsplanung besonders berücksichtigt werden.
- Sie entstehen manchmal spontan beim Versuch, eine Erklärung für ein physikalisches Phänomen abzugeben.
- Alltagsbasierte Vorstellungen bilden zusammen mit den im Unterricht entwickelten Vorstellungen das Vorwissen, mit dem Lerner sich die Bedeutung der neuen Unterrichtsinhalte erschließen.“ (Wiesner, 2008, S. 3)

3.6 Konzeptwechsel

Betrachtet man die Beziehung von lebensweltlichen und wissenschaftlichen Vorstellungen, genauer muss man mit *Jung* (1981) das Öffnen einen „Bruch“ zwischen den beiden konstatieren. Was das für den Unterricht bedeutet und wie mit Schülervorstellungen umgegangen wird, dazu gibt es unterschiedliche Ansätze. Grundsätzlich gilt, dem bisher gesagt nach, dass Schüler und Schülerinnen im Fach Physik oft eine ganz neue Sichtweise erlernen – man spricht in der fachdidaktischen Forschung von einem Konzeptwechsel. Für *Duit* (2000) steckt hinter einem solchen Konzeptwechsel

„die empirisch gesicherte Tatsache, dass Lernen der zentralen naturwissenschaftlichen Begriffe und Prinzipien in aller Regel „Umlernen“ bedeutet, da vorunterrichtliche Vorstellungen und naturwissenschaftliche Vorstellungen zumindest in wesentlichen Aspekten einander konträr gegenüberstehen“ (*Duit*, 2000, S. 79)

Die brachiale Methode den Wechsel durch eine Ersetzung der alten Sichtweise mit der neuen wissenschaftlichen Sichtweise herbeizuführen, kann aber laut bisherigen Untersuchungen nicht gelingen, da Schülervorstellungen wie erwähnt recht stabil sind. *Duit* (1993), der dazu einiges publiziert hat, plädiert daher für eine „Koexistenz beider Vorstellungen“ (S.7). (vgl. *Duit*, 2015, S. 666)

Auch rein rationales Erfassen der physikalischen Sicht greift zu kurz. Es geht vielmehr um ein rationales Durchdringen, also um tieferes Verstehen und dafür sind einige Faktoren mitzubedenken, die dies ermöglichen. *Duit* (2000) spricht von Randbedingungen, die den Verstehensprozess unterstützen. Es sind dies:

„u.a. Motivation, Interesse und Überzeugungen der Lehrenden und Lernenden, Faktoren des Klassenklimas und weitere Kennzeichen der betreffenden Lernumgebung sowie die jeweiligen Machtstrukturen in den ablaufenden Diskursen.“ (*Duit*, 2000, S. 83)

Und auch für diese Randbedingungen ist im Unterricht zu sorgen, da der Lernprozess und der Konzeptwechsel sowohl auf einer kognitiven, wie auf der affektiven Ebene stattfinden soll – und dies Schritt für Schritt. Neben dem Konzeptwechsel auf der inhaltlichen Ebene sind aber auch naturwissenschaftliche Begriffe und Prinzipien also das Lernen über Physik als Naturwissenschaft von Bedeutung. Darüber hinaus ist das Lernen über das Lernen an sich wichtig, da vielen Schülerinnen und Schülern nicht bewusst ist, dass sie die Konstrukteure ihres Wissens sind. Der Wechsel der Perspektive muss daher auf mehreren Ebenen stattfinden und deswegen spricht man auch von multiplen Konzeptwechsel. (vgl. *Duit*, 2015, S. 665f.)

Ob Schüler und Schülerinnen schließlich einen Konzeptwechsel durchführen und nicht doch auf die altbewährte Vorstellung zurückgreifen, hängt sehr stark von der Erfahrung der Lernenden mit der neuen physikalischen Sichtweise ab. Die vielzitierten *Posner et al.* (1982) haben schon in den 1980er Jahren vier Bedingungen aufgestellt, die erfüllt sein müssen, um einen Konzeptwechsel (engl. *conceptual change*) zu initiieren:

1. „Die Lernenden müssen mit den bereits vorhandenen Vorstellungen unzufrieden sein.
2. Die neue Vorstellung muss logisch verständlich sein.
3. Sie muss einleuchtend, also intuitiv plausibel, sein.
4. Sie muss fruchtbar, d. h. in neuen Situationen erfolgreich sein.“ (*Posner et al.* 1982 zit. nach: *Duit*, 2015, S. 666.)

Das im Physikunterricht umzusetzen bedarf nicht nur Geduld, sondern großen Einsatz und Bemühen, sowohl von der Lehrperson, als auch von den Lernenden, denn Alltagsvorstellungen haben sich bis dato ja bewährt und so einsichtig und plausibel scheinen manche physikalische Konzepte für Schüler und Schülerinnen auf den ersten Eindruck nicht. Es kommt daher auf ein konstruktives Klima im Unterricht, die Lehrperson und die Unterrichtsformen an. (vgl. *Duit*, 2011, S. 13)

3.7 Strategien des Konzeptwechsels

Der Wechsel von der vorunterrichtlichen Schülervorstellung zur fachlichen Sicht kann man nach *Duit* (2010) auf zwei Arten vollziehen. Er differenziert den kontinuierlichen und diskontinuierlichen Lernweg. Bei ersterem wird versucht, die Entwicklung der physikalischen Sichtweise derart zu gestalten, dass der Bruch zwischen den zwei Ansichten kein großes Thema wird. Dies kommt in den gleich dargestellten Strategien des Anknüpfens, Umdeutens und Brückenbauens zum Tragen. Wird hingegen die Konfrontation gesucht – so die vierte Strategie –

und die Diskrepanz der zwei Ansichten dezidiert angesprochen bzw. sogar initiiert spricht man vom diskontinuierlichen Lernweg. (vgl. *Duit*, 2010, S. 3f.)

Im Folgenden werden vier Herangehensweisen näher besprochen. Die drei ersten Strategien gehen auf *Jung* (2011) zurück.

3.7.1 Anknüpfen

Eine Möglichkeit die sich anbietet ist an den Alltagserfahrungen und den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern anzuknüpfen. Dies ist aber nur sinnvoll, insofern sie sich als günstig erweisen und man dabei auch profitiert. Der Vorstellung, dass Batterien Strom speichern und verbraucht wird, könnte man beispielsweise entgegenwirken indem man im Unterricht stattdessen Solarzellen als Spannungsquelle verwendet. (vgl. *Jung*, 2011, S. 19)

3.7.2 Konfrontation

Wird hingegen der kognitive Konflikt gesucht indem Alltagsvorstellung und die physikalische Vorstellung einander gegenübergestellt werden, spricht man von der Konfrontationsstrategie. Die Widersprüche der beiden Positionen sollen letzten Endes bei den Schülerinnen und Schülern dazu führen, die physikalische Sicht als die überzeugendere und nützlichere anzuerkennen. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 50)

„Zum Beispiel beginnt man im Elektrizitätsunterricht gerade mit dem leicht zu Fehlvorstellungen führenden Batterien, aber so, daß sofort die Fehlvorstellungen (gespeicherter Strom, Verbrauch) angepackt wird [...] Aber hier muß wiederholt werden: Lehrer müssen wegkommen von der Fehlvorstellung: Einmal erklärt – für immer begriffen.“ (*Jung*, 2011, S. 19)

Man hört die Skepsis von *Jung* gegenüber dieser Strategie heraus. In der Tat sehen die Lernenden den Konflikt – wie es von *Wiesner* et. al. (2011) richtig geäußert wird – nicht notwendigerweise so, wie er sich aus der Lehrperspektive darstellt oder es könnte sein, dass sich zu lange Diskussionen zu Vorstellungen gerade gegenteilig auswirken und sich die Fehlvorstellungen damit verfestigen. Das kann sicherlich nicht die Absicht des Physikunterrichts sein und es wird daher wohl viel Zeit brauchen bis die Schülerinnen und Schüler sich von der physikalischen Sicht überzeugt haben. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 50)

3.7.3 Umdeuten

Nach diesem diskontinuierlichen Ansatz nun wieder zu einem kontinuierlichen, der an nicht völlig falschen Vorstellung ansetzt um sie dann schließlich richtig umzudeuten. Beispielsweise

kann die Vorstellung des Stromverbrauchs richtig als Umwandlung von Energie gedeutet werden. (vgl. *Wiesner*, 2008, S. 5) Bei *Jung* (2011) ist noch ein anderes Beispiel angeführt und er meint zu dieser Strategie:

„Allerdings muß man bedenken, daß solche Umdeutungen i.a. nicht nur irgendwelche Wortbedeutungen betreffen. In der Regel geht es darum, eine umfassendere Umstrukturierung [Sic!] zu bewirken. So gehört zur Vorstellung einer die Bewegung bewirkenden Kraft, die im bewegten Körper sitzt, sowohl eine Kausalvorstellung, als auch die, daß sich diese Kraft allmählich verbraucht. Beides gehört sicher nicht in den physikalischen Verstehensrahmen für Impuls.“ (*Jung*, 2011, S. 19)

3.7.4 Brücken bauen

Eine weitere Strategie kennen *Wiesner et al.* (2011), deren Ziel es ist, den Konzeptwechsel zu erleichtern, indem hilfreiche Zwischenbegriffe eingeführt werden. Die Schwierigkeit zu erkennen, dass von einem ruhenden Körper auch von der Unterlage eine Kraft auf ihn ausgeübt wird, kann der Gedankenschritt helfen, dass die Oberfläche eines Tisches aus kleinen Spiralfedern besteht, die von einem auf ihm liegenden Buch eingedrückt werden. (vgl. *Wiesner, Schecker, & Hopf*, 2011, S. 51)

3.8 Rolle der Lehrperson

Beim Umgang mit Schülervorstellungen kommt der Lehrperson natürlich eine wichtige Rolle zu. Sie wird ihnen nicht aus dem Weg gehen können und wird ihnen oft begegnen. Wie sie sie jedoch aufgreift und mit ihnen umgeht, ist individuell und kontextabhängig. Die verschiedenen beschriebenen Strategien sind dabei eine gute Hilfe. Zu bedenken ist, wie die in Kapitel 3.1 und 3.2 beschriebenen Erkenntnisse aus der psychologischen und fachdidaktischen Forschung klar machen, dass den Schülerinnen und Schülern die Gelegenheit eingeräumt werden sollte, ihre neuen Erkenntnisse selbst aufzubauen. Nach *Duit* (2010) könnte man die Lehrperson in diesem Sinne als „Entwicklungshelfer“ (S. 2) sehen. Die Lehrperson wird dem Schüler und der Schülerin also helfend und unterstützend zur Seite stehen und ihnen den Lernrahmen bieten, indem es möglich ist, den Konzeptwechsel eigenständig durchzuführen. Ihre Aufgabe ist es, die Schülerinnen und Schüler beim „Einleben in die neue Kultur“ und dem „Erwerb einer neuen Sprache“ (*Duit* 2015, S. 667) zu begleiten.

3.9 Didaktische Rekonstruktion

Ein Modell der Fachdidaktik das die Relevanz der Schülervorstellungen ernst nimmt, ist das der „Didaktischen Reduktion“. Es setzt nach *Kattmann et al. (1997)* die vorunterrichtlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler mit jener der Wissenschaft, sprich des Faches Physik, in Verbindung um so die für den Unterricht relevanten und sinnvollen Schlussfolgerungen zu ziehen. Dies ist zum einen notwendig, da Fachwissen kontextlos nicht in den Unterricht aufgenommen werden soll, sondern den Lernenden auch interdisziplinäre Bezüge mitgeliefert werden müssen. Zum anderen werden Schülervorstellungen oft erst nach der

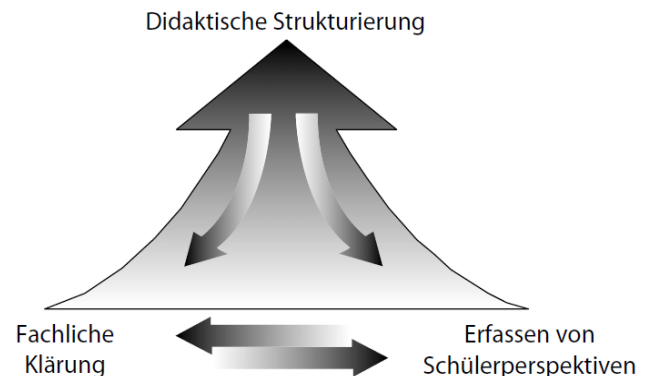


Abbildung 14: Das Triplet der Didaktischen Rekonstruktion (vgl. Gropengießer, 2008, S. 173)

fachlichen Klärung in Bezug zu ihr gesetzt, folgendem ihr nachgereiht. Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion setzt daher die fachliche Klärung, die Erfassung der Schülerperspektiven und die didaktische Strukturierung in Beziehung und dergestalt wird ein betrachtetes Thema konstruiert. Die drei Teile des Triplets [Abb. 14] stehen dabei in einer wechselseitigen Beziehung und beeinflussen einander. (*Kattmann et al., 1997, S. 4f.*)

3.10 Schülervorstellungen im Bereich des Schalls – aktueller Forschungsstand

Zu Schülervorstellungen beim Thema Schall sind die empirischen Studien recht überschaubar. *Wulf & Euler (2011)* haben Schüler und Schülerinnen der Primarstufe zum Interview (mit Experimenten) gebeten und dabei unter anderem herausgefunden, dass sie Töne als unsichtbare materielle Objekte – also recht anthropomorph – deuten. Ihre Vorstellungen zur Schallausbreitung wurde in Zeichnungen dokumentiert [Abb. 15]. Die „Vagabundiermodelle“ bei denen der Schall von der Quelle aus zum Ohr und wieder zurück zur Quelle gelangt, verweisen auf einen geschlossenen Prozess. Erst ab der 4. Klasse zeichneten Kinder den Schall strahlenartig und sich in alle

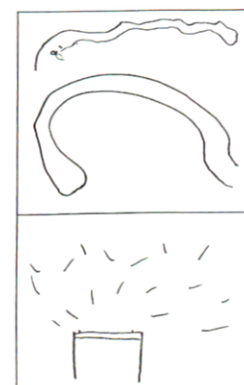


Abbildung 15: Kinderzeichnungen zur Schallausbreitung (vgl. Wulf & Euler, 2011, S. 43)

Richtungen ausbreitend. Auf weitere einzelne Ergebnisse der Studie wird dann im zweiten empirischen Teil eingegangen werden. (vgl. *Wulf & Euler*, 2011, S. 42f.)

3.11 Schall im österreichischen Lehrplan

Für die Untersuchung der Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Schall bedarf es zunächst abzuklären, wo dieses Themengebiet im österreichischen Lehrplan anzutreffen ist. Als erste und wichtigste Referenz gilt hier der Lehrplan für allgemein bildende höhere Schulen (AHS), wo wohl der überwiegende Teil der an der Universität Wien ausgebildeten Lehrkräfte der Fakultät für Physik, Arbeit fanden bzw. finden. Freilich ist das Thema Schall auch im Lehrplan für der berufsbildenden höheren Schulen (BHS) zu finden. Allerdings hängt dies vom fachlichen Schwerpunkt der jeweiligen Schule ab. Meist ist das Thema Schall unter der Rubrik Akustik anzutreffen und den Fächern „Angewandte Physik“ oder „Naturwissenschaften“ zugeordnet. Das Phänomen Schall wird demnach aus einer recht praktischen und für den Schwerpunkt der Schule erforderlichen Sicht präsentiert und dies sehr kurz, da die Stundenzahl der erwähnten Fächer insgesamt sehr spärlich ausfällt. (vgl. *BMB*, 2017)

Der Fokus dieser Arbeit liegt daher auf den Lehrplänen der AHS. Im Lehrplan für die Unterstufe (Sekundarstufe I) wird man gleich im ersten Lernjahr, das heißt der 2. Klasse, fündig. Beispielsweise heißt es vertiefend und klärend zum Themengebiet „Alle Körper bestehen aus Teilchen“ Schülerinnen und Schüler sollen im Physikunterricht

„grundlegendes Wissen über Entstehung und Ausbreitung des Schalls erwerben und anwenden können; Druck, Frequenz, Tonhöhe, Lautstärke, Schallgeschwindigkeit“ (*BMB*, 2003, S. 3)

Daher wurde bei der Erforschung der Schülervorstellungen zum Thema Schall im Rahmen dieser Arbeit der Fokus auf die Sekundarstufe I gelegt, was nicht heißt, dass das Thema damit zur Gänze abgeschlossen ist. Der Lehrplan der Oberstufe für die AHS der 5. und 6. Klasse fordert:

„an Hand von Grundeigenschaften mechanischer Wellen Verständnis für Vorgänge, beispielsweise aus Akustik oder Seismik, entwickeln und als Mittel für Energie- und Informationsübertragung verstehen“. (*BMB*, 2004, S. 3)

Aufgrund der Tatsache, dass Schall doch ein Phänomen ist, das Schüler und Schülerinnen aufgrund ihrer alltäglichen Erfahrungen tangiert und auch interessiert – man denke nur an das Echo oder daran, dass einige Kinder Musikinstrumente spielen oder singen – ist es doch ein Thema, das mit Recht im ersten Lernjahr angesiedelt ist.

4 Empirische Untersuchung

Wie die Studie zu den Schülervorstellungen zum Thema Schall genau konzipierte werden sollte, konkretisierte sich erst im Laufe der Zeit durch Rücksprache mit meiner Betreuerin und der Konsultierung von fachdidaktischer und sozialwissenschaftlicher Literatur. Speziell aus dem zweiten Bereich wurden so reichliche Informationen über die Durchführung von derartigen empirischen Studien – auch im Rahmen der Institution Schule – zusammengetragen und Klarheit über den Ablauf, Design, deren Realisierung, usw. gewonnen. Die für diese Studie wesentlichen Informationen kommen im Folgenden auch zur Sprache.

Die Ergebnisse der oben erwähnten Studie von *Wulf & Euler* (2011) sollten bei der vorliegenden Studie zumindest ansatzweise berücksichtigt werden. Da das Forschungssetting ein anderes ist, allerdings nur insofern sie eine relevanten Ergänzung oder Vertiefung bringen können.

4.1 Forschungsfragen

Die Motivation der vorliegenden Forschung ist es, Aufschluss über die bisher wenig erforschten Vorstellungen von Schülerinnen und Schüler im Bereich des Schalles zu gewinnen. Grundlegend soll daher zunächst geklärt werden, was Schülerinnen und Schüler zu diesem Thema einfällt, was sie damit verbinden, d.h. was sie mit dem Thema Schall assoziieren und welche Vorkenntnisse sie dazu haben. Zudem gilt es zu klären, welche Schülervorstellungen in der Sekundarstufe I anzutreffen sind und ob sie physikalisch richtig sind. Die zwei Fragestellungen, die den Ausgangspunkt der im Rahmen dieser Diplomarbeit durchzuführenden Forschung darstellen, lauten daher präzisiert:

Welche Assoziationen und Vorkenntnisse haben Schüler und Schülerinnen in der Sekundarstufe I zum Thema Schall?

Welche Schülervorstellungen sind in der Sekundarstufe I beim Phänomen des Schalls und im Bereich der Akustik feststellbar?

Bei der Formulierung dieser Forschungsfragen wurde auf die Empfehlungen von *Flick* (2007) eingegangen und daher darauf bedacht, sie gleich am Beginn der Forschungsphase zu klären und möglichst klar und eindeutig zu formulieren. (vgl. *Flick*, 2007, S. 174)

Natürlich wäre es auch interessant gewesen, die Studie auf die Sekundarstufe II auszuweiten. Sicherlich würden auch dort noch Fehlvorstellungen entdeckt werden. Zum anderen könnte man aufgrund des im Physikunterricht vermittelten Wissens und antizipierten naturwissenschaftlichen Denkens auf anspruchsvollere Themen im Phänomenbereich des

Schalls und der Akustik eingehen, aber die Studie würde insbesondere aufgrund des großen Alters- und Wissensunterschieds innerhalb der Forschungsgruppe viel schwerer realisierbar sein und eine aufwendige Differenzierung nötig machen, die eine Aufteilung in zwei unterschiedliche Studien logischer erscheinen ließe. Zudem liegt das Forschungsinteresse speziell bei vorunterrichtlichen Schülervorstellungen, also bei Vorstellungen, die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen. Da das Thema Schall, wie weiter oben dargelegt, in der zweiten Klasse der AHS-Unterstufe das erste Mal auf dem (Lehr-)Plan steht, sollen der Schwerpunkt der Erhebungen um diese Altersstufe liegen.

4.2 Forschungsdesign

Des Weiteren ist zu klären, wie die Forschungsfragen beantwortet werden sollen und wie den Vorkenntnissen und Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen genau nachgegangen wird. Die Erforschung von vorunterrichtlichen Vorstellungen ist in der Physikdidaktik ja mittlerweile kein neues Feld mehr. Schon in den Anfängen wurden methodisch auf unterschiedliche Verfahren zurückgegriffen. Wie *Duit* (2000) schildert, reichten diese von „Multiple-Choice-Tests bis offenen Interviews“ (S. 87). Die verbreitetste explorative Methode bleibt bis heute das Interview. Interessanterweise hat sich im Laufe der fachdidaktischen Forschungen gezeigt, dass sich auch bei der Verwendung von unterschiedlichen Forschungsmethoden ähnliche Schülervorstellungen finden lassen – sogar unabhängig von Kultur und Sprache. Schülervorstellungen sind also, will man *Duit* den Glauben schenken, recht universal. (vgl. *Duit* 2000, S. 87)

Um zu klären welche Forschungsmethode sich als passend erweist, hilft ein Blick auf die Gestalt von Schülervorstellungen. *Gropengießer* (2008) betont, dass Schülervorstellungen dem gedanklichen Bereich zuzuordnen sind und differenziert zudem zwischen Begriffen und Konzepten. Bei ersterem handelt es sich um einfache Vorstellungen und bei zweiterem um die Verknüpfung von solchen. Konzepte wären in dem Fall die aus der Psychologie bekannten Schemata, aus denen sich dann weiters Denkfiguren und dann Theorien ableiten lassen. Er gibt aber zu bedenken:

„Vorstellungen, seien es nun Begriffe, Konzepte, Denkfiguren oder Theorien, lassen sich nicht an die Tafel oder auf ein Blatt Papier schreiben. Vorstellungen gehören in den gedanklichen Bereich und können lediglich bezeichnet werden: mit (Fach-)Wörtern oder Termini, mit Aussagen oder Behauptungen, mit Grundsätzen und mit Darlegungen oder ganz allgemein mit Zeichen. Die Aufgabe besteht [...] darin, von Zeichen auf fremde Vorstellungen zu schließen [...].“ *Gropengießer* (2008, 174f.)

Es gilt demnach, die individuellen Denkstrukturen von Schülerinnen und Schülern aufzuspüren, daraus allgemeine Thesen zu formulieren und sie in Kategorien möglichst nachvollziehbar darzustellen. (Vgl. *Gropengießer* 2008, 174f.)

Die Methode der qualitativen Interviews erweist sich daher für die Exploration des Vorwissens und der Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern als probates Mittel. Es geht hier nicht darum, aufgestellte Hypothesen oder Theorien zu verifizieren, oder künstliche Forschungssituationen zu schaffen, sondern durch eine dialogische Form neue Erkenntnisse über einen Gegenstand bzw. ein Thema zu gewinnen. Durch ihre offene Gestaltung wird auch dem befragten Subjekt genug Gelegenheit eingeräumt, seine Sichtweise dazu frei zu äußern. Erst darauf aufbauend werden aus den neuen Erkenntnissen Theorien entwickelt. Diese dem Gegenstand angemessene Vorgangsweise ist es auch, was qualitative Forschungsverfahren wie das Interview auszeichnet. (vgl. *Flick*, 2007, S. 26f.)

Besonders in der empirischen Sozialforschung hat sich die qualitative Herangehensweise als Alternative zur quantitativen, beginnend in den 1970er Jahren, durchgesetzt, freilich nicht ohne Konflikte und Kritik, aber man suchte nach Methoden, um die sozialen Realitäten und Dimensionen besser einzufangen. Auf ihren unterschiedlichen Paradigmen wird im weiteren Verlauf noch einzugehen sein und auch ihr Verhältnis soll noch diskutiert werden, für die Erforschung von subjektiven Denkstrukturen jedoch, wie es Schülervorstellungen sind, erweist sich die qualitative Forschung als gutes Erhebungsverfahren, auch wenn sie sicherlich nicht die einheitliche und geschlossene Systematik aufweisen kann, wie es die quantitative Forschung von sich zu behaupten mag. (vgl. *Pfeiffer & Püttmann*, 2015, S. 7)

Was die qualitative Forschung dabei unter anderem charakterisiert, ist, mit *Flick* (2007) gesprochen, „die Rückkehr zum Mündlichen“ und die „Rückkehr zum Besonderen“ (S. 36). Dieser Weg soll auch hier bestritten werden und von daher eignen sich Interviews sehr gut, um die artikulierten Forschungsfragen zu beantworten.

Der Vorteil von Interviews zur Aufdeckung von Schülervorstellungen ist klar gegeben, denn wie *Gropengießer* es formuliert, schafft man es, mit ihnen

„subjektive Denkstrukturen zu einem Thema in ihrer Komplexität zu erheben und zwar mit dialogischer Kommunikationsstruktur und unterschiedlichen Interventionsmodi, wie Fragen, Aufforderungen, [...] und Fotos“ (*Gropengießer*, 2008, S. 175)

Das wird eben durch die Offenheit und die interaktive Art, die Interviews im Gegenteil zu Fragebögen innewohnt, gewährleistet. Dem Anspruch dabei wissenschaftlich vorzugehen, wird dadurch Folge geleistet, insofern der ganze Forschungsprozess darauf abzielt, rationale,

nachvollziehbare und intersubjektive Erkenntnisse zu gewinnen und damit Theorien über die Schülervorstellungen von Schülerinnen und Schüler zum Thema Schall aufzustellen. (vgl. *Raithel*, 2008, S. 7)

Als solches stehen die in der ersten Phase durchgeführten Interviews und die daraus abgeleiteten Ergebnisse erstmals für sich. In einem zweiten und weiteren Schritt sollen jedoch einzelne dieser Ergebnisse mittels Fragebogen quantitativ validiert werden. Auch wenn die angedeuteten Kontroversen um den qualitativen Forschungsansatz in den Anfängen und auch darüber hinaus dazu geführt haben, die Verknüpfung desselben mit quantitativen Forschungsansätzen kritisch zu sehen, wird mittlerweile eher deren gewinnbringende Ergänzung unter dem Begriff der Triangulation¹⁸ betont. (vgl. *Flick*, 2007, S. 51) Passend dazu meinen auch *Pfeiffer & Püttmann* (2015):

„Es ist wohl nicht zufällig, dass in der Praxis beide Ansätze nach wie vor meist unverbunden nebeneinander stehen. Was aber sicherlich möglich und sinnvoll ist, ist eine Art von *Kombination* der beiden Ansätze mit dem Ziel, reichhaltigere und differenzierterer Resultate [...] zu erbringen.“ (*Pfeiffer & Püttmann*, 2015, S. 11)

Auch wenn ihre Feststellung im Fokus der empirischen Sozialforschung steht, bringt sie gut zum Ausdruck, was auch hier passieren soll, denn durch die Kombination der beiden Methoden sollen das Wissen und die Erkenntnisse zu den Vorstellungen von Schülerinnen und Schülern zum Thema Schall umfassender und profunder werden. (vgl. *Flick*, 2007, S. 49)

4.3 Zum Verhältnis der beiden Forschungsansätze

Die Gründe im Rahmen wissenschaftlicher Forschung sowohl quantitativ als auch qualitativ zu arbeiten sind unterschiedlich. Das grundsätzliche Forschungsinteresse, das Design und die Methodologie sind eindeutig verschieden und daher auch das durch sie generierte Wissen. Das Ziel von qualitativen Studien ist neue Sichtweisen zu gewinnen. Dabei ist der repräsentative Einzelfall von Bedeutung und weniger eine große Anzahl von Fällen zu überprüfen. (vgl. *Flick*, 2007, S. 50) Von daher ist zu klären, wie die beiden Forschungsansätze zusammenpassen, ob und wie sie zu kombinieren sind und welches Gewicht ihnen jeweils zukommt.

Die Notwendigkeit mit einer qualitativer Studie anzufangen, liegt aufgrund mangelnder fachdidaktischer Erkenntnisse zum Thema Schall, auf der Hand. Diese müssen zunächst exploriert werden. Erst so können die ersten Erkenntnisse und Hypothesen aufgestellt werden.

¹⁸ Triangulation ist eine Metapher aus der Militärstrategie und Navigation, mit der sich die Position eines Objektes durch Einbeziehen mehrerer Bezugspunkte genauer bestimmen lässt. Die Verwendung mehrerer Methoden soll also noch genauere Erkenntnisse liefern. (vgl. *Lamnek*, 2010, S. 248)

Insofern die qualitative Vorstudie mittels Interviews die erste explorative Phase darstellt, auf die die quantitative Befragung mittels geschlossenen Fragebögen folgt, um die aufgestellten Thesen zu überprüfen, könnte man sie als eine Art Vorstudie sehen. Vorstudie ist sie aber in erster Linie insofern, als sie der quantitativen zeitlich vorgelagert ist. Ihre Ergebnisse werden daher als eigenständig ausgewertet, da es sich um einen anderen methodischen aussagekräftigen Zugang handelt, der grundsätzlich auch für sich allein stehen könnte und auch genügend Informationen liefern sollte.

Auf der Ebene des Designs kann man nach *Mayring* (2001) bei der Kombination von qualitativer und quantitativer Forschung grundsätzlich vier unterschiedlich Modelle differenzieren: Das Vorstudienmodell, das Verallgemeinerungsmodell, das Vertiefungsmodell und das Triangulationsmodell. Das für die Studie relevante Modell ist das Verallgemeinerungsmodell. Zwar kommt sie, wie gerade expliziert, auch dem Vorstudienmodell nahe, da ja eine qualitative Vorstudie quantitativ überprüft werden soll und daher als eine Vorstudie gesehen werden kann. Andererseits aber lassen sich die Interviews nicht auf Probeinterviews reduzieren, da sie einen genuinen Benefit hervorbringen und die ausgewerteten Ergebnisse durch die quantitative Überprüfung verallgemeinert und abgesichert werden. (vgl. *Mayring*, 2011, Abs. 21-23)

Das Ziel der Verknüpfung der beiden Methoden ist also ein überprüfender und damit validierter Erkenntnisgewinn. Problematisch wäre es natürlich, wenn sich die Ergebnisse widersprechen sollten, denn dann müssten Theorie und Methode überdacht und mögliche Fehler aufgespürt werden. Idealerweise aber konvergieren die Ergebnisse. Auf jeden Fall kann die Kombination der beiden Forschungsmethoden nach *Lamnek* zur „Validierung von Daten, Methoden und Ergebnissen“ führen und ein „ein adäquates bzw. umfassenderes Bild des Untersuchungsgegenstandes bringen.“ (vgl. *Lamnek*, 2010, S. 255)

Im Laufe der Studie wird die Triangulation der beiden Forschungszugänge immer wieder Thema sein, sowohl bei den studienteilnehmenden Personen also auch auf der Ebene der Datensätze. Beispielsweise also, wenn einzelne Personen an beiden Studien partizipieren und deren Ergebnisse von den Interviews und den Fragebögen nach der Auswertung verglichen werden. (vgl. *Flick* S. 44)

Abschließend können mit *Mayring* (2001) die Vorteile der Kombination von qualitativer und quantitativer Forschung festgehalten werden. Zum einen zeichnet die quantitative Forschung sich schon durch Offenheit gegenüber dem Forschungsgegenstand als auch durch die Alltagsnähe aus. Durch die Erweiterung in Form einer quantitativen Forschung gewinnen die

Ergebnisse dabei aber an Allgemeingültigkeit und sind somit schwerer anfechtbar. (vgl. Mayring, 2001)

4.4 Qualitative Erhebung – Interviews

Der erste Teil der Studie bildet also das Interview, das nun genauer spezifiziert und dessen Auswahl hier tiefgehender begründet werden soll. Lamnek (2010) charakterisiert das Interview als immer beliebter werdende Form der qualitativen Forschung, besonders in den Sozialwissenschaften. Da es mit wissenschaftlichen Methoden auch gut ausgewertet werden kann, hat es eine große Akzeptanz gefunden. Dafür spricht auch der Charakter der dabei produzierten Informationsart. Er meint dazu:

„Für die Beliebtheit des Interviews spielt auch eine wichtige Rolle, dass die Informationen in statu nascendi aufgezeichnet werden können, unverzerrt-authentisch sind, intersubjektiv nachvollzogen und beliebig reproduziert werden können“ (Lamnek, 2001, S. 301)

Und das geschieht eben alles durch ein *entrevue* durch eine Verabredung, eine kurze Begegnung, wie man das Interview etymologisch auch dem Französischen ableiten kann. (vgl. Lamnek 2001, S. 301).

Die Konzeption des Interviews ist allerdings zu klären, denn es gibt eine Reihe von unterschiedlichen Interviewtechniken, die vom problemzentrierten Interview über das Gruppeninterview bis hin zum narrativen Interview oder halbstandardisierten Interview reichen, um nur einige zu nennen. (vgl. Flick 2002, S. 207f.) Eine verständnisschaffende Übersicht findet sich bei Mayring (2002), der einfachhalber zunächst bezüglich der Freiheitsgrade des Befragten und des Interviewers unterscheidet. Im Fall des Befragten handelt es sich um ein sogenanntes offenes (im Gegensatz zum geschlossenen) Interview, wenn dieser bzw. diese die Antworten ohne Vorgaben frei formulieren kann. Dies ist auch die im Laufe dieser Studie zum Tragen kommende Form. In Bezug auf den Interviewer und die Interviewerin unterscheidet man zwischen unstrukturierten (vs. strukturierten) bzw. unstandardisierten (vs. standardisierten) Interviews, je nachdem ob er oder sie sich an Fragen eines Leitfadens orientiert oder sie diese formuliert. (vgl. Mayring, 2002, S. 66)

Für die vorliegende Arbeit hat sich auch im Hinblick auf eine an die Interviews anschließende nachvollziehbare Auswertung, die auch Vergleiche zwischen den Interviewten zulässt, die Erstellung und Verwendung eines Interviewleitfadens für sinnvoll erwiesen. Um die Schülerinnen und Schüler einerseits umfassend konkrete Fragen zum Schall stellen zu können,

andererseits aber bei Unklarheiten oder größerem Wissenstand noch Fragen anzuhängen, fiel hier die Entscheidung auf ein halb-standardisiertes bzw. leitfaden-strukturiertes Interview. Nach *Flick* (2007) kann man Leitfadeninterviews noch weiter unterscheiden. Allerdings wären diese Arten für die Studie zu den Schülervorstellungen nicht praktikabel. Laut dem Autor ist dies aber nicht von Nöten, denn sie dürfen auch nur als Orientierung gesehen werden, wie es auch hier der Fall ist. Was ihnen aber gemein ist, ist die durch den Leitfaden vorgegebene Struktur, innerhalb dieser der Interviewte die Möglichkeit hat, seine Sichtweise zu entfalten. Charakteristisch sollen noch sein: Den oder die Interviewte in seiner bzw. ihrer Meinung und Vorstellung möglichst nicht zu beeinflussen, den Fokus auf das Thema zu richten, die offenen Fragen zu verwenden, die zum Teil theoriegeleitet sind und schließlich die Orientierung am Gegenstand, in diesem Fall am Thema Schall. (vgl. *Flick*, 2007, S. 194-225)

Außerdem sollten die Interviews mündlich und *Face-to-Face*, das heißt in Form von Einzelinterviews stattfinden. Es sollte dabei auch versucht werden, die Meinung der Schüler und Schülerinnen, so gut es die Methode zulässt, wertfrei stehen zu lassen. Ob eine Sichtweise physikalisch richtig oder falsch ist, sollte daher nur im Ausnahmefall artikuliert werden. Daher wurde auch versucht, ein Klima des Vertrauens zu schaffen. Denn nach *Duit* (2011) äußern Schüler und Schülerinnen schon im Rahmen des Unterrichtes ihre Vorstellungen nur, insofern ein solches Klima vorherrscht. Folglich sollte auch bei den Interviews darauf geachtet werden, dass falsche Aussagen keinen negativen Einfluss haben und die Schüler und Schülerinnen so ganz ungezwungen über ihre Vorstellungen sprechen können. (vgl. *Duit* 2011, S. 14)

4.4.1 Gestaltung des Interviewleitfadens

Auf Basis der Forschungsfragen und der physikalischen Theorien zum Schall wurde also ein Leitfaden entwickelt. Nach *Mey & Mruck* (2013) soll dieser dem Interviewer auch im Vorhinein schon helfen, eine Übersicht zum Thema zu gewinnen. Für das Interview selbst kann er als Checkliste gesehen werden, damit am Ende auch keine Fragen übersehen werden. Sie empfehlen außerdem einen Umfang von acht bis fünfzehn Fragen. (vgl. *Mey & Mruck*, 2013, S. 430f.)

Diesem Tipp wurde nachgegangen und ist im Interviewleitfaden im Anhang [1] ersichtlich. Es wurden insgesamt neun Hauptfragen zu konkreten Themen im Gebiet des Schalls formuliert. Einzelnen Fragen folgten allerdings noch kurze konkretisierende Detailfragen. Die in eckiger Klammer notierten Fragen wurden je nach Gesprächsverlauf gestellt oder eben nicht.

Bei der Erstellung des Leitfadens wurden auch die Anregungen von *Dresing & Pehl* (2013) miteinbezogen. Sie empfehlen kurze und einfache Fragen zu stellen, denn es geht darum, dem Befragten Erzählanreize zu geben. Ja-Nein-Fragen oder geschlossene Fragen sind aus diesem Grund kontraproduktiv. Außerdem sollten Suggestivfragen vermieden werden und schwere Fragen erst am Schluss des Interviews gestellt werden. Daher wurde auch am Anfang des Interviews eine sehr offene und einfache Frage gestellt um das Interview gut einzuleiten und auch das Eis zu brechen. *Lamnek* (2010) meint dazu:

„Ein nicht-standardisiertes Interview beginnt nicht mit einer konkreten Frage, die eine prägnante, kurze Antwort erfordert, sondern es leitet ein mit einer Aufforderung, zu dem behandelten Thema möglichst ausführlich, erzählend, also von sich aus frei gestaltend, Stellung zu nehmen.“ (*Lamnek* 2010, S. 310)

Im Vorfeld wurde das Leitfadeninterview außerdem, wie es auch die beiden Autoren vorschlagen, mit drei befreundeten Personen durchgeführt, um abzuklären, wie ich als Interviewer bzw. die Interviewten mit den einzelnen Fragen und der Interviewsituation zurechtkommen. Nach diesem Probelauf wurde der Interviewleitfaden auch noch leicht überarbeitet. (vgl. *Dresing & Pehl*, 2013, S. 9-11)

Jedes Interview startete mit ein paar einleitenden Worten. Neben dem Dank für die Bereitschaft für die Teilnahme am Interview, war es äußerst wichtig, den Schülern und Schülerinnen klar zu machen, dass die Befragung keine Prüfung ist und es von daher auch keine richtigen oder falschen Antworten gibt, sondern ihre assoziierten Gedanken und Vorstellungen zentral sind. Damit sollte auch gewährleistet werden, dass die Atmosphäre „vertraulich und freundschaftlich-kollegial“ (*Lamnek*, 2010, S. 325) ist.

Dazu gehört auch die Zusicherung der Anonymität. Dies gehört laut *Flick* (2007) bei wissenschaftlichen Studien zum ethischen Standard. Die Teilnehmer und Teilnehmerinnen sollten einerseits ausreichend informiert sein, um ihr Einverständnis geben können und andererseits ist im Umgang mit ihren persönlichen Daten Vertraulichkeit geboten. (vgl. *Flick*, 2007, S. 63). *Dresing & Pehl* (2013) betonen genau aus diesem Grund: „Geben Sie eine Vertraulichkeitserklärung ab, bei der Sie darlegen, wie Sie für die Anonymität und Vertraulichkeit der erhobenen Daten sorgen.“ (S. 12). Jede Schülerin bzw. jeder Schüler konnte daher einen individuellen zweistelligen Code überlegen, der auf das Interviewskript [Abb. 16] notierte wurde. Das Skript diente neben der Protokollierung der Basisdaten zu Beginn, zur Festhaltung von Besonderheiten im Verlauf des Interviews, wie zum Beispiel Störungen, und zum Notieren von inhaltlich relevanten Aussagen im Anschluss des Interviews. Die

Tonaufzeichnung wurde erst nach Einwilligung der Befragten gestartet und mittels Smartphones bewerkstelligt.

Interview Nr.		CODE: Schüler
Klasse:	Alter:	Geschlecht:
Datum:	Zeit:	Ort:
Inhaltliches:		Besonderheiten beim Verlauf:

Abbildung 16: Interviewskript

Anhand der Fragen wurde versucht, das Thema Schall so gut wie möglich abzudecken und auch alltägliche praktische Anwendungsbeispiele mit einfließen zu lassen. Rechts [Tabelle 6] findet sich die thematische Aufteilung zu den ausgewählten Bereichen aus dem Gebiet des Schalls und der Akustik. Die Fragen sind dem Wissensniveau der Unterstufe AHS angepasst. Vertiefende Fragen, beispielsweise zu Schwingungslehre und Lautstärkenmessung, wurden daher ausgelassen, da die mathematischen Grundlagen und Begrifflichkeiten wie Amplitude, Frequenz bzw. der Logarithmus nicht zu erwarten waren. Um den Schülerinnen und Schülern einen Ansatzpunkt für ihre Argumentation zu geben, wurde ihnen zwei Materialien zur Hilfe vorgelegt. Bei Frage 5 zum Frequenzbereich von Schall wurde ihnen ein Ultraschallbild gezeigt und bei Frage 6 zur Tonhöhe konnten sie eine Gitarre begutachten.

Frage	Themenbereich
1	Einleitungsfrage
2	Schallerzeugung
3	Schallausbreitung
4	Echo
5	Frequenzbereich
6	Tonhöhe
7	Wirkung von Schall
8	Dopplereffekt
9	Schallgeschwindigkeit

Tabelle 6: Thematische Übersicht zu den Fragen des Interviewleitfadens

4.4.2 Durchführung der empirischen Vorstudie

Was in diesem Zusammenhang noch zu erwähnen ist, dass sowohl die qualitative Vorstudie mit den Interviews, sowie im späteren Verlauf auch die darauf aufbauende Studie mittels Fragebogen erst vom Stadtschulrat für Wien genehmigt werden musste. Dafür waren neben einem Ansuchen, einem Organisationsplan, Informationen zum theoretischen Zugang und der Auswertmethode in Form des Exposés, sowie Bestätigungen von meiner Betreuerin und der Direktion der betroffenen Schule notwendig. Zudem gab ich eine Verpflichtungserklärung zur

Wahrung des Datengeheimnisses von personenbezogenen Daten ab und legte die jeweiligen Elternbriefe zu deren Information und um ihre Einwilligung einzuholen bei.

Nach *Flick* (2007) ist die Voraussetzung für eine Forschungsteilnahme die informierte Einwilligung bzw. der *informed consent*, wie er in der Literatur auch genannt wird. (vgl. S. 64). Die informierte Einwilligung hat, wie er zusammengetragen hat, folgende Kriterien:

- „- Die Einwilligung sollte von einer Person erteilt werden, die dafür kompetent ist.
- Die Person, die die Einwilligung gibt, sollte angemessen informiert werden.
- Die Einwilligung wird freiwillig gegeben“ (*Allmark*, 2002, S. 13 zit. nach *Flick*, 2007, S. 64)

Folgendem wurden nicht nur die Schülerinnen und Schüler im Vorfeld mündlich und nochmals vor dem Interview informiert, sondern auch ihre Erziehungsberechtigten. Sowohl diese als auch die Schüler und Schülerinnen bestätigten ihre Zustimmung mittels Unterschrift auf dem Elternbrief. Nach der Bewilligung meiner ersten Studie durch den Stadtschulrat für Wien am 9. Mai 2017, konnten zwei Tage später bereits die ersten Interviews durchgeführt werden. Das letzte Interview fand am 23. Mai statt. Die Untersuchung fand an einem Wiener Gymnasium/Realgymnasium nach der eingeholten Einwilligung der Direktion statt.

4.4.3 Auswahl der Stichprobe und Beschreibung des Settings

Die Auswahl der Schülerinnen und Schüler, die an der Studie teilnehmen sollten, wurde schon im Vorhinein grob festgelegt und organisiert, um die Interviews gleich nach Erhalt der Bewilligung durch den Stadtschulrat durchführen zu können. Daher wurden am 10. Mai schon die ersten Elternbriefe ausgegeben und aufgrund der guten Kooperation der Schülerinnen und Schüler gleich am nächsten Tag mit den ersten Interviews gestartet. Der Auswahl der Schülerinnen und Schüler lagen folgende Überlegungen voraus:

Die erste – weiter oben schon angedeutete – Festlegung ist jene durch den Lehrplan festgesetzte Einordnung des Themas Schall in die zweite Klasse der AHS-Unterstufe. Der Fokus wurde genau auf dieses Alter gelegt und die Stichprobe um dieses Alter gestaltet, da ja die Vorstellungen, welche die Schülerinnen und Schüler in den Unterricht mitbringen, besonders von Interesse sind. Bei der vorhergehenden Absprache mit dem Physiklehrer der zweiten Klasse wurde mir versichert, dass das Thema Schall im Unterricht noch nicht zur Sprache kam. In der ersten Klasse war das sowieso der Fall, da Physik erst ab der zweiten Klasse im Lehrplan steht. Die Erweiterung auf die dritte und vierte Klasse erfolgte aus der Überlegung, Schülervorstellungen aufzudecken,

die trotz des Physikunterrichts noch vorhanden sind. Die Übersicht zum gesamten Sampling ist Abbildung 17 zu entnehmen.

Zudem sollte der männliche und weibliche Anteil der Teilnehmer bzw. Teilnehmerinnen gleich sein und so wurde jeweils ein Mädchen und ein Junge aus einer Klasse oder zwei Mädchen und zwei Jungs aus einer Klasse

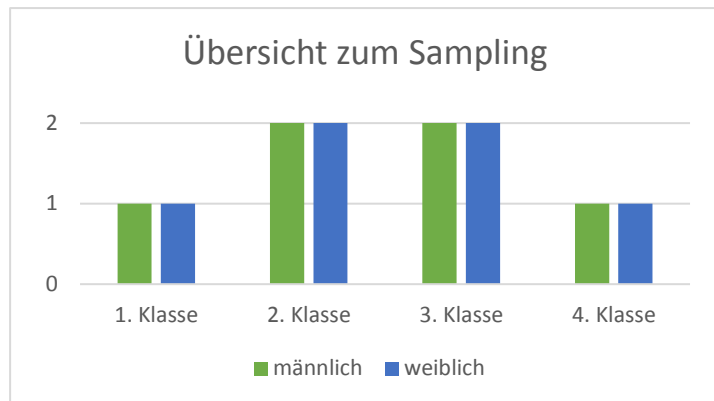


Abbildung 17: Anzahl der Schüler und Schülerinnen aus den jeweiligen Klassen für die Interviewstudie

ausgewählt. Zuvor wurden die Interviewpartner in kurzen Informationsgesprächen in kleinen Klassengruppen angesprochen und über die Studie informiert. Die dabei geäußerten Kriterien für die Schülerinnen und Schüler waren, dass sie gerne reden, ein gewisses Interesse an physikalischen Themen haben, wenn es soweit ist die Einverständniserklärung der Eltern einholen und zirka 10-15 Minuten ihrer Zeit zur Verfügung stellen. Zum Inhalt wurde nichts gesagt, außer dass es sich um ein physikalisches Thema handle und nicht ihr Wissen, sondern ganz einfach ihre Vorstellungen im Mittelpunkt stehen. So sollte auch sichergestellt werden, dass die Schülerinnen und Schüler sich nicht im Vorhinein über das Thema informierten. Außerdem wurde auf die Notwendigkeit hingewiesen, dass bis zur Durchführung der zweiten Studie der Inhalt und das Thema des Interviews anderen Mitschülern nicht weiter erzählt werden sollte, da die Studie sonst verfälscht werden könnte. Auf diese Weise fanden sich also ein paar freiwillige Schülerinnen und Schüler – auch wenn nicht alle Interessierten teilnehmen konnten. Der beim Stadtschulrat für Wien angefragte Stichprobenumfang wurde nämlich bewusst mit 10-12 Schülerinnen und Schülern angegeben.

Die getroffene Auswahl der zu Befragenden erfolgte nicht unbegründet auf diese Weise. Nach Lamnek (2010) hat die qualitative Forschung – im Gegenteil zur quantitativen – ja nicht das Ziel generalisierende Aussagen zu treffen und auch die Frage der Repräsentativität ist nicht primär. Qualitativer Methodologie geht es um Typologien und nicht um Häufigkeiten. Von daher ist es auch legitim, wenn der Forscher und Forscherinnen typische Personen für ihre Studien aussuchen. (vgl. Lamnek, 2010, S. 350f.) Zudem war es wichtig, dass die Schülerinnen und Schüler eine gewisse Motivation mitbrachten. Denn auch Gropengießer (1997) hält diesbezüglich im Rahmen einer seiner Studien grundsätzlich zu Schülervorstellungen fest:

„Das Ergebnis der Erhebung hängt ganz entscheidend von der Mitwirkung der Schüler ab, d.h. von deren Bereitschaft wie auch ihren sprachlichen Fähigkeiten, über ihre

Vorstellungen Auskunft zu geben. Die Schüler werden als Interviewpartner betrachtet und nicht als bloße Forschungsobjekte“ (vgl. *Gropengießer*, 1997, S. 76)

Da, wie bereits oben angedeutet, in zwei Klassen mehrere motivierte Schülerinnen und Schüler bereit waren ein Interview durchzuführen, forderte ich sie selbst auf, eine gemeinschaftliche Auswahl zu treffen. Einzelne wurden von mir dann selbst bestimmt. Die Idee dahinter war, wie es *Flick* (2007) darstellt, ein Sampling typischer Fälle zusammenzustellen - also solche Schülerinnen und Schüler auszuwählen, die nach meiner Einschätzung den Durchschnitt gut repräsentieren. (vgl. *Flick*, 2007, S. 166)

Die Interviews fanden in unterschiedlichen freien Klassenräumen des Gymnasiums statt. Diese war einerseits logistisch naheliegend und aufgrund der Aufsichtspflicht notwendig, aber Autoren wie beispielsweise *Lamnek* (2010) empfehlen, für Interviews auch alltägliche und bekannte Umgebungen zu wählen, um eine offene Atmosphäre zu schaffen (vgl. S. 363). Die Hälfte der Interviews wurde während der Mittagsbetreuung durchgeführt um keine Unterrichtszeit dafür aufzuwenden. Dies war aber nicht immer möglich und so wurde die zweite Hälfte während des Unterrichts durchgeführt und die Schülerinnen und Schüler wurden einzeln aus der Klasse geholt. Von den betroffenen Lehrpersonen wurde dafür im Vorhinein jeweils eine mündliche Einwilligung eingeholt. Als kleine Aufwandsentschädigung und für ihre Bereitschaft bekamen die Schülerinnen und Schüler im Anschluss an das Interview noch ein kleines schokoladenes Dankeschön.

Den Großteil der Schüler und Schülerinnen kannte ich aus dem Unterricht, allerdings nicht aus dem Physikunterricht, mit Ausnahme der dritten Klasse, die ich vor etwa drei Monaten übernommen hatte. Daher machte ich es vor jedem Interview ganz klar deutlich, dass es sich um keine Prüfung handle. Ich versicherte ihnen, dass ich nur an ihren Vorstellungen interessiert sei und das Ziel des Interviews ihre Aussagen seien – ob falsch oder richtig sei nicht von Relevanz – und, dass das Interview auch nicht benotet werde. Da aufgrund meiner persönlichen Bekanntschaft und dem Lehrer-Schüler-Verhältnis höchstens in der dritten Klasse mit möglichen Auswirkungen zu rechnen war, wurden dort statt zwei Kindern insgesamt vier interviewt um Effekte besser abschätzen zu können.

4.4.4 Auswertung

Für die qualitative Analyse der zwölf Interviews, die im Rahmen der ersten Studie gemacht wurden, mussten die Interviews nach der Durchführung transkribiert werden.

4.4.4.1 Transkription

In diesen Prozess flossen die Hinweise von *Mayring* (2010) und ergänzend dazu jene von *Dresing & Pehl* (2013) ein. Die einleitenden Worte wurden bei der Transkription [Anhang 3] weggelassen, da sie keinen Erkenntnisgewinn bringen und die Aufnahme ja auch erst nach der Einwilligung der Schüler und Schülerinnen gestartet wurde. Die Transkription der Interviews erfolgte grundsätzlich wörtlich, nur unvollständige Aussagen oder Wiederholungen wurden ausgelassen oder etwas geglättet, wenn der Aussagesinn dadurch nicht entfremdet wurde. Die hochdeutsche Sprache galt als Leitlinie und daher wurden dialektale Ausdrücke eingedeutscht. Rezeptionssignale oder Pausenfüller wurden, wie auch in der Tabelle 7 ersichtlich, einheitlich protokolliert. Pausen wurden nach ihrer Länge erfasst.

Füllwörter wie „Äh“ wurden nicht transkribiert, ebenso wenig Unklarheiten. Dafür aber Frageintentionen gekennzeichnet und alle andern nonsprachlichen Äußerungen, wie Lachen, Zustimmungen, Verneinungen, fragend Schauen, oder andere Handlungen, die für das Interview und das Setting relevant waren, in Klammer beschrieben. Das „I“ steht für den Interviewer und „S“ mit der jeweiligen Codenummer für die interviewten Schülerinnen und Schüler. Einzelne schulinterne Namenshinweise wurden anonymisiert und auf das

Symbol	Bedeutung
(-)	Kurze Pause
(--)	lange Pause
(...)	Unklarheit, nicht transkribiert
Mhm	Pausenfüller
(?)	Frageintonation
[]	andere nichtsprachliche Auffälligkeiten
I	Interviewer
S	Schüler/Schülerin

Tabelle 7: Transkriptionssymbole

Markieren von kurzen gleichzeitigen Sprechphasen verzichtet. (vgl. *Mayring*, 2010, S. 55 & *Dresing & Pehl*, 2013, S. 21f.)

4.4.4.2 Qualitative Inhaltsanalyse

Der nächste Schritt nach der Transkription der Interviews bildete ihre Analyse und Auswertung. Die Entscheidung fiel dabei auf die qualitative Inhaltsanalyse nach *Mayring* (2010). Mit seiner entwickelten Methode kann Kommunikation in welcher Form auch immer analysiert werden. Dies passiert aber nicht frei oder willkürlich, sondern nach gewissen Prinzipien. *Mayring* (2002) definiert seine Methode folgendermaßen:

„Qualitative Inhaltsanalyse will Texte systematisch analysieren, indem sie das Material schrittweise mit theoriegeleitet am Material entwickelten Kategoriensystemen bearbeitet.“ (Mayring, 2002, S. 114)

Zunächst also charakterisiert die Methode ein systematisches Vorgehen und einen Ablauf nach gewissen Regeln, um sie auch intersubjektiv nachvollziehbar zu machen. Des Weiteren ist die

Analyse der Kommunikation von einer bestimmten Theorie geprägt, wovon die Auswertung wesentlich abhängt. Die Theorie, die in dieser Arbeit bei der Analyse der Interviews einfließt, ist eine physikalische und in Hinblick auf die Schülervorstellungen auch eine fachdidaktische. Von diesem Blick her werden die Interviews auch interpretiert und bilden daher das in der Studie entwickelte und angewendete Kategoriensystem. (vgl. *Mayring* 2010, S. 12f.)

Die systematische Herangehensweise an die Interviews ist notwendig, um so auch dem wissenschaftlichen Anspruch gerecht zu werden. *Mayring* (2002) macht diesbezüglich an anderer Stelle klar:

„Qualitatives Forschen darf nicht verschwommen sein; die Vorgehensweisen müssen offen gelegt und systematisiert werden wie quantitative Techniken auch. Nur so lassen sie sich vernünftig, gegenstandsangemessen einsetzen, nur so lassen sie sich auch untereinander kombinieren und mit quantitativen Analyseschritten dort, wo es notwendig ist, verbinden“ (*Mayring* 2002, S. 65)

Dem wird auch hier nachgegangen und im Folgenden, im Hinblick auf die Erforschung von Schülervorstellungen zum Thema Schall, konkretisiert. Dabei ist aber interessant, dass *Mayring* (2010) trotz seines Fokus auf die qualitative Forschung darlegt, dass eine Verknüpfung mit quantitativen Forschungen möglich ist. Dies muss natürlich nicht, kann aber je nach Forschungssetting doch geschehen. Auch im vorliegenden Fall dient die qualitative Analyse der Hypothesenfindung und Theoriebildung und könnte somit auch als „Pilotstudie“ gesehen werden. Die Bezeichnung Pilotstudie passt für diesen ersten Forschungsteil in diesem Sinn also insofern, als dass das Themenfeld zuerst mal offen erkundet wird und mit den dabei entwickelten Kategorien weitergearbeitet wird. (vgl. *Mayring* 2010, S. 22f.)

Freilich ist die qualitative Inhaltsanalyse nach *Mayring* sicherlich nicht die einzige mögliche Form der Auswertung der Interviews, allerdings ist sie im Rahmen von fachdidaktischen Studien zu Schülervorstellung recht verbreitet und so hat sie beispielsweise auch *Gropengießer* (2008) für sich entdeckt, was das folgende Zitat auch nachweislich darlegt, indem er auf den Nutzen der qualitativen Inhaltsanalyse eingeht.

„Die Methode lässt sich für fachdidaktische Zwecke adaptieren und ist nützlich bei der Erfassung von Lernendenvorstellungen.“ (*Gropengießer*, 2008, S. 188)

Dabei klingt ein wichtiger Aspekt durch, der auch für diese Arbeit wesentlich ist. Die qualitative Inhaltsanalyse wird den Bedingungen und Zielen dieser Arbeit angepasst, was aber die Qualität der Auswertung nicht mindert, insofern der Ablauf nachvollziehbar dargelegt wird. (vgl. *Mayring*, 2010, S. 59)

Für den Umgang mit Texten kennt *Mayring* grundsätzlich drei Grundtechniken – die Zusammenfassung, die Explikation und die Strukturierung, von denen für die vorliegende Studie, die erste und letzte relevant sind. Mit der Zusammenfassung von Textteilen wird die Aussage nämlich auf ihre Kernaussage und daraus auf die wesentlichen Bestandteile reduziert. Diese werden sogenannten Hauptkategorien – in diesem Fall den unterschiedlichen thematischen Schwerpunkten aus den Interviews – zugeordnet. Bei dieser schon vor der Auswertung der Interviews festgelegten Struktur kann man von deduktiven Kategorienbildung sprechen. Dies ist jedoch nur die sekundäre Form der Analyse. Sie bildet den Rahmen und gibt Struktur und damit Ordnung vor. Von Relevanz für diese Studie sind in erster Linie die sich aus den Zusammenfassungen ergebenden Kategorien, die die unterschiedlichen Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler abbilden. Diese sind ihrem Typ nach allerdings induktiv, da sie ja direkt aus dem Interviewmaterial extrahiert werden. (vgl. *Mayring 2010b*, S 602ff.)

Auf diesem Weg werden die Schwierigkeiten und Probleme der Schüler und Schülerinnen beim Thema Schall aufgezeigt. Es werden ähnliche Aussagen von Schülerinnen und Schülern zusammengestellt, auf widersprüchliche Aussagen verwiesen und Zusammenhänge dargestellt.

Im einem ersten Durchgang werden also Kategorien aufgestellt, die sich aus den Interviews ergeben. Sie stellen die Vorstellungen und das Wissen der Schüler und Schülerinnen zum Thema Schall vor. Diese Kategorien werden den Hauptkategorien zugeordnet, um strukturierter vorgehen zu können. Orientierung dafür gibt die vorgegebene thematische Struktur der Fragen, welche die besagten Hauptkategorien bilden. Das System der Hauptkategorien musste nach einer ersten Phase der Auswertung allerdings um zwei Hauptkategorien erweitert werden, um mehr Klarheit zu schaffen. Daher weicht die Struktur von der thematischen Ordnung der Fragen leicht ab, sodass sie statt neun Einheiten elf Hauptkategorien umfasst. Erst mit dieser Festlegung wurde das ganze Material durchgearbeitet und analysiert.

4.5 Ergebnisse der qualitativen Studie

Die dadurch gewonnenen Kategorien bilden somit eine gute Übersicht über die von den Schülerinnen und Schülern geäußerten Vorstellungen zum Thema Schall. Nach *Mayring* (2002) kann man damit auf unterschiedliche Art fortfahren. Er schlägt vor:

„- Das gesamte Kategoriensystem kann in Bezug auf die Fragestellung und dahinter liegende Theorie interpretiert werden.

- Die Zuordnungen von Textstellen zu Kategorien können quantitativ ausgewertet werden. Es kann z.B. geprüft werden, welche Kategorien am häufigsten kodiert wurden.“
(Mayring, 2002, S. 117)

Hier wird primär die erste Variante gewählt, denn es sollen ja die Schülervorstellungen zum Thema Schall aufgedeckt werden, obwohl auch eine Darstellung der Häufigkeit möglich wäre. Eine solche wird in der folgenden Phase zwar angedeutet, da an die qualitative Studie aber eine quantitative anschließt, ist diese diesbezüglich dann mit Sicherheit aussagekräftiger. Daher wird auf häufig codierte Kategorien nur kurz verwiesen, da sie in dieser Phase nicht im Mittelpunkt der Forschung stehen. Mit dem gesamten Kategoriensystem wird also zum einen dargelegt, welche Assoziationen und Vorkenntnisse Kinder in der Sekundarstufe I zum Thema Schall haben und zum anderen welche Schülervorstellungen ihr Denken leitet. Zunächst wird auf die Assoziationen und Vorkenntnisse eingegangen und erst daran anschließend die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler dargelegt.

4.5.1 Ergebnisse zur ersten Forschungsfrage

Kategorie 1 – Stichworte

Die Einstiegsfrage der Interviews war bewusst eine sehr offene und zur freien Assoziation einladende Frage. Von den Schülerinnen und Schülern wurde sie gut angenommen, lediglich einem Kind war das Wort Schall nicht gleich geläufig und ihm musste etwas auf die Sprünge geholfen werden (vgl. I9 S24: 8-11). Allen andern fielen gleich ein paar Stichworte ein. Ein Schüler antwortete zum Beispiel:

„Ohren (-), Gehör, Hören, Schallmauer (-)“ (I8 S10: 2)

Etwa knapp die Hälfte der interviewten Schüler und Schülerinnen verbanden Schall mit dem *Gehör*, also mit der Wahrnehmung von Schall. Es ist auffallend, dass dieser perzeptive Aspekt in den Vordergrund rückt und nur einem Kind erzeugende Komponenten der Schallerzeugung in den Sinn kamen und als Beispiel den Radio nannte. Lediglich drei Kinder brachten auch die Stichworte *Lärm* oder *Ton* vor.

Ebenso fast die Hälfte der Schülerinnen und Schüler assoziierte bei der Einstiegsfrage den Begriff *Schallwellen*. Natürlich bietet sich dieser aufgrund der begrifflichen Ableitung von der Frage schon an, aber es ist dennoch beachtlich, dass fast die Hälfte und auch jüngere Schülerinnen und Schüler den Begriff vorbrachten. Zum Verständnis des Begriffes selber muss allerdings noch etwas gesagt werden und daher wird darauf weiter unten noch eingegangen. Neben dem

Fachbegriff der Schallwellen brachten einzelne Schülerinnen und Schüler noch *Schallwände*, *Lautstärke*, (*Schall-*)*Geschwindigkeit* und das *Echo* vor.

Interessant ist auch der biologische Konnex, der nicht nur die Einstiegsfrage, sondern auch einige Interviews prägte, da beispielsweise das Gehör detailliert zu Sprache kam oder Delphine erwähnt wurden. Auch Fledermäuse wurden mit Schall assoziiert und sogar als Erklärungshilfe für andere Phänomene herangezogen. Bei der Einstiegsfrage waren es immerhin 25% der Befragten, die das Stichwort *Fledermäuse* vorbrachten.

Kategorie 2 – Schall und Schallerzeugung

Was die Ursachen für Schall sind, war den Schülerinnen und Schülern allgemein einsichtig und klar. Auf die Frage, wie man Schall erzeugen kann, war eine klassische Antwort:

„Wenn man ein Geräusch, einen Ton macht, oder wenn man spricht.“ (I5 S31: 7)

Etwa ein Drittel gab als Antwort, das *Zusammenschlagen von Gegenständen* oder den Händen. Etwas 75% der Befragten Schülerinnen und Schüler sagten auch, Schall könne man mit *Reden* erzeugen. Ähnlich wie in der ersten Frage gründet die Antwort auf eine alltägliche und auf die mit dem eigenen Körper gemachte Erfahrung. Dies ist natürlich nicht verwunderlich und sogar naheliegend. Nur einzelne Schüler und Schülerinnen erwähnten, dass bei der Schallerzeugung etwas in Bewegung sei oder vibriere. Dies ist beachtlich.

Die meisten Befragten standen bei diesem Thema vor folgendem Problem:

„I: [...] Wie kann man Schall erzeugen? Und vielleicht kannst du beschreiben, was da genau passiert?

S03: Schall erzeugt man doch, wenn man einfach so spricht? Oder nicht? Oder ein Ton, oder Geräusche macht und die (--). Schwer zu erklären.“ (I4 S03: 12-15)

Was die Ursache für Schall ist, oder wie man ihn erzeugt, war recht klar. Die gefragte genauere Erklärung machte aber fast allen Schwierigkeiten. Manche bemühten den Begriff der Schallwellen und meinten für diese wäre charakteristisch,

„[...], dass es solche Klammern macht.“ (I8 S10: 10)

Dennoch konnten Töne, ein Knall oder das Gesprochene argumentativ nicht mit Schallwellen zusammengebracht werden. Auch wenn nur zwei Schüler diesen Erklärungsansatz wählten und ihnen wohl die graphische Darstellung von Schallwellen bekannt war, half sie ihnen nur ansatzweise zur Klärung der Vorgänge bei der Schallerzeugung und -ausbreitung. Auch diese Aussagen passen in die Kategorie:

Schülervorstellungen zum Thema Schall

„So ein Halbkreis (-) ausgehend vom dem Geräusch, der dann pulsierend von dem Geräusch weggeht.“ (I5 S31: 15-16)

„Nein, das ist natürlich unsichtbar. Aber das sind so Kreise die immer größer werden. (-) Ich habe das schon mal eingezeichnet gesehen.“ (I10 S37: 13-14)

Dass die Erzeugung von Schallwellen und deren Ausbreitung zu einem Hörerlebnis führe, brachten einzelne Schüler und Schülerinnen vor und war für sie klar. Allerdings verknüpften dies nur einzelne explizit mit dem Medium *Luft* (vgl. I11 S33: 126-130). Eine Schülerin sagte immerhin:

„I: Und wie kann man Schall erzeugen?

S40: Durch irgendwas draufhauen, klatschen, irgendwas sagen.

I: Kannst du sagen, was da genau passiert?

S40: Also die Luft wird weggedrückt. (-) Ja.“ (I2 S40: 8-11)

Kategorie 3 – Ausbreitungsmedium und Schallausbreitung

Trotzdem waren über die Hälfte der Schülerinnen und Schüler der Meinung, dass sich Schall auch in Festkörpern ausbreite. Einzelne erwähnten auch Wasser als Ausbreitungsmedium. Allerdings mit Vorbehalt, wie es bei der folgenden Aussage zum Ausdruck kommt, als auf die Frage wo sich Schall ausbreitet geantwortet wurde:

„In der Luft. (-) Unter Wasser halt schwieriger, aber es geht auch noch“ (I7 S14: 15)

Die Luft machte ihnen diesbezüglich keine Schwierigkeiten und wurde auch von manchen Kindern explizit angeführt. Insgesamt zeigt sich dabei allerdings ein recht unterschiedliches Bild. Für zwei Schüler war die Ausbreitung in Festkörper nur möglich, wenn es sich um lauten Schall handle, eine Schülerin der vierten Klasse meinte, dies sei gar nicht möglich und nur gasförmige und flüssige Medien können Schall übertragen. Zwei Schülerinnen kamen auf Vakuum zu sprechen. So meinte eine zur Ausbreitung:

„Eigentlich überall, glaub ich (-). Könnt sein, vielleicht im Vakuum nicht.“ (I8 S10: 17)

Eine andere Schülerin hatte diesbezüglich schon konkretere Informationen gesammelt und meinte:

„Vielleicht hat er was mit der Luft zu tun. Also ich habe irgendwo mal gehört, dass es irgendwo im Universum, kann kein Schall entstehen. Darum ist es bei Starwars zum Beispiel nicht so richtig, dass man diese ganzen Raketen hört. Darum glaube ich, dass der Schall schon etwas mit der Luft zu tun hat.“ (I9 S24: 71-74)

Was die Ausbreitungsrichtung von Schall anbelangt, gab es zwei unterschiedliche Argumentationslinien. Ein Drittel meinte, dass sich Schall in alle Richtungen ausbreite, die

restlichen zwei Drittel nahmen ihre Stimme als Bezugs- und Ausgangspunkt für Schall und meinten daher, dass sich Schall nach vorne ausbreite, so auch Schüler 69:

„Eher nach vorne. Also wenn man mit dem Rücken zu einem steht und ihn trotzdem anredet, dass man ihn dann nicht so gut verstehen kann. Daher denke ich eher, dass es einen Radius nach vorne hat.“ (I3 S69: 23-25)

Zwei Schüler konkretisierten verbal und mithilfe ihrer Gestikulation, dass dies in der Form eines Trichters vom Mund weg passiert. Hindernisse können dabei nach Ansicht der Schüler bei entsprechender Lautstärke gut überwunden werden. So sagte ein Schüler:

„Ich glaub, entweder geht der irgendwie durchs Haus oder irgendwie drüber oder so. [...]“ (I8 S10: 34)

Dass Schall dabei durch ein Hindernis durchgeht war eine Einzelmeinung, zwei Drittel der Schülerinnen und Schüler meinten konkret zum Beispiel eines Hauses, dass Schall sich über bzw. um dieses ausbreite.

Kategorie 4 – Echo

Das Phänomen des Echos stellte für die Kinder fast keine Probleme dar. Nur ein Schüler hatte begriffliche Schwierigkeiten:

„I: [...] Kannst du erklären wie ein Echo zu Stande kommt?

S03: Durch Hall, vielleicht.“ (I4 S03, 42)

Der Großteil der Schülerinnen und Schüler, konkret drei Viertel, meinte, dass Schall beispielsweise an einer Felswand *abprallt* und zurückkommt. Das Wort Reflexion wurde dafür aber nicht verwendet. Eine Schülerin nannte als Beispiel einen Brunnen, in den man hineinruft und nach der Meinung von zwei Schülern ist für die Entwicklung eines Echos ein geschlossener Raum notwendig.

Kategorie 5 – Frequenzbereich

Die Frage, ob es auch nicht hörbaren Schall gibt, also Schall, den Menschen nicht wahrnehmen können, stellte nur manche Schülerinnen und Schüler vor Schwierigkeiten. Schülerin 10 beispielsweise machte diese von der Schallintensität abhängig und meinte, zu leiser Schall sei nicht hörbar. Sie dachte dabei nicht an andere Frequenzbereiche, was aber in der ersten Klasse auch nicht verwunderlich ist (vgl. I8 S10: 40-43). Zwei Kinder meinten, es nicht zu wissen. Knapp die Hälfte der Interviewten war aber davon überzeugt, dass es auch Schall gibt, der für Menschen nicht hörbar sei. So zum Beispiel Schüler 14:

„Ja. (-) Fledermäuse machen Geräusche, also senden Schallwellen aus, die für den Menschen zu hoch sind, aber sie können sie hören.“ (I7 S14: 34-35)

Dies war, wie oben bereits erwähnt, doch bei einigen Schülerinnen und Schülern bekannt und ein anderer Schüler führte bei der Frage als Beispiel *Hundepfeifen* an.

Kategorie 6 – Ultraschall

Als praktisches Beispiel wurde den Schülern und Schülerinnen ein Sonogramm vorgelegt. Dies war für fast alle – wenngleich manche kurze Hilfe brauchten – eine doch bekannte Anwendung von Schall. Die genaue Funktionsweise allerdings war für die meisten eher schwierig zu erraten. Schülerin 15 meinte, man kann damit das Baby im Bauch der Mutter hören:

„Vielleicht ist das so ein Gerät, das so ganz genau hört (...) Mit dem man so ganz leise Sachen auch hören kann und das hört dann auch die leisesten Geräusche.“ (I6 S15: 56)

Andere errahnten die technische Schwierigkeit bei der Herstellung eines Ultraschallbilds.

„I: Wie stellst du dir das vor, wie kann man das machen? Hast du eine Idee?

S03: Gute Frage: Wie kann man mit Ton sehen? (-) Weil, dass Schall etwas mit Ton zu tun hat, da bin ich mir relativ sicher [...]“ (I4 S03, 55-57)

In ähnlicher Weise formulierte es fragend auch eine Schülerin:

„S24: Also man macht mit Ton ein Bild?“ (I9 S24: 44)

Den Wechsel von einem Phänomen, das grundsätzlich auditiv wahrgenommen wird, aber ein visuelles Ergebnis liefert, war für einige Schülerinnen und Schülern eine kognitive Herausforderung, mit der sie sich schwer taten. Dennoch war einem Drittel der Kinder klar, dass dabei Schall abprallt und wieder zurückkommt. Im Bemühen das Beispiel zu verstehen, merkte ein nachdenklicher Schüler an:

„Dann stimmt das nicht mit dem Abprallen oder (?) dann würden die Schallwellen, wenn man das misst ja schon beim Bauch abprallen.“ (I4 S03, 61-63)

Für ein Mädchen aus derselben Altersstufe war diese keine Schwierigkeit und so umschrieb sie das Prinzip des Ultraschallbildes folgendermaßen:

„Ich glaube, dass (-) also die Schallwellen gehen durch die Haut durch und wenn sie dann wieder auf etwas Festes Treffen, dass sie das dann zurücksenden und so ein Bild entsteht.“ (I5 S31: 45-46)

Zwei Schüler allerdings konnten sich nicht erklären, wie ein solches Bild zustande kommt und interessanterweise verwechselten es insgesamt drei Kinder mit *Röntgen*.

Kategorie 7 – Tonhöhe

Recht schwierig gestaltete sich für die Kinder die Differenzierung eines hohen und tiefen Tons. Drei Schüler bzw. Schülerinnen wussten auch wie solche auf einer Gitarre erzeugt werden können, hatten aber keine Erklärung für den Unterschied. Einzelne machten den Versuch und äußerten ihre Einschätzung beispielsweise wie folgt:

„Vielleicht, bei einem hohen Ton ist es ein schnellerer Schall, als bei einem tieferen Ton.“ (I6 S15: 62)

Eine andere Schülerin meinte wiederum:

„[...] Ein hoher Ton ist irgendwie (-) weiß ich nicht, meistens lauter. Mir kommt das so vor. Und ein tiefer Ton kann nicht so laut sein, also es kommt einem so vor.“ (I9 S24: 51-52)

Dem setzte jedoch eine Schülerin die Behauptung entgegen, dass tiefe Töne lauter seien (vgl. I5 S31: 50).

Doch ein Drittel der Kinder griff bei der Erklärung auf den Begriff der Schallwellen zurück und versuchte damit den Unterschied zu erklären, auch wenn sich dies nicht als recht leicht heraus darstellte. Ein Beispiel:

„Ich glaub, der tiefe Ton, da sind die Schallwellen so mehr verzerrt als beim hohen. Beim tiefen sind sie klarer, beim hohen sind sie mehr so verzerrt.“ (I8 S10: 52-53)

Verzerrt kann hier wohl so verstanden werden, als dass ein tieferer Ton eine längere Wellenlänge hat und immerhin war es ein Schüler der 1. Klasse der auf diese Weise und mit Schallwellen argumentierte. In die gleiche Kategorie fällt auch diese Aussage:

„Also bei hohen Wellen – also ich weiß das sogar – bei hohen Wellen sind ganz kurze Schläge und bei tiefen Tönen sind ganz weite Wellen.“ (I2 S40: 6-7)

Besonders bei dieser Oberkategorie zur Tonhöhe merkte man bei den Interviews mit den Kindern die Schwierigkeit, passende Begriffe zu finden, auch wenn sie das Richtige ausdrücken wollten. Ein letztes Beispiel dazu:

„Verbreiten sich die Schallwellen beim höheren Ton zackiger, also in mehr Bögen vielleicht (?) und beim tiefen Ton eher weiter auseinander.“ (I11 S33: 96-97)

Einem Schüler aus der vierten Klasse dagegen fiel dies schon leichter. Er sagte:

„Ein hoher Ton schwingt öfter, also die Schallwelle schwingt öfter. Also es sind mehr Wellen und bei einem tiefen Ton sind es weniger.“ (I7 S14: 47-48)

Ähnlich drückte dies auch eine Zweitklässlerin aus, wusste aber nicht in welchem Fall mehr oder weniger Schwingungen zu verzeichnen sind (vgl. I10 S37: 80-81).

Die Unterscheidung von hohen und tiefen Tönen war für die Schülerinnen und Schülern also auf der verbalen Ebene eher schwierig zu fassen, obwohl sie sich um den qualitativen Unterschied aus dem Alltag bewusst waren. Auch die Gitarre als Anschauungs- und Erprobungsobjekt war dabei interessanterweise keine Unterstützung. Anzumerken ist außerdem noch, dass einzelne Schüler auch die Adjektive laut und hoch synonym verwendeten bzw. verwechselten (vgl. I12 S34: 104-105).

Kategorie 8 – Resonanzkörper

Im Blick auf die Gitarre kam auch der Gitarrenkorpus zur Sprache, der von den Schülerinnen und Schülern ganz unterschiedlich interpretiert wurde. Der Hälfte der interviewten Kinder war überzeugt, dass die Gitarre dadurch *lauter* wird. Ansonsten gingen die Meinungen weit auseinander. Für eine Schülerin hat er rein ästhetisch Zwecke, ein Schüler meinte, das Schallloch sei zum Dämpfen des Schalles da und zwei andere Kinder weisen dem Gitarrenkorpus die Aufgabe den Schall aufzufangen bzw. ihn zu speichern zu. Eine Schülerin erinnerte sich an den Musikunterricht und stellte mit etwas Unterstützung fest, dass es sich um einen Resonanzkörper handle.

„[...] Der nimmt die Schwingungen wahr und gibt sie stärker weiter, weil da so ein großer Hohlraum ist.“ (I12 S34: 90-91)

Kategorie 9 – Wirkung von Schall

In puncto schädlicher Wirkung von Schall auf unseren menschlichen Organismus und mögliche Maßnahmen zum Schutz vor schädlichem Schall waren sich die Schülerinnen und Schüler sehr einig. Alle Kinder erwähnten, dass das *Trommelfell* im Ohr kaputtgehen könne. Auf psychische Schäden und Irritationen ging kein Kind von sich selbst ein, auch wenn sie das ein oder andere Kind beim Nachfragen für möglich hielten. Die Möglichkeit von Hörschäden war also eine sehr verbreitete Information unter den Kindern. Als Vorschläge für Schutzmaßen hingegen wurden lediglich *Ohren zuhalten* oder dergleichen vorgeschlagen.

Als Ursache für Schäden am Sinnesorgan Ohr machte die Hälfte der Kinder zu *laute Musik* verantwortlich. Über eine ähnliche begriffliche Konfusion von *zu laut* und *zu hoch* könne man auch hier diskutieren. Drei Kinder meinten, zu hohe Töne seien schädigend. Schüler 31 sagte zum Beispiel:

„Wenn es ein echt hoher Ton ist, den du die ganze Zeit hörst, dann kann ihn das Trommelfell nicht mehr wiedergeben und dann kann dein Gehör kaputt werden.“ (I5 S31: 63-64)

Und eine weitere Schülerin:

„Wenn es halt so ein richtig hoher Schall ist, dann bekommt man Hörschäden. Und wenn man richtig laut Musik hört, können diese Fäden einfach abbrechen, dann kann man schwerhörig werden.“ (I11 S34: 94-96)

Um Klarheit zu schaffen wurde in diesem Fall nochmal nachgefragt und so meinte die Schülerin dann nicht die Höhe, sondern die Lautstärke sei das Gefährliche.

Kategorie 10 – Dopplereffekt

Die Assoziationen der Schülerinnen und Schüler zum Dopplereffekt speisten sich zum größten Teil aus Erfahrungen des Alltages. Bis auf ein Kind (S40) fanden alle, dass sich bei einem vorbeifahrenden Rettungsauto die *Lautstärke* der Sirene ändere. Fast die Hälfte konstatierten auch die Änderung der *Tonhöhe*. Eine Schülerin beschrieb den Sachverhalt folgendermaßen:

„S15: Naja, wenn es weiter weg ist, ist es tiefer, als wenn es näher bei mir ist, dann ist es laut [verbessert sich] heller. Und wenn’s wieder weiter weg ist, ist es wieder dumpfer.“

I: Heller und dumpfer?

S15: Also höher und tiefer.“ (I6 S15: 69-72)

Recht eindeutig waren die Antworten und Beschreibungen dabei allerdings nicht, was beim Dopplereffekt nicht verwunderlich ist. Auch bei der folgenden Äußerung eines Schülers kommt dies zum Ausdruck:

„I: Ändert sich der Ton auch – die Höhe?

S14: Leicht.

I: Kannst du dir das erklären?

S14: Durch die Geschwindigkeit, dass es sich dadurch anders anhört.

I: Aber kannst du dir das erklären warum?

S14: Nein.“ (I7 S14: 69-74)

Eine Schülerin aus der zweiten Klasse war, trotz der Tatsache, das Thema Schall im Unterricht noch nicht behandelt zu haben, diesbezüglich gut informiert. Sie antwortete auf die Frage, ob sich der Sirenton beim Vorbeifahren eines Rettungsaautos ändere:

„Jaja. Also zuerst. Ich weiß jetzt nicht mehr genau. Es hört sich auf jeden Fall anders an. Ich habe mir sogar schon einmal so ein Video – die Erklärung – dazu angeschaut, aber ich hab’s vergessen. Aber am Anfang hört es sich anders an, als wenn es an dir vorbeigefahren ist. Aber ich weiß ehrlich gesagt nicht mehr wieso.“ (I10 S37: 104-107)

Kategorie 11 - Schallgeschwindigkeit

Zur Geschwindigkeit von Schall waren bis auf ein Mädchen aus der ersten Klasse alle einstimmig der Meinung, dass Schall zur Ausbreitung *etwas Zeit* braucht, wenn auch nur eine geringe. Die

Assoziationen zur konkreten Schallgeschwindigkeit waren recht vage. Das Wetterphänomen von Blitz und Donner nannte interessanterweise nur eine Schülerin (S10). Ein Schüler stellte fest:

„Es gibt auch die Schallgeschwindigkeit. Da bewegt man sich so schnell wie der Schall. Aber das gibt es, glaube ich, nur in Filmen, bis jetzt. Vielleicht gibt's das ja bald.“ (I12 S34: 3-5)

Mit dieser Meinung war er nicht alleine. Auch eine Schülerin der vierten Klasse, die insgesamt viel wusste, äußerte sich dazu im folgenden kurzen Interviewausschnitt ähnlich:

„I: Was passiert, wenn ein Objekt schneller als der Schall ist, geht das überhaupt, dass sich ein Objekt schneller als der Schall ausbreitet?

S33: (-) Glaub nicht.“ (I11 S33: 123-125)

Der von einzelnen Kindern aufgestellte Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit war meist nur bedingt hilfreich (vgl. S34). Klar war, dass Schall zum Ausbreiten auch eine Zeit braucht, die teilweise wahrnehmbar, aber eben schwer zu quantifizieren ist.

4.5.2 Ergebnisse zur zweiten Forschungsfrage

Die Interviews brachten einige Vorstellungen bzw. auch Fehlvorstellungen der Schülerinnen und Schüler zu Tage. Sie werden hier zunächst als Ergebnis der qualitativen Studie dargelegt. Im Rahmen der quantitativen Studie, die an diese Studie mit den Interviews anschließt, werden einige dieser Schülervorstellungen einer breiteren Überprüfung unterzogen.

Alle interviewten Schülerinnen und Schüler brachten Vorstellungen mit. Hauptsächlich waren diese durch Alltagserfahrungen geprägt. Beim Großteil der Schülerinnen und Schüler ging der Wissensstand jedoch noch etwas darüber hinaus, speziell bei denen, die das Thema schon im Physikunterricht behandelt hatten. Auf die Erwähnung der Schallwellen wurde schon eingegangen und so brachten einzelne Schüler und Schülerinnen auch vor, dass bei Schall etwas in Bewegung ist, schwinde oder vibriert. Ein Schüler jedoch sagte folgendes:

„Also zum Beispiel alle Radiosender (-) haben, sind eine verschiedene Frequenz und das ist auch alles Schall.“ (I2 S40: 28-29)

Hier kam es offensichtlich zur Verwechslung von Schallwellen mit **Radiowellen**, sprich mit elektromagnetischen Wellen. Interessanterweise war dies auch das einzige Mal, dass ein Schüler konkret auf den Begriff der Frequenz zu sprechen kam, hier allerdings eben in Bezug auf Radiowellen und nicht im Kontext von Schallwellen.

Die Vorstellung, dass Schall etwas ist, das wir Menschen mit der **Stimme** erzeugen können und mit unseren **Ohren** wahrnehmen, war eine oft geäußerte Meinung der Kinder. Dies war auch

das naheliegendste praktische Beispiel für sie. Das Phänomen Schall zu erfassen, stellte sich dennoch nicht immer ganz leicht dar. Ein Schüler sagte:

„Erzeugt man nicht Schall, wenn ich etwas spreche? Dann kommt es an das Ohr von meinem Ansprechpartner und da erzeugt es dann Schall.“ (I3 S69: 8-9)

Er sah Schall also als etwas, das einerseits bei der Erzeugung und dann wieder bei der Wahrnehmung existent ist. Was dazwischen passiert, bleibt etwas offen. Die Vorstellung von Schall als Wellen in der *Luft* war aber einigen klar und dass dabei die Luft eine wesentliche Rolle spielt ebenso. Von Luftkomprimierung sprach aber beispielsweise nur ein Schüler (S40) und ein anderer Schüler meinte:

„[...] Wenn im Raum keine Luft ist, könnt man ja nichts hören. Ich glaube, Schall braucht etwas, wo er weiter schwingen kann und die Luft hilft ihm dabei.“ (I12 S34: 7-8)

Dass dies auch *Festkörper* oder *Flüssigkeiten* sein können, diesem Faktum begegneten manche eher mit Skepsis, wie es in der nächsten Äußerung eines Schülers zum Ausdruck kommt:

„Im Wasser, aber da wird er gedämpft, weil da die Dichte höher ist.“ (I2 S40, 14)

Mit dieser falschen Vorstellung war er nicht alleine und so zeigten sich beim Ausbreitungsmedium also doch konkrete Vorstellungsschwierigkeiten. Für eine Schülerin war es glasklar, dass Schall beim Klopfen auf den Tisch durch das Holz weitergeleitet wird, andere wiederum meinten durch Festkörper gehe nur lauter Schall, was womöglich durch die Erfahrung der Schallabsorption bei Häusern mit dicken Mauern herrührt. In der anschließenden quantitativen Studie soll dies noch überprüft werden.

Ebenso wird auf die Tatsache eingegangen werden, dass Schülerinnen und Schüler nicht unbedingt die Notwendigkeit sehen, dass sich zur Schallerzeugung oder bei einer Schallquelle etwas bewegen muss. Nur wenige machten auf dies aufmerksam. Die Gitarre als Vorzeige- und Versuchsobjekt sollte dafür eigentlich eine Hilfestellung darstellen, als die sie aber nicht wirklich genutzt wurde. Wahrscheinlich auch, weil nur einzelne Schülerinnen und Schüler zur Differenzierung zwischen hohen und tiefen Tönen auf Schwingungen zu sprechen kamen. Die Ursache für Schallwellen assoziierten sie nicht unbedingt mit einer ursächlichen **Schwingung oder Bewegung**.

Die Funktion des Korpus der Gitarre war nach Ansicht der Hälfte der Interviewten für die **Verstärkung** der von den Saiten erzeugten Töne da. Wie genau der Resonanzkörper aber funktioniert, konnten sich die meisten Schülerinnen und Schüler nicht vorstellen bzw. erklären, zumal einzelne damit auch nur den praktischen Aspekt der besseren Handhabung damit verbanden oder meinten, dass der Korpus den Schall **speichere**.

Das Echo war allen Schülern bekannt. Ihre konkrete Vorstellung war auch, dass der ausgesandte Schall an einem Medium – viele nannten beispielsweise eine Felswand – abprallt und wieder zurückkommt und so wahrgenommen werden kann.

Nicht verwunderlich war die Tatsache, dass manche Kinder die menschliche Hörschwelle weitestgehend nicht von der Frequenz, sondern von der **Lautstärke** abhängig machten. Waren ihnen konkrete biologische Beispiele zum Hörvermögen von Fledermäusen, Delphinen oder Hunde bekannt, fiel ihnen die Vorstellung wiederum sehr leicht und sie waren davon recht überzeugt.

Ein anderes praktisches Beispiel sorgte teilweise für Kopfzerbrechen: die Erstellung eines Sonogramms. Einerseits verwechselten zwei Schüler die medizinische Anwendung mit **Röntgen**, andererseits konnten sich manche Schülerinnen und Schüler die Funktionsweise gar nicht vorstellen, andere nicht erklären, wie man mit **Schallwellen ein Bild** erzeugen kann. Dass dabei in den Bauch der werdenden Mutter geschallt wird, war für fast die Hälfte der Befragten grundsätzlich kein Vorstellungsproblem.

Aufschlussreich waren die Äußerungen der Schülerinnen und Schüler zur Differenzierung von hohen und tiefen Tönen. Der Großteil tat sich schwer, eine Erklärung dafür zu finden. Die meisten wagten es dennoch, ihre Vorstellung kundzutun und antworteten ganz unterschiedlich. So konnten zwei Fehlvorstellungen festgemacht werden. Eine Schülervorstellung war, dass **höhere Töne schneller** sind und eine andere, dass sie sich durch ihre **Lautstärke** unterscheiden. Eine Schülerin meinte, hohe Töne seien lauter (S24), eine andere Schülerin sagte, die tiefen Töne seien lauter (S31). Dabei muss nochmal erwähnt werden, dass es manchmal zu Verwechslungen der Begriffe **laut** und **hoch** kam (S34).

Ein Schüler spielte offensichtlich Gitarre und nahm auf das Instrument auch Bezug um seine Vorstellungen zu artikulieren (S03). Ein anderer erinnerte sich an den Musikunterricht und meinte zum Gitarrenkorpus:

„Resonanzkörper. Der nimmt die Schwingungen wahr und gibt sie stärker weiter, weil da so ein großer Hohlraum ist.“ (I12 S34: 90-91)

Insgesamt wurde der Musik – obwohl sich das Thema Schall dafür anbietet und die Schülerinnen und Schüler ja tagtäglich mit Musik konfrontiert sind – wenig Beachtung geschenkt und recht spärlich auf Beispiele aus dem Bereich der **Akustik** Bezug genommen.

Die Vorstellungen der Schüler zur Schallgeschwindigkeit waren zunächst recht klar. Schall braucht etwas bzw. in bestimmten Fällen sogar eine vom Menschen merkbare **Zeit** um sich auszubreiten. Konkreter nachgefragt, taten sich die Schülerinnen jedoch schwer, die

Schallgeschwindigkeit vorzustellen oder sie mit einem hilfreichen Vergleich zur Lichtgeschwindigkeit einzuschätzen. Schüler 10 beispielsweise meinte zuerst Schall sei schneller wie Licht, verbesserte sich aber dann doch anhand eines Beispiels. Über die Vorstellung, ob sich ein Objekt schneller als die Schallgeschwindigkeit bewegen kann, waren sich die interviewten Schülerinnen und Schüler uneins.

4.6 Quantitative Erhebung – Fragebogen

Die bisher zusammengetragenen Informationen aus den zwölf Interviews der qualitativen Analyse und deren Auswertung in Bezug auf die Forschungsfragen, haben schon einige brauchbare und aussagekräftige Ergebnisse hervorgebracht. Einige davon sollen mittels Fragebogen einer breiteren Untersuchung unterzogen werden. Die bereits zuvor aufgestellten Kategorien bilden dazu den Orientierungsrahmen. Nach *Mayring* (2001) können diese zwei Forschungsmethoden auf der Ebene der Daten gut kombiniert werden. Nach Festlegung und Ordnung mit Kategorien können mithilfe der qualitativen Analyse zwar Häufigkeitsverteilungen durchgeführt und dargestellt werden und dies wurde bei der Ergebnispräsentation der qualitativen Studie auch gemacht, aber nicht schwerpunktmäßig. Dies passiert nun im zweiten Teil im Rahmen der quantitativen Erhebung. Wie schon in Kapitel 4.3 [Zum Verhältnis der beiden Forschungsansätze] erwähnt, kann man die erste Studie insofern als Vorstudie sehen, als dass dort Hypothesen zu Schülervorstellungen aufgestellt wurden, die nun quantitativ überprüft werden. Andererseits jedoch soll mit der folgenden quantitativen Studie eine größere Verallgemeinerung der bisher gefundenen Schülervorstellungen erzielt werden. So sieht es nämlich auch das von Mayring beschriebene Verallgemeinerungsmodell vor. (vgl. *Mayring*, 2001, Abs. 21-23)

4.6.1 Gestaltung des Fragebogens

Da auch dieser Fragebogen vom Stadtschulrat für Wien genehmigt werden musste, wurde er recht bald nach den Interviews erstellt und einige Schülervorstellungen darin aufgenommen, um sie quantitativ zu überprüfen. Das Ziel dabei war, möglichst viele von ihnen aufzunehmen. Alle Fehlvorstellungen einfließen zu lassen, war allerdings technisch nicht möglich, denn der Fragebogen sollte einerseits nicht zu lange und auch von den Erstklässlern noch gut beantwortbar sein und andererseits nicht zu viel Informationen enthalten, mit deren Hilfe andere Fragen leichter zu verstehen und zu beantworten gewesen wären. Einzelne Antwortmöglichkeiten durften natürlich keinen Einfluss auf die anderen Fragen bzw. deren Beantwortung haben.

Auch hier galt es eingangs mit einfachen Fragen zu beginnen, um einen guten Einstieg zu ermöglichen. Davor musste jedoch ganz klar formuliert werden, was mit dem Fragebogen beabsichtigt wird und noch wichtiger, wie er auszufüllen ist. Daher wurde auf dem Fragebogen [siehe Anhang 2] zunächst einleitend erwähnt, dass es sich um eine fachdidaktische Umfrage handelt, die nicht benotet wird und die Schülerinnen und Schüler daher einfach ihre Sichtweise der Dinge äußern sollen. Außerdem wurde den Schülerinnen und Schülern auch die Anonymität zugesichert und sie wurden gebeten, die Fragen und Antworten sorgfältig zu lesen. Neben den persönlichen Daten, wie Geschlecht, Alter und Klasse, konnten sie auch angeben, ob sie das Thema Schall schon im Unterricht behandelt hatten.

Für die Formulierung der Fragen und Antworten wurden die Tipps von *Porst* (2014) befolgt. Er formulierte für die Fragebogenentwicklung 10 Gebote [Abb. 18]. Die Fragen wurde daher möglichst klar, einfach und kurz gestaltet und auch die Antwortmöglichkeiten derart formuliert, dass die Schülerinnen und Schüler darin ihre möglichen Ideen zur Beantwortung auch wiederfinden und sich zudem, wie schon oben angedeutet, keine Hilfestellungen für andere Fragen bzw. deren Antworten ergeben. Gebot 6 folgend, wurde der geschlossene Fragebogen so formuliert, dass er für die vierten Klassen der AHS-Unterstufe noch herausfordernd und spannend ist, aber dennoch für die ersten Klassen keine Schwierigkeit darstellt. Daher wurden auch zu schwierige Fachbegriffe vermieden und der Begriff *Vakuum* innerhalb einer beistehenden Klammer erklärt. Neben den wurden teilweise auch Formulierungen der Schülerinnen und Schülern aus den Interviews aufgegriffen um ihre Sprache zu treffen.

Zur besseren Lesbarkeit wurden die Fragen jeweils etwas dunkel unterlegt, um sie von den Antwortmöglichkeiten abzusetzen. Insgesamt waren es dreizehn Fragen, wobei die ersten zehn von allen beantwortet werden sollten und immer mehrere Antworten angekreuzt werden konnten. Vor den letzten drei Fragen stand der Vermerk: „Wenn du folgende Fragen nicht beantworten kannst, lass die Kästchen einfach leer.“ (Anhang 2 – Fragebogen), da diese thematisch etwas schwieriger waren. Frage 11 war beispielsweise

1. Du sollst *einfache, unzweideutige* Begriffe verwenden, die von allen Befragten *in gleicher* Weise verstanden werden!
2. Du sollst *lange* und *komplexe* Fragen vermeiden!
3. Du sollst *hypothetische* Fragen vermeiden!
4. Du sollst *doppelte Stimuli* und *Verneinungen* vermeiden!
5. Du sollst *Unterstellungen* und *suggestive Fragen* vermeiden!
6. Du sollst Fragen vermeiden, die auf Informationen abzielen, über die *viele Befragte mutmaßlich nicht verfügen*!
7. Du sollst Fragen mit *eindeutigem zeitlichen Bezug* verwenden!
8. Du sollst Antwortkategorien verwenden, die *erschöpfend* und *disjunkt* (überschneidungsfrei) sind!
9. Du sollst sicherstellen, dass der *Kontext einer Frage sich nicht (unkontrolliert) auf deren Beantwortung auswirkt*!
10. Du sollst *unklare* Begriffe definieren!“

Abbildung 18: 10 Gebote der Frageformulierung nach *Porst* (vgl. *Porst*, 2014, S.99f.)

eine Frage zur Gitarre. Nachdem in den Interviews der Eindruck entstand, dass doch weniger Schülerinnen und Schüler wie angenommen sich mit Akustik und Musikinstrumenten auskennen, wurde diese Frage hier eingeordnet.

Die grundsätzliche thematische Schwerpunktsetzung erfolgte auf die Interviews aufbauend. Speziell wurden natürlich jene aufgegriffen, die schon konkrete Schülervorstellungen hervorbrachten. Da die Frage nach der Vorstellung der Schülerinnen und Schüler in puncto Schallerzeugung und den damit zusammenhängenden Schwingungen etwas wage blieb, wurden dafür auf die Ergebnisse von *Wulf & Euler* (2011) zurückgegriffen, die feststellten, dass es Kindern schwer fällt, Schwingungen als Ursache von Schall zu erkennen (vgl. S42). Diese wurden als Hilfestellung für die Erstellung der siebten Frage herangezogen, ansonsten wurde, wie schon erwähnt, auf den Ergebnissen der qualitativen Studie aufgebaut.

4.6.2 Pretest

Vor der Durchführung wurde noch ein Pretest durchgeführt, denn der Fragebogen sollte vor der richtigen Durchführung noch getestet und verbessert werden. Auch *Porst* (2014) sieht diese Notwendigkeit. Er meint:

„Im Prozess der Fragebogenentwicklung ist der Pretest also eine unabdingbare Voraussetzung zur Vorbereitung der Hauptbefragung.“ (*Porst*, 2014, S. 190)

Daher wurde der Fragebogen drei Personen vorgelegt. Im ersten Fall war dies meine Frau, die ich auch um Hinweise bezüglich grammatikalischer und sprachlicher Verbesserungen, dem Layout und der Klarheit über die Aufgabenstellung bat. Im zweiten Fall waren es zwei mir bekannte Schülerinnen aus der betreffenden Altersgruppe der Studie.

Der Pretest gestaltet sich in Anlehnung an *Prost* (2014) folgendermaßen: Zunächst wurde den Testpersonen der Fragebogen vorgelegt mit der Bitte, ihn genau durchzulesen und auszufüllen. Dabei wurde primär die Zeitdauer der Befragung getestet. Zum anderen wurden die Mimik und Gestik der Personen während des Test beobachtet. So konnten Rückschlüsse auf deren Motivation und auf mögliche Verständnisschwierigkeiten getätigt werden. Diese Testung war demnach eine passive. In Anlehnung an *Prost* (2014) kommt dies einem Standardbeobachtungspretest recht nahe und ist mit diesem vergleichbar. Nur vergleichbar deshalb, weil 20 – 50 Testpersonen allein für den Pretest für diese Studie wohl eindeutig den Rahmen sprengen würden. Dem ersten passiven Test folgte ein aktiver, bei dem im Anschluss an das Ausfüllen des Fragebogens die in Abbildung 19 dargestellten Fragen gestellt wurden. So sollten Probleme bei der Bearbeitung und des Verständnisses usw., wie sie in Abbildung 19

rechts dargestellt sind, aufgedeckt werden. Die von Prost (2014) dargelegten kognitiven Pretesttechniken, waren für diese Studie nicht realisierbar und auch nicht zweckmäßig. Dennoch wurde bzgl. des Pretests auf ein paar seiner grundsätzlichen Ideen zurückgegriffen und den gegebenen Bedingungen angepasst. Die passenden Fragen für den „kognitiven“ Pretest wurden eigens für diesen Zweck zusammengestellt. (vgl. Prost, 2014, 193ff.)

War der Arbeitsauftrag klar?	→ Technische Probleme bei Fragebogen
Bei welchen Fragen, Antworten oder Begriffen hattest du Schwierigkeiten? Wo gab es Unklarheiten?	→ Verständlichkeit von Fragen, genug Antwortmöglichkeiten
Wo hattest du Probleme/Schwierigkeiten bei der Beantwortung?	→ Probleme der Befragten mit ihrer Aufgabe
Hast du bei irgendeiner Frage an eine andere gedacht?	→ Reihenfolge der Fragen/ Kontexteffekte
Wie ist es dir dabei gegangen? Hast du dich wohl gefühlt?	→ Motivation

Abbildung 19: Fragen für den „kognitiven“ Pretest

Es stellte sich zunächst heraus, dass der Fragebogen in zehn Minuten gut zu bewältigen ist und von den Testpersonen auch inhaltlich und sprachlich gut aufgenommen wurde. Die größte Änderung nach dem Pretest war daher das Umpositionieren von Fragen und auch einiger Antwortmöglichkeiten. Die Möglichkeit nach einer fünften Antwortkategorie à la *keine Ahnung* wurde bewusst weggelassen, da einerseits mit vier Antworten genügend Möglichkeit eingeräumt wurde sich zu positionieren und bewusst bestimmte – und auch schon geäußerte – Vorstellungen abgefragt werden sollten. Dies ist bei der Verwendung von geschlossenen Fragen zugegebenermaßen sicher ein Nachteil und muss daher bei der Auswertung mitberücksichtigt werden.

4.6.3 Auswahl der Stichprobe und Beschreibung des Settings

Die Kriterien für die quantitative Erhebung mittels Fragebögen bzgl. der Stichprobe war eine ähnliche wie der der qualitativen. Der Fokus lag auf der Eruierung der Vorstellungen von Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I, insbesondere aber von jenen die das Thema noch nicht im Unterricht behandelt hatte. Daher wurde, wie in der Tabelle 8 ersichtlich, der Schwerpunkt auf die ersten beiden Klassen der AHS-Unterstufe gelegt. Vom Physiklehrer der 2. Klasse wurde mir ja zugesichert, dass das Thema noch nicht im Unterricht behandelt wurde. Auch wenn der Physikunterricht mit Fehlvorstellungen aufräumen sollte, ist dies freilich nicht

gewährleistet und daher wurden auch die Schülerinnen und Schüler einer dritten und vierten Klasse befragt.

Der Grundsatz für die Stichprobe ist nach *Fischer & Krabbe* (2015) zunächst, dass sie die Gruppe, für die eine Aussage getätigt werden will, auch repräsentiert. Dies ist wie eben beschrieben auch der Fall. Zum anderen gehen die Autoren von einer Mindestanzahl von 20 Schülerinnen und Schülern für eine bestimmte Altersgruppe aus. Sollten sich innerhalb dieser Gruppe Mädchen und Burschen bzgl. der Messung stark unterscheiden, müssten es jeweils mindestens so viele von jedem Geschlecht sein. (vgl. S. 747) Ob eine solche Differenz bzgl. der Vorstellungen zum Thema Schall existiert, wird in der Auswertung beobachtet und ausgewertet werden. Grundsätzlich wird aber davon ausgegangen, dass sich die Ansichten bei diesem Thema zwischen den

Klasse		1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
Anzahl Klassen		2	2	1	1	6
Geschlecht	weiblich	23	27	14	15	79
	männlich	26	22	9	7	64
	Keine Angabe	1	0	0	1	2
Gesamt		50	49	23	23	145

Tabelle 8: Stichprobenumfang

weiblichen und männlichen Studienteilnehmern bzw. -teilnehmerinnen nicht merklich unterscheiden und daher auch nur eine dritte und nur eine vierte Klasse zur Studie herangezogen wird. Die Gesamtanzahl der Stichprobe betrug damit $n = 145$. Davon waren 79 Kinder Mädchen und 64 Buben. Zwei Teilnehmer bzw. Teilnehmerinnen machte zu ihrem Geschlecht keine Angabe. Die Bewilligung für die Studie wurde vom Stadtschulrat für Wien am 12.06.2017 ausgestellt.

Für die Umfrage wurden die Klassen mindestens zweimal aufgesucht. Beim ersten Besuch wurden die Schülerinnen und Schüler über den Sinn der Studie informiert und um deren Mitarbeit gebeten. Im gleichen Zug wurden an alle Interessierten die Informationsblätter und Einverständniserklärungen für die Eltern ausgehändigt. Waren diese wenige Tage später eingesammelt, wurde die Umfrage durchgeführt. Dies erfolgte im Mathematik- oder Physikunterricht und war inklusive der einleitenden Erklärungen zum Fragebogen in zirka 15 Minuten erledigt.

4.6.4 Auswertung

Zur Auswertung der quantitativen Studie wurde auf ein Buch von *Hadler* (2005) zurückgegriffen, indem der Autor beschreibt, wie die erhobenen Daten aufbearbeitet werden müssen (vgl. S. 3-15). So wurde mit dem Programm Excel eine Datenmatrix erstellt und die über 8000 Antworten der Schülerinnen und Schüler eingetragen und digitalisiert. Jeder Antwortmöglichkeit wurde dabei eine Variable (Spalte) zugewiesen und alle Fragebögen wurden bei der Digitalisierung durchnummeriert. Diese Fragebogennummer sowie das Alter wurden numerisch codiert. Die restlichen Codierungen sind Abbildung 20 zu entnehmen. *Nein* und *Ja* stehen dabei für eine nicht bzw. schon angekreuzte Antwortmöglichkeit.

Codeplan	
weiblich	0
männlich	1
Nein	0
Ja	1
Nicht sicher	-96
fehlende Angabe	-99

Abbildung 20: Codierregeln zur Auswertung der Fragebögen

4.7 Ergebnisse der quantitativen Studie

In diesem Kapitel werden die Antworten der Schülerinnen und Schüler zu den einzelnen Fragen des Fragebogens präsentiert. Sie werden in der Reihenfolge, wie sie auch die Schülerinnen und Schüler beantwortet haben, dargelegt. Spezielle Unterschiede innerhalb der Schulstufen oder auch geschlechterspezifische Unterschiede (aufgrund der Stichprobengröße nur in den ersten beiden Jahrgängen) wurden dafür ebenfalls analysiert und kommen – insofern sie relevante Informationen liefern – ebenfalls zur Sprache. Die folgende Ergebnispräsentation soll die Antworten der Schülerinnen und Schüler auch graphisch untermauern und ansprechend illustriert werden. Auch Tabellendarstellungen kommen dazu zum Einsatz. Der Übersicht wegen werden aber nicht alle Daten, sondern nur die interessanten Fälle angeführt. Die genauen und vollständigen Zahlen sind der Datenmatrix im Anhang zu entnehmen [4]. Dort sind sowohl die absoluten als auch prozentuellen Werte abgedruckt.

Die **erste Frage** des Fragebogens zu passenden Begriffe zum Thema Schall sollte das Interesse wecken und als Einstiegsfrage auch leicht sein. Die Antwortmöglichkeit des *Spiegels* sollte dies etwas fördern [Abb. 21]. Dennoch wurde diese Antwortmöglichkeit von 1% angekreuzt. Die richtigen Antworten *Hören* und *Töne und Geräusche* wurden von 76% bzw. 88% der Befragten angekreuzt. Bei ersterem gab es in den zweiten Klassen eine kleine Diskrepanz, da 81% der Mädchen der Meinung waren, dass Hören mit Schall zu tun habe, gegenüber 55% der Burschen. Das Stichwort der Schallwellen wurde in der Vorstudie von einem Schüler geäußert und daher in den Fragebogen aufgenommen. Überraschenderweise verbanden auch beim Fragebogen 57%

der Schülerinnen und Schüler das Stichwort mit Schall, obwohl es sich dabei um elektromagnetische Wellen handelt.

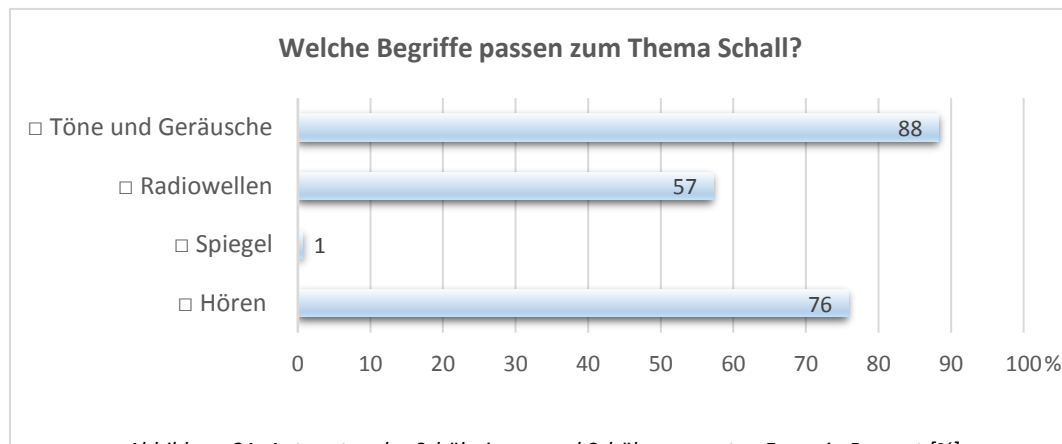


Abbildung 21: Antworten der Schülerinnen und Schüler zur ersten Frage in Prozent [%]

Eine genauere Analyse zeigt [Tabelle 9], dass diese Vorstellung besonders in den zwei zweiten Klassen vorherrschend war (65%). Im dritten Lernjahr, d.h. in der vierten Klasse, war dieser Prozentsatz schon geringer und weniger Schülerinnen und Schüler waren von der Richtigkeit dieser Antwort überzeugt, erreichte aber dennoch 43%.

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
Radiowellen	56	65	57	43	57

Tabelle 9: Antworten zur Einstiegsfrage über die Klassen in Prozent [%]

Frage 2 des Fragebogens bestätigte die schon in den Interviews ausgeforschte Vorstellungsschwierigkeit der Schülerinnen und Schüler bzgl. der Ausbreitung des Schalles in unterschiedlichen Medien. Die alltägliche Erfahrung der Ausbreitung des Schalles durch die Luft war 90% der Schülerinnen und Schüler ein Begriff und für 62% ist dies auch durch Wasser möglich [Abb. 22]. Interessanterweise entschieden sich 17% für das Vakuum und nur 10% der Kinder für Festkörper. Diese Vorstellung fällt ihnen wohl besonders schwer. Ein merklicher

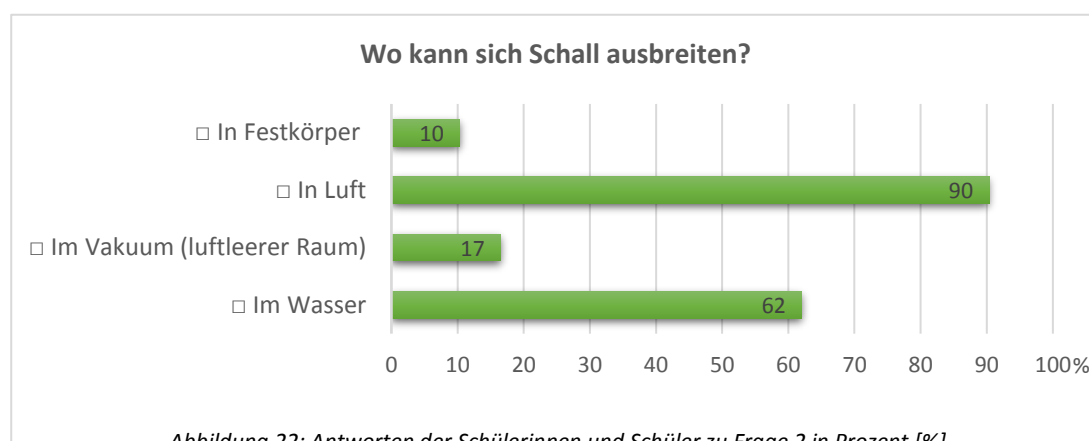


Abbildung 22: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 2 in Prozent [%]

Unterschied in der Beantwortung, differenziert nach dem Geschlecht, zeigt sich in den ersten Klassen, wo zwar 87% Mädchen, aber nur 38% der Burschen Wasser als Trägermedium für Schall sahen.

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
Im Vakuum	20	20	9	9	17
In Luft	86	92	91	96	90

Tabelle 10: Auswahl zu den Antworten der Frage 2 in Prozent [%]

Die unkorrekte Antwort Vakuum wurde in den zwei unteren Klassen [Tabelle 10] von 20% der Teilnehmer und Teilnehmerinnen beantwortet und sank in der dritten und vierten Klasse auf 9%, was wahrscheinlich doch dem Physikunterricht geschuldet sein wird. Ähnliches gilt für das Medium Luft, wobei der Prozentsatz mit steigender Schulstufe auch größer wurde. Da allerdings in der ersten Klasse nur 86% der Schülerinnen und Schüler für die Luft stimmten, ist im Umkehrschluss davon auszugehen, dass 14% mit der Vorstellung der Schallausbreitung Schwierigkeiten hatten. In der vierten Klasse sank dieser Anteil auf 4%.

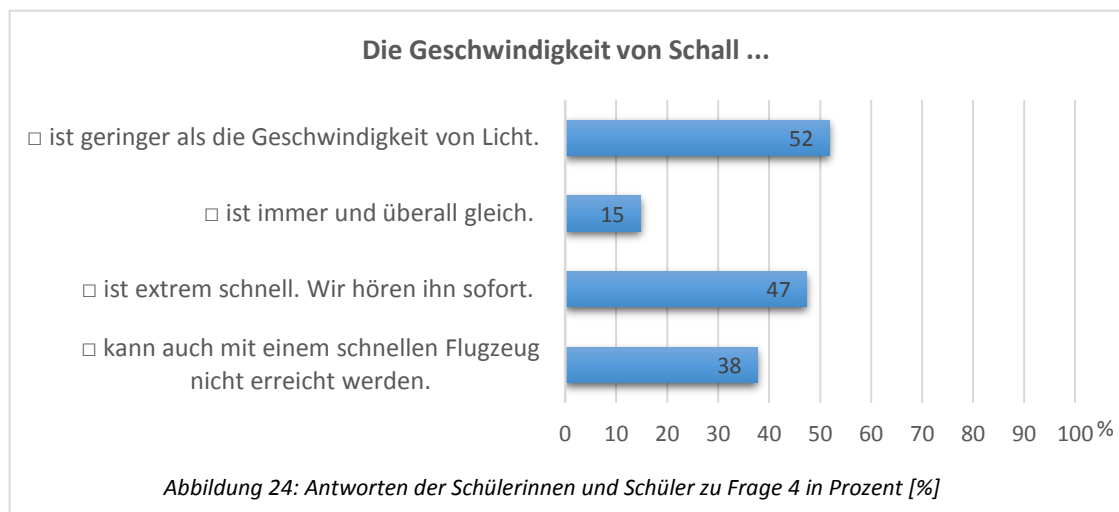
Frage 3 bestätigte, dass das Echo für Schülerinnen und Schüler ein sehr bekanntes Phänomen ist, das sie sich auch gut und richtig vorstellen können [Abb. 23]. 71% willigten dem Beispiel der Höhle ein (in der vierten Klasse dann schon 90%) und 89% der Befragten meinten, dass der Schall von einer Wand „zurückgeschickt“ wird. In der dritten und vierten Klasse waren davon alle, sprich 100%, überzeugt.



Abbildung 23: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 3 in Prozent [%]

Die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler darüber wie schnell sich Schall ausbreitet, kristallisierte sich schon bei der qualitativen Vorstudie als Problem heraus. Auch in den Ergebnissen der quantitativen Studie widerspiegelt sich dies, denn immerhin 10 Schüler und Schülerinnen (davon 8 aus der ersten Klasse) gaben bei **Frage 4** kein Statement ab. Was die

anderen antworteten, ist in der Abbildung 24 zu sehen. 38% von denen die ihre Meinung



äußerten, meinten die Schallgeschwindigkeit könne mit einem Flugzeug nicht erreicht werden und 47% meinten, sie sei extrem schnell, sodass sie sofort vernommen werde. Freilich braucht Schall Zeit um sich auszubreiten, oft sogar merkbare Zeit. Die falsche Antwort, dass er immer und überall gleich sei, kreuzten 15% aller Schüler und Schülerinnen an. Der Großteil hat diesbezüglich daher eine stimmige Vorstellung.

Was sich bei den Interviews eher schwierig gestaltete, war die Verbindung der Schallgeschwindigkeit zur Lichtgeschwindigkeit. Hier waren es im Gesamten doch 52%, die das richtige Gespür hatten. Der folgenden Tabelle 11 ist zu entnehmen, dass besonders die jüngeren Schüler und Schülerinnen damit ihre Vorstellungsschwierigkeiten hatten. Nur 33% der Erstklässler meinten, dass die Schallgeschwindigkeit geringer als die Lichtgeschwindigkeit sei. Die Zustimmung dafür steigerte sich aber bis zu 68% bzw. 64% in den oberen Klassen.

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
Schallgeschwindigkeit < Lichtgeschwindigkeit	33	55	68	64	52

Tabelle 11: Auswahl zu den Antworten der zweiten Frage in Prozent [%]

Weniger Probleme machte die **Frage 5**, ob man sich auch vor Lärm schützen kann. 94% sind dieser Meinung, nachdem nur 6% die negativ formulierte Frage ankreuzten [Abb. 25]. 79% war klar, dass Lärm unangenehm ist und auch taub machen kann. 13% stellten sich vor, dass Schall überall durchgehen kann. Näher zu analysieren ist die Ansicht, dass man Lärm dämmen kann, was insgesamt 51% vertraten. Auch hier steigerte sich der Prozentsatz mit zunehmender Schulstufe. Waren es nur 35% der Erstklässler, die meinten Lärm ist dämmbar, waren es in der vierten schon 77%. Eventuell hat dieses Ergebnis auch mit dem Wort *dämmen* zu tun, denn nach

dessen Bedeutung fragte eine Schülerin während dem Ausfüllen des Fragebogens. Sie war offensichtlich leider nicht allen klar.

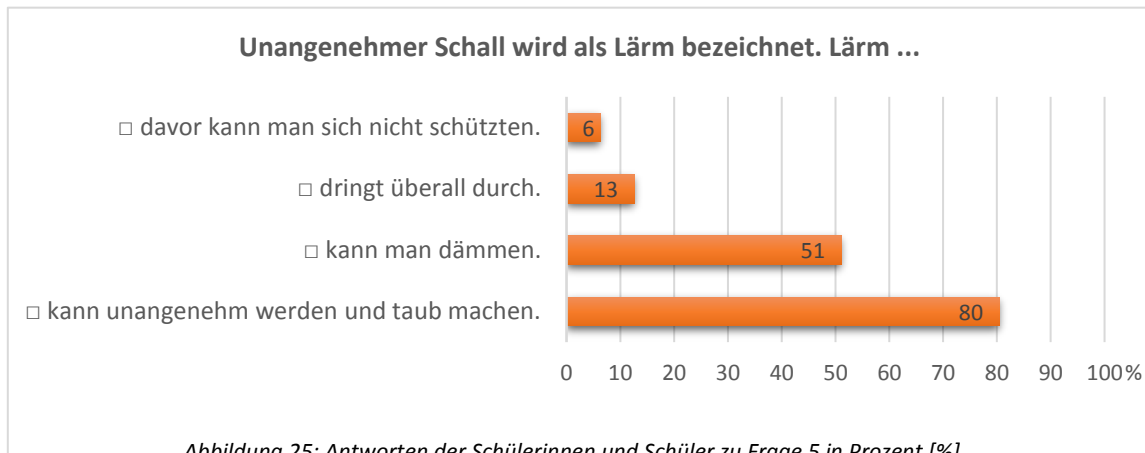


Abbildung 25: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 5 in Prozent [%]

Die Ergebnisse zur **sechsten Frage** zur Schallquelle fielen recht bemerkenswert aus. Die meistgewählten Antworten überraschten mit 60% und 51% nur insofern [Abb. 26], als der Prozentsatz höher hätte ausfallen können. Dass nur die Hälfte der Schülerinnen und Schüler Kopfhörer als Schallquelle sehen, ist doch erstaunlich. In der vierten Klasse waren es zwar 65%, was aber immer noch wenig, in Anbetracht der Tatsache, dass Kopfhörer ein sehr gebräuchlicher

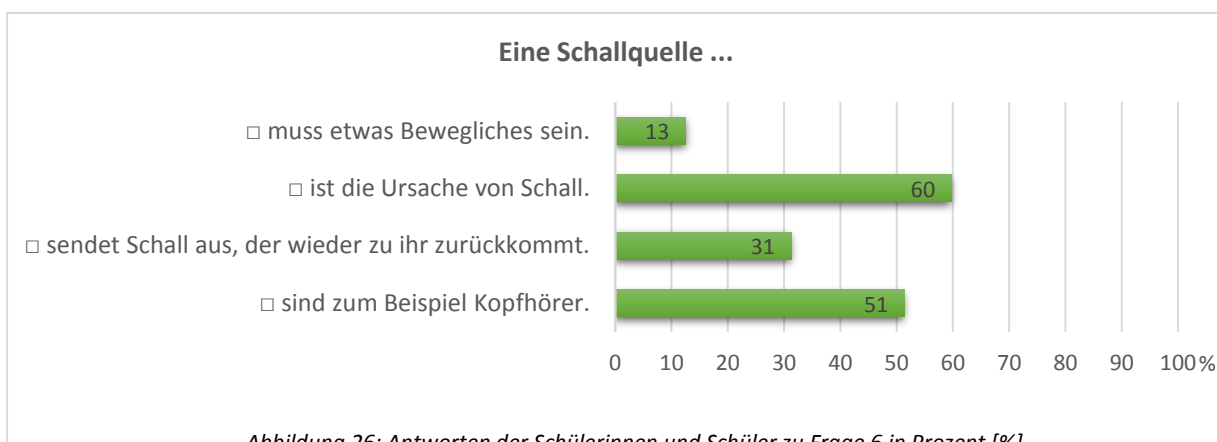


Abbildung 26: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 6 in Prozent [%]

Alltagsgegenstand der Schüler und Schülerinnen ist. Vielleicht hatten bei dieser Frage manche Kinder mit dem Begriff der Schallquelle Schwierigkeiten, was sowohl diese beiden Ergebnisse, als auch die beiden anderen erklären ließe. Denn, dass sich bei einer Schallquelle etwas bewegt, sahen nur 13% der Schüler und Schülerinnen so. Im Umkehrschluss also meinten 88% bei einer Schallquelle müsse nichts in Bewegung sein – eine klare Fehlvorstellung.

Die von *Wulf & Euler* (2011) aufgegriffene kindliche Vorstellung, dass Schall ausgesandt wird und wieder zur Schallquelle zurückkommt (vgl. S. 43), ist auch noch in der Sekundarstufe I vorzufinden. Nur die vierte Klasse liegt dabei mit einem Prozentsatz von 17% etwas geringer, alle anderen liegen im Bereich zwischen 31 und 36% [Tabelle 12].

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
☐ sendet Schall aus, der wieder zu ihr zurückkommt.	36	31	36	17	31

Tabelle 12: Auswahl zu den Antworten zu Frage 6 in Prozent [%]

Mit **Frage 7** sollten die Schülervorstellungen zu einer ursächlichen Bewegung (und mit einer Antwortmöglichkeit auch der Bewirkung einer Bewegung) vertieft werden. Insgesamt 13% der Schülerinnen und Schülern antworten verwunderlicherweise, dass sich bei einem Schlag auf eine

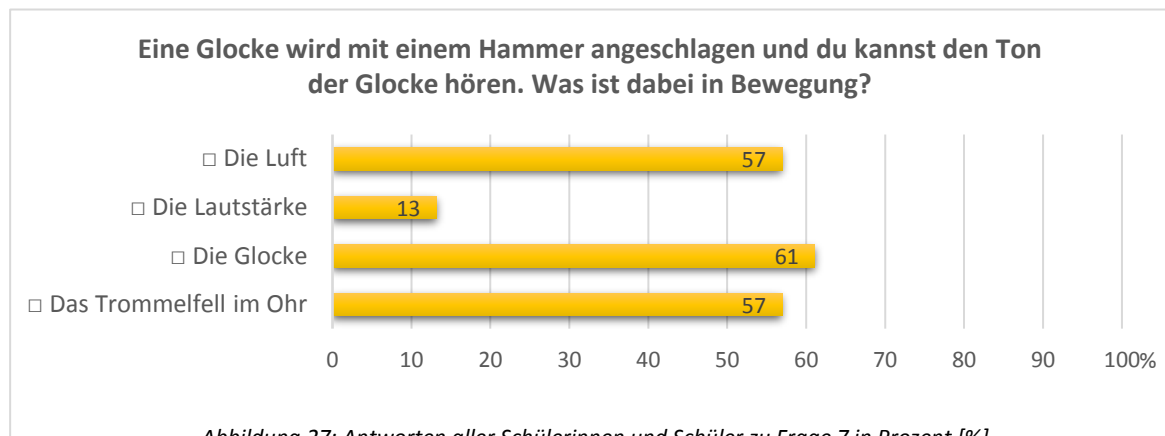


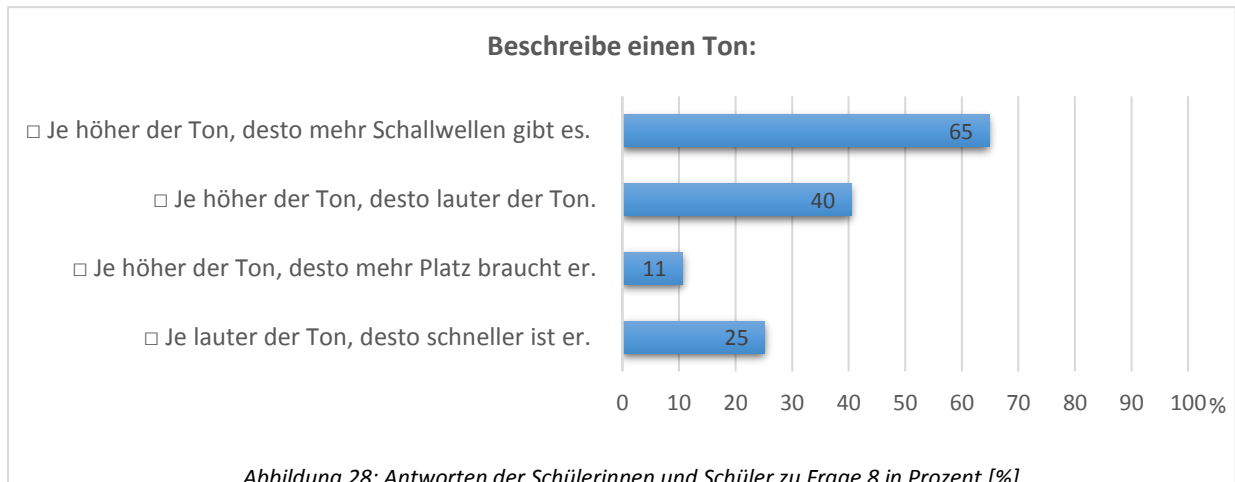
Abbildung 27: Antworten aller Schülerinnen und Schüler zu Frage 7 in Prozent [%]

Glocke die Lautstärke bewege [Abb. 27]. Warum dies sogar 27% der Zweitklässler behaupten, ist fraglich, in der vierten Klasse waren es die erhofften 0% [Tabelle 13]. Alle anderen Antworten wurden wie in der Graphik ersichtlich mit etwa 60% gewählt. Der prozentuelle Wert für Luft von 57% überrascht, da in der qualitativen Studie hier eine Vorstellungsschwierigkeit angenommen wurde. Bei genauer Betrachtung der Einzelergebnisse sieht man in Tabelle 13 jedoch, dass die Vorstellung, dass bei einem Schallereignis auch die Luft in Bewegung sei, erst mit zunehmendem Alter klarer wird. Das gleiche gilt für das Schwingen des Trommelfells.

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
☐ Das Trommelfell im Ohr	45	67	48	70	57
☐ Die Luft	41	57	78	70	57
☐ Die Lautstärke	10	27	4	0	13

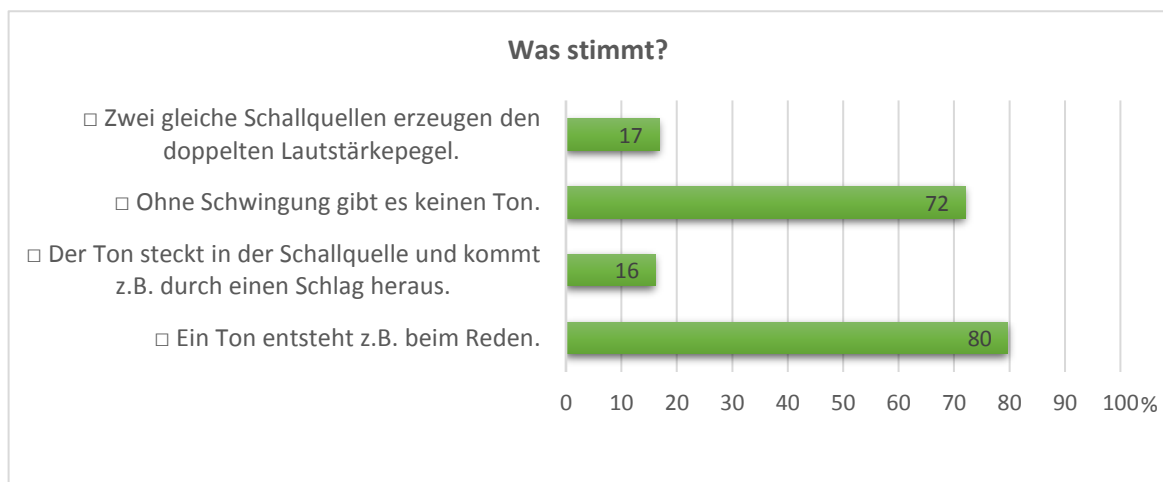
Tabelle 13: Auswahl zu den Antworten zu Frage 7 in Prozent [%]

Die Beschreibung eines Tons mit der **Frage 8** beabsichtigte, die Vorstellungen der Schülerinnen und Schüler zur Lautstärke und Frequenz von Schallwellen zu klären. Sie machte einigen Schülern und Schülerinnen Probleme, sonst hätten sie nicht 10% ausgelassen bzw. nicht beantwortet. Da Kinder in räumlichen Kategorien denken, wurde behauptet, ein hoher Ton brauche mehr Platz, was aber nur 11% ankreuzten [Abb. 28]. Der in den Interviews aufgedeckten



Vorstellung, dass lautere Töne, schneller sind, willigten immerhin 25% ein – auch noch in der vierten Klasse (23%). Noch ausgeprägter war die Vorstellung vom Zusammenhang der Lautstärke mit der Tonhöhe. 40% der Befragten hatten diese Vorstellung. Die richtige physikalische Sicht, dass ein hoher Ton eine größere Frequenz habe, das heißt „mehr Schallwellen“, wie es Schüler und Schülerinnen in den Interviews formulierten, vertraten 65% der Befragten. In der dritten Klasse wurde dabei der Maximalwert von 82% erreicht. Insgesamt hätte man sich hier aber doch ein deutlicheres Ergebnis erwarten können, aber wie erwähnt, taten sich mit dieser Frage doch einige etwas schwer.

Mit **Frage 9** wurden die Schüler und Schülerinnen um ein Statement zu unterschiedlichen, in den vorangegangenen Fragen schon angeklungenen Themen gebeten. Im Gegenteil zu Frage 6, wo nur wenige Kinder Schwingungen mit der Schallquelle in Zusammenhang brachten, waren hier doch überraschenderweise 72% der Meinung, ohne Schwingung gäbe es keinen Ton [Abb. 29].



Nur in der ersten Klasse waren es mit 63% weniger. 80% stimmten auch der Aussage zu: „Ein Ton entsteht z.B. beim Reden.“ Der Frage nach der Dopplung der Lautstärke durch eine

zusätzliche Schallquelle pflichteten nur 17% der Schülerinnen und Schüler bei. Ein Maximalwert von 26% Zustimmung war allerdings in der dritten Klasse anzutreffen. *Wulf & Euler (2011)* beschreiben die Schwierigkeit von Grundschulkindern, einen Schlag, die daraus folgende Vibration einer Glocke und den dabei entstehenden Ton zusammen zu sehen (vgl. S. 42). Die Vorstellung, dass ein Ton quasi herausgelockt wird, ist in der Sekundarstufe I etwas verbreitet. 16% der befragten Schüler und Schülerinnen diese Antwortmöglichkeit an.

Auch mit einer Antwortmöglichkeit von **Frage 10** wurde diesem geschilderten Problem noch

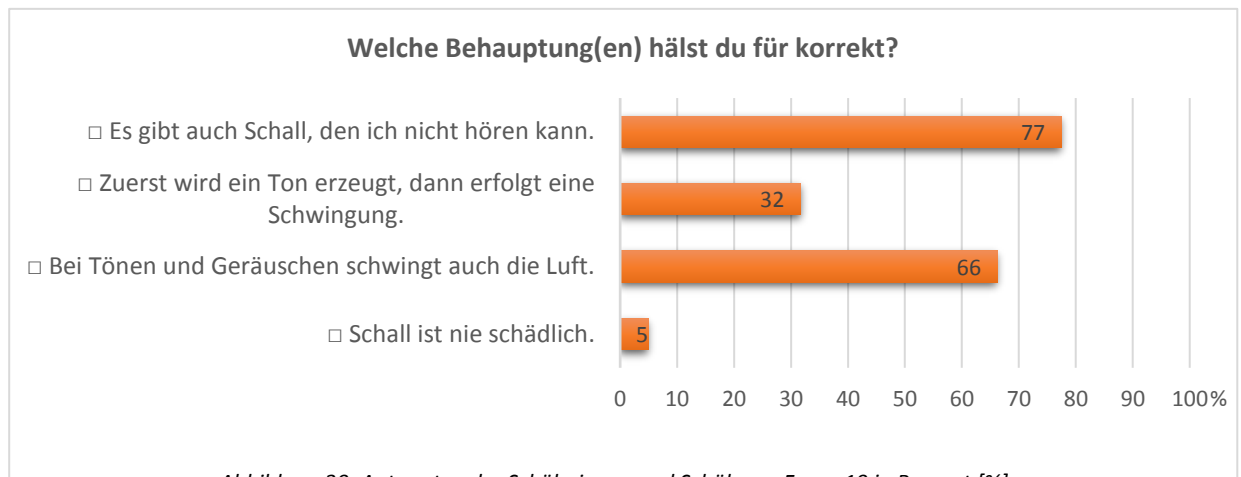


Abbildung 30: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 10 in Prozent [%]

etwas nachgegangen und so waren 32% dafür, dass eine Schwingung erst nach der Tonerzeugung entsteht (und nicht gleichzeitig) [Abb. 30]. Für diesen Prozentsatz waren die Fragebögen der Erstklässler maßgebend, da 46% von ihnen die Behauptung für richtig hielten. 77% aller Schülerinnen und Schüler pflichteten der Existenz von nichthörbarem Schall bei und 65% waren davon überzeugt, dass bei Schallereignissen auch die Luft mitschwingt. Eine genaue Analyse zeigt allerdings doch, dass sich die Kinder der ersten und zweiten Klasse mit einer Zustimmung von nur 54% bzw. 60% auffallend schwerer taten als die höheren Klassen [Tabelle 14]. Der Zuspruch von 95% zur möglichen Schädigung durch Schall war nach den Interviews zu erwarten.

Antwort	1. Klasse	2. Klasse	3. Klasse	4. Klasse	Gesamt
☐ Bei Tönen und Geräuschen schwingt auch die Luft.	54	60	87	83	66

Tabelle 14: Auswahl zu den Antworten zu Frage 10 in Prozent [%]

Die Beantwortung der letzten drei Fragen wurde den Schülerinnen und Schülern freigestellt. **Frage 11** wurde daher von insgesamt 26 Schülern und Schülerinnen nicht beantwortet (davon 23 aus der ersten und 11 Schülerinnen und Schüler aus der zweiten Klasse). Die häufigste Antwort für die gute Hörbarkeit eines Tones beim Gitarrenspielen war, dass für die Erzeugung

eines Tons eine Saite angeschlagen werden muss. Eigentlich würde man denken, dass dies doch recht einsichtig ist, aber nur 61% der antwortenden Schülerinnen und Schüler sah diese Notwendigkeit [Abb. 31]. Immerhin 37% pflichteten der Tatsache bei, dass der Gitarrenkorpus mitschwingen sollte. Für die Viertklässler war dies schon klarer, die hier mit 55% zustimmten.

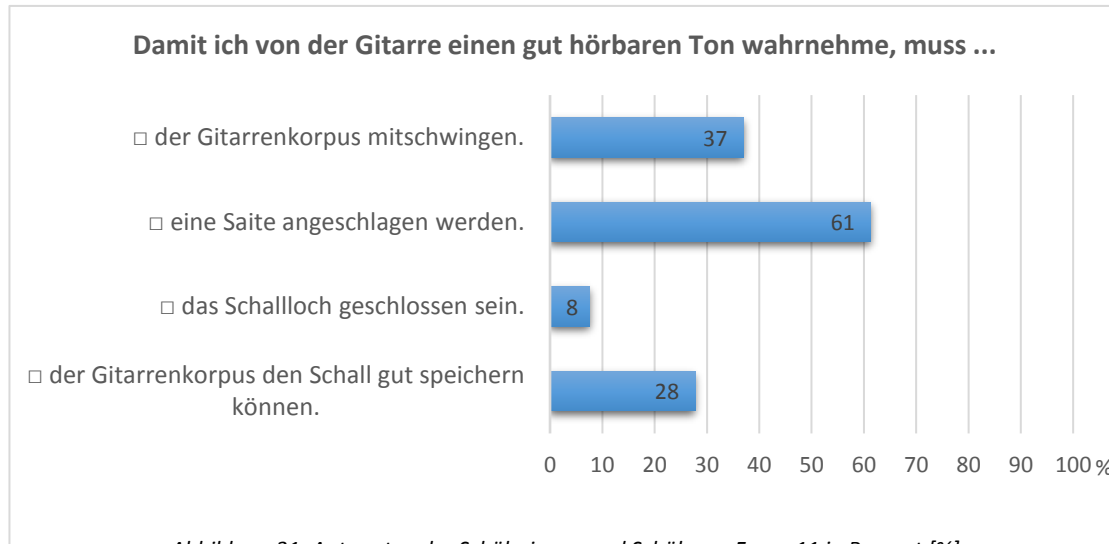


Abbildung 31: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 11 in Prozent [%]

Die in den Interviews aufgenommenen Behauptungen, dass das Schallloch geschlossen sein muss und der Gitarrenkorpus den Schall gut speichern können muss, pflichteten 8% aller bzw. 28% der Schüler und Schülerinnen, die ihre Meinung dazu abgaben, bei. Mit der letzten falschen Behauptung, der guten Speicherkapazität des Gitarrenkorpus, konnte doch knapp ein Drittel etwas anfangen.

Die zweitletzte Frage zu den Fledermäusen, war – wie es auch schon in den Interviews anklang – kein großes Problem für die Schülerinnen und Schüler. Lediglich neun Schülerinnen und Schüler (davon fünf aus der ersten Klasse) verzichteten auf die Beantwortung der **Frage 12**. Den anderen war das Phänomen recht bekannt, was auch Abbildung 32 zu entnehmen ist. Nur 5% kreuzten

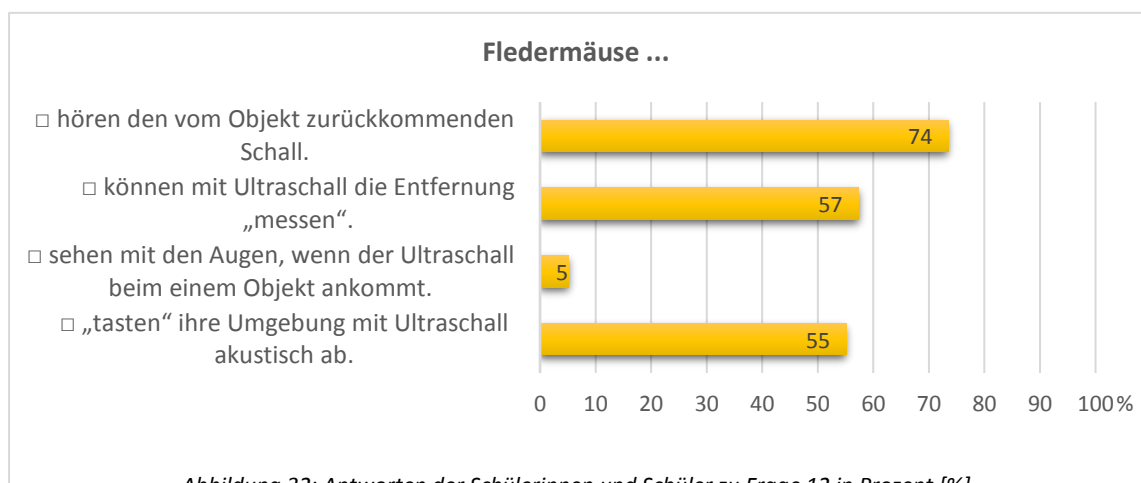
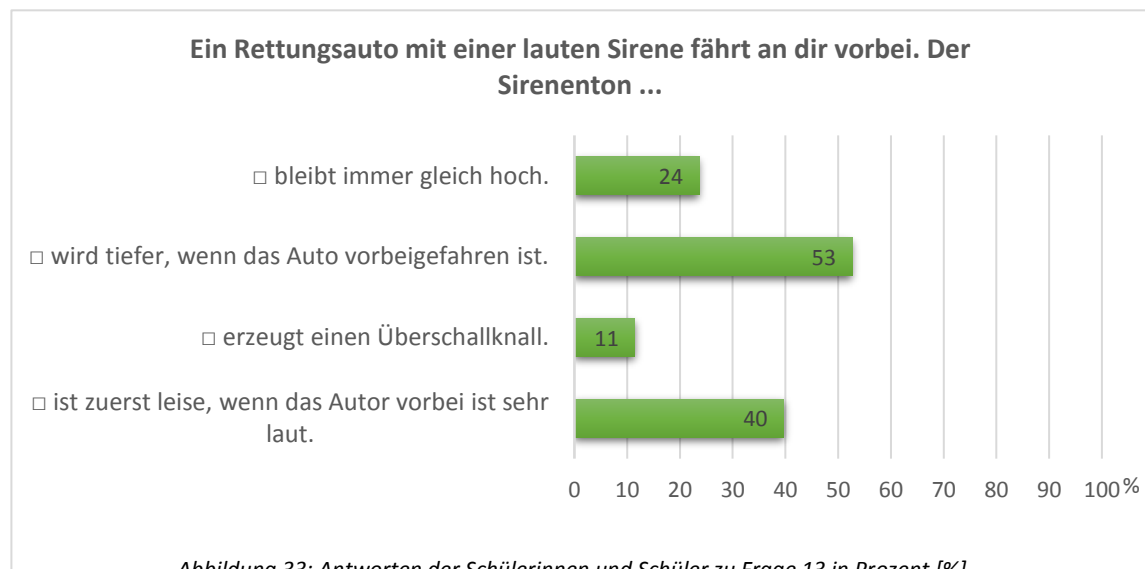


Abbildung 32: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 12 in Prozent [%]

die falsche Antwort an. In der dritten und vierten Klasse ließ sich kein einziger Schüler bzw. keine einzige Schülerin von dieser Antwort irritieren (0%). Von den Viertklässlern waren auch 95% überzeugt, dass Fledermäuse den reflektierten Schall wahrnehmen. Insgesamt waren dies 74% der Schülerinnen und Schüler. Auch die beiden anderen richtigen Antworten fanden mit 57% und 55% doch einiges an Zustimmung.

Die letzte Frage, **Frage 13**, zum Dopplereffekt wurde von insgesamt 14 Schülerinnen und Schülern nicht beantwortet. Wie auf Abbildung 33 zu erkennen, meinten 24% der antwortenden Schüler und Schülerinnen der Sirenenton eines vorbeifahrenden Autos bleibe immer gleich hoch und 53% er werde dann tiefer. Überraschend waren die 40%, die ankreuzten, der Ton sei nach dem Vorbeifahren des Autos lauter. In der dritten Klasse meinten das nur 14% (Minimalwert) in der zweiten doch 54% (Maximalwert).



5 Diskussion der Ergebnisse im Forschungskontext

5.1 Ergebnisse im Blick auf die erste Forschungsfrage

Wie die Interviews im Rahmen der qualitativen Studie zeigten, haben Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I doch einiges zum Thema Schall zu sagen. Die Interviews sind von daher recht gut verlaufen und haben einiges ans Licht gebracht. Vorwiegend teilten die Schülerinnen und Schüler Erfahrungen, die sie aus Alltag, Fernsehsendungen oder anderen Fächern kennen und daher kann man wohl sagen, dass Schall ein Thema ist, das für sie beim Einstieg in den Physikunterricht grundsätzlich bekannt und meist auch recht vertraut ist. Viele Assoziationen zum Thema Schall waren dabei interessanterweise aus der Biologie. Das Gehör, die Stimme und die Orientierung der Fledermäuse mittels Ultraschall kamen so zur Sprache. Beispiele aus dem Bereich der Musik hingegen brachten interessanterweise spontan nur wenige zur Sprache, obwohl die Schülerinnen und Schüler damit tagtäglich konfrontiert sind.

Von Schallwellen wiederum hatten auch einige gehört und wohl daher selbst assoziativ vorgebracht. Der Begriff wurde von den Schülerinnen und Schülern immer wieder zur Argumentation herangezogen. Auch Schüler und Schülerinnen, die entweder noch keinen Physikunterricht besuchen oder das Thema noch nicht durchgenommen hatten, argumentierten damit und brachten auch bildliche Vorstellungen vor. Kenntnisse zu wesentlichen charakteristischen Größen für die Beschreibung der Schallwellen fehlten allerdings größtenteils und daher war es für die Schülerinnen und Schüler natürlich auch schwer, einen tiefen und hohen Ton begrifflich voneinander zu unterscheiden.

Die Rolle der Luft als Trägermedium für Schall strichen die Kinder im Rahmen der Interviews nicht hervor. Für die Erklärung eines Schallereignisses war sie für die Schülerinnen und Schüler nicht zentral. Bei genauerem Nachfragen attestierten sie dem Trägermedium Luft doch ihre Bedeutung für die Ausbreitung von Schall. Auf Luftbewegung oder Luftdruckschwankungen kamen sie dabei nicht zu sprechen. Wie Schall grundsätzlich – auch von ihnen selbst – erzeugt werden kann, war für die Kinder wiederum keine schwere Frage. Dass sich dabei etwas bewegt oder auch vibriert, wurde in den Interviews nur von wenigen Schülern und Schülerinnen erwähnt und daher auch im zweiten Teil der Studie nochmal nachgegangen, gleich wie der Frage nach anderen Trägermedien.

Grundsätzlich waren den Schülerinnen und Schülern einige Phänomene aus dem Gebiet des Schalles bekannt. Sie wussten im Normalfall, dass der menschliche Hörbereich begrenzt ist und

konnten beispielsweise das Echo gut erklären. Auf das sehr naheliegende Wetterphänomen von Blitz und Donner auf der anderen Seite, kam nur ein Schüler von sich aus zu sprechen. Dafür konnten fast alle – manche mit etwas Hilfe – das vorgelegte Ultraschallbild deuten und dessen Zustandekommen zum Großteil erklären, wenngleich einzelne Schüler und Schülerinnen Schwierigkeiten hatten, sich vorzustellen wie mit Schall ein Bild erzeugt werden könne. Einzelne Kinder verwechselten die Ultraschalldiagnostik mit Röntgen.

Die Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler zur Schädigung durch Schall waren recht erfreulich, da sie einhellig von einer möglichen Schädigung des Gehörorgans Bescheid wussten. Auf die nicht unproblematischen psychologischen Auswirkungen müsste man hier im Physikunterricht noch verweisen.

Insgesamt zeigte sich bei allen Schülerinnen und Schülern ein Fundus an Grundkenntnissen zum Thema Schall, auf dem im Unterricht sehr gut aufgebaut werden kann. Einige Schülervorstellungen sollten dabei aber berücksichtigt werden.

5.2 Ergebnisse im Blick auf die zweite Forschungsfrage

Diese sollen in diesem Kapitel zur Sprache kommen. Eine Schülervorstellung, die sich aus den Interviews ergab und im Fragebogen wieder aufgegriffen wurde, war jene, dass der Begriff Radiowellen zum Thema Schall passe. Dies war doch ein recht überraschendes und unerwartetes Ergebnis. Die Tücke dabei ist vielleicht der Begriff *Radiowellen*. Es liegt nahe, dass Schülerinnen und Schüler dabei einerseits vielleicht an einen Radio denken, mit dem man Musik hören kann und andererseits ahnen oder wissen, dass sich Schall wellenförmig ausbreitet. Gemeinsam kommt es dabei zur falschen Vorstellung, die elektromagnetischen Radiowellen mit Schall zu verknüpfen.

Bei den Ergebnissen dieser – und auch bei anderen folgenden – Fragen war mit einem Blick auf alle vier befragten Jahrgänge doch eine grundsätzliche Tendenz feststellbar. Wurden physikalisch falsche Vorstellungen geäußert, waren zwischen jenen, die das Thema Schall im Unterricht noch nicht behandelt hatten und jenen, die schon darüber gelernt hatten und auch schon länger im Fach Physik unterrichtet wurden, ein merklicher Unterschied festzustellen. Konkret konnte also aufsteigend von den ersten beiden Klassen (1.+2.) zu den oberen beiden Klassen der Unterstufe (3.+4.) eine *Abnahme der falschen Vorstellungen* festgestellt werden. Ein Beispiel dafür stellt die Verwechslung der Schall- mit den Radiowellen dar.

Ähnlich war dies bei Vorstellungen zur Schallausbreitung, wo sich die Schülerinnen und Schüler der ersten beiden Klassen eindeutig öfters dafür entschieden, dass sich Schall auch im Vakuum

ausbreiten kann und umgekehrt jene der höheren Klassen überzeugter davon waren, dass sich Schall in Luft ausbreite. Bei der Vorstellung von Wasser als Trägermedium waren einige skeptischer aber am meisten hatten die Schüler Probleme mit *Festkörper*: In den Interviews äußerten noch manche, die Möglichkeit dafür. Im Zuge der quantitativen Studie konnte jedoch die Schülervorstellung, dass Schall sich nicht durch Festkörper ausbreitet, klar eruiert werden.

Bezüglich der *Schallgeschwindigkeit* konnte mit der quantitativen Studie, die nach der Interviewauswertung aufgestellte These, dass sich die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I schwer damit tun, diese zu quantifizieren, bestätigt werden. Fast die Hälfte der befragten Schüler und Schülerinnen waren davon überzeugt, Schall sofort zu hören und daher folgerichtig auch viele der Meinung, dass sie mit einem Flugzeug nicht zu erreichen sei. Der Anteil von jenen Schülerinnen und Schülern, die die Frage gar nicht beantworteten und die Unsicherheit vieler darüber, ob sie geringer als die Lichtgeschwindigkeit sei, bestätigte die Vermutung der Vorstellungsschwierigkeit der Schülerinnen und Schüler in puncto Schallgeschwindigkeit.

Bereits in den Interviews konnte erforscht werden, wie sich Schüler und Schülerinnen über das Erzeugen von Schall denken. Sie fanden dazu recht alltägliche Beispiele. Dass in der quantitativen Untersuchung nur etwa die Hälfte der Kinder Kopfhörer als Schallquelle sahen, ist sehr verwunderlich. Womöglich sahen sie darin nur ein Objekt, das die im Smartphone abgespielte Musik weitergibt. Klar stellte sich die Schülervorstellung heraus, dass eine Schallquelle für Schülerinnen und Schüler *nichts Bewegliches* sein muss. Auch die von *Wulf & Euler* (2011) aufgegriffene Schülervorstellung für die Grundschule, dass Schall ausgesandt wird und wieder zur Schallquelle zurückkommt (vgl. S. 43), konnte bestätigt werden, allerdings auch hier wieder mit einer klar abfallenden Tendenz hin zur vierten Klasse.

Die nach den Interviews aufgestellte These von der Vorstellungsschwierigkeit der Schülerinnen und Schüler bezüglich der Wirkung von Schall auf die Luft, relativierte sich durch die Antworten zu Frage 7 des Fragebogens. Dort behauptete doch ein Großteil der Schüler und Schülerinnen, dass sich dabei auch die Luft bewege und Schall demgemäß nicht eine eigene Entität sei, die sich durch die Luft fortpflanzt, sondern eben mit und in Verbundenheit mit dieser in Erscheinung treten kann. Nur in der ersten Klasse gab es dafür eine geringere Zustimmung. Die ganze Stichprobe einbeziehend musste die These aufgrund der ermittelten Zustimmung aber fallengelassen werden, denn auch mit Frage 10 bestätigte ein Großteil der Schülerinnen und Schüler noch einmal ihre Sichtweise, dass auch die *Luft schwingt*.

Die Schülervorstellung, dass *höhere Töne lauter* sind, beruht wohl auf biologischen Ursachen. In Kapitel 2.9 wurde auf die ungleiche Wahrnehmung unterschiedlicher Frequenzen hingewiesen und diese sind es, welche die Schülerinnen und Schüler zu diesem Schluss kommen lassen. Physikalisch müsste es natürlich heißen, je höher der Ton desto höher die Frequenz und nicht die Lautstärke. Auch die Vorstellung, dass *laute Töne schneller* sind, fand doch von einigen Schülerinnen und Schüler ihre Zustimmung und ist daher auch den Schülervorstellungen zuzuordnen.

Im Rahmen der quantitativen Studie sollte die Vorstellung der Schülerinnen und Schüler, dass sich bei einer Schallquelle nichts bewege, genauer erforscht und deren Verbreitung unter Schülerinnen und Schüler festgestellt werden. Eine Bewegung können sie sich im Rahmen eines Schallereignisses schwer vorstellen. Wurde die Darbietung des Sachverhalts allerdings etwas konkretisiert und nach einem Ton bzw. damit zusammenhängenden Schwingungen gefragt, fand dies recht viel Zustimmung. Bei dieser Konkretisierung könnte womöglich auch der Gedanke an die Tonerzeugung mit einem Instrument für Klarheit geschaffen haben. Trotzdem wurde diesbezüglich aber eine andere Schülervorstellung aufgedeckt, da einige Schülerinnen und Schüler die Schwingung zeitlich nicht mit Tonerzeugung gleichsetzten. Sie waren davon überzeugt, dass *zuerst der Ton* erzeugt und erst *dann eine Schwingung* erfolgt.

Die Behauptung, dass *zwei gleiche Schallquellen* gemeinsam den doppelten Lautstärkepegel erzeugen, willigte zwar ein recht geringer Teil der Schülerinnen und Schüler ein, kann aber dennoch als Schülervorstellung gesehen werden, die sogar in der dritten Klasse der Unterstufe noch für viel Zustimmung fand.

Nun noch zu zwei weiteren Beispielen: Die Äußerungen zur Gitarre zeigen, dass die Vorstellungen über einen *Resonanzkörper* recht wage sind. Mehrere Schülerinnen und Schüler sahen im Gitarrenkörper eine Art Speichermedium und auch die Relevanz dessen Schwingfähigkeit für die Erzeugung eines gut hörbaren Tons, wurde nicht gesehen. Dass der *Sirenenton* eines vorbeifahrenden Rettungsautos *gleich hoch* bleibt, konnte als letzte Schülervorstellung eruiert werden.

6 Abschlussresümee

Das Ziel dieser Arbeit war es, einen Beitrag zur fachdidaktischen Forschung zu leisten. Die bisher wenig erforschten Vorstellungen der Schüler und Schülerinnen im Gebiet des Schalls standen dabei im Fokus. Aufgrund der diesbezüglich spärlichen Datenlage wurde daher zunächst mittels Interviews ergründet, was Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I zu diesem Thema zu sagen haben. Es wurden ihre Assoziationen und Vorkenntnisse erkundschaftet und dabei festgestellt, dass die Kinder zu dieser konkreten physikalischen Thematik einiges wissen. Nicht nur deren tagtägliche Konfrontation mit dem Thema, sondern auch die Informationen aus Fernsehen und anderen Unterrichtsfächern, konkret der Biologie oder Musik, waren für sie die Basis ihrer Äußerungen. Die Beschreibung und Erklärung bestimmter Phänomene gestaltete sich dabei für die Schülerinnen und Schüler unterschiedlich schwer. Das Phänomen des Echos stellte keine Schwierigkeit dar, ein vorgelegtes Ultraschallbild hingegen schon eher und so wurde auch mit Beispielen aus der Musik und der Beschreibung eines Tons unterschiedlich umgegangen. Die Assoziationen und Vorkenntnisse der Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I im Überblick waren:

- Schall hat etwas mit dem Gehör zu tun
- Auch der Begriff der Schallwellen ist dabei zentral
- Fledermäuse und Delphine nutzen Schall
- Schall wird in erster Linie durch Reden oder durch Zusammenschlagen von Gegenständen erzeugt
- Die Ausbreitung von Schall erfolgt in alle Richtungen oder in die Sprechrichtung
- Schall kann sich auch über oder um ein Haus ausbreiten
- Beim Echo handelt es sich um „abgeprallten“ wiederkehrenden Schall
- Die Begrenzung des menschlichen Hörvermögens ist von der Lautstärke abhängig, außerdem hören wir den Ultraschall von Fledermäuse oder Hundepfeifen nicht
- Bei der Ultraschalldiagnostik prallt Schall ab und so entsteht ein Bild des Fötus
- Die Unterscheidung eines hohen und tiefen Tons ist schwierig
- Ein Resonanzkörper macht die Gitarre lauter
- Schall kann das Trommelfell zerstören
- Vor Schall kann man sich durch das Zuhalten der Ohren schützen
- Die Sirene eines Rettungsaautos wird beim Vorbeifahren leiser
- Schall braucht zur Ausbreitung etwas Zeit

Insgesamt kann zu den Assoziationen und Vorkenntnissen damit festgehalten werden:

- Die Schülerinnen und Schüler der Sekundarstufe I verfügen über eine gute Basis an Grundkenntnissen zum Thema Schall, auf die im Unterricht sehr gut aufgebaut werden kann.
- Besonders Beispiele aus der Biologie faszinieren sie.
- Viele Kinder kennen den Begriff der Schallwellen bereits und haben eine bildliche Vorstellung dazu, wenngleich die Argumentation damit schwerfällt.
- Dem Trägermedium Luft weisen sie erst sekundär eine Bedeutung zu.

Schwierigkeiten hatten die Schüler und Schülerinnen zudem beim Begriffspaar hoch-laut, bei der Vorstellung der Schallausbreitung durch Flüssigkeiten und Festkörper, der Fassbarkeit der Schallgeschwindigkeit und dem Erstellen eines Sonogramms, da dabei mit Schall ein Bild gemacht wird.

Im Zuge der zwölf Interviews konnten ebenso einige Schülervorstellungen festgestellt werden. Jene, die keiner weiteren Untersuchung unterzogen wurden bzw. werden konnten, werden nun dargestellt. Die anderen folgen weiter unten bei den Ergebnissen zur zweiten Studie. Die in der ersten Studie erforschten Schülervorstellungen lauten:

- Ein Sonogramm wird mittels Röntgen erstellt.
- Die Funktion eines Gitarrenkorpus hat praktisch-ästhetische Gründe oder dient zum Speichern des Schalls.
- Auswirkungen des Schalles auf die Psyche sind möglich.
- Die Ursache für Schallwellen muss keine Bewegung oder Schwingung sein.

Dies sind einige Schülervorstellungen, die im Rahmen der zwölf Interviews eruiert werden konnten. Andere konnten mittels Triangulation der qualitativen Vorstudie mit Fragebögen stichhaltiger erforscht werden. In einem Fall musste eine aufgestellte These verworfen werden, da festgestellt wurde, dass die Schülerinnen und Schüler die Funktion der Luft bei der Ausbreitung von Schall sehr wohl beurteilen können. Insgesamt brachte die quantitative Studie, wie auch dieses Beispiel zeigt, damit die gewünschte Validierung der Ergebnisse der Vorstudie, besonders der Schülervorstellungen zum Thema Schall.

Der Großteil der Schülervorstellungen, der mit der zweiten Studie überprüft wurde, entstammte also der qualitativen Vorstudie. Einzelne wurden auch von *Wulf & Euler* (2011) aufgegriffen und der quantitativen Überprüfung unterzogen.

Die eruierten Schülervorstellungen, die mittels der Fragebögen für die Sekundarstufe I eruiert werden konnten, sind:

- Radiowellen gehören zum Gebiet des Schalls.
- Auch Vakuum ist ein Trägermedium für Schall, durch Festkörper breitet sich Schall nicht aus.
- Die Schallgeschwindigkeit ist mit einem schnellen Flugzeug nicht zu erreichen.
- Eine Schallquelle muss nichts Bewegliches sein.
- Der von einer Schallquelle ausgesandte Schall, kommt auch wieder zu ihr zurück.
- Höhere Töne sind lauter als tiefere.
- Laute Töne sind schneller als leise.
- Zuerst wird ein Ton erzeugt, dann erfolgt die Schwingung.
- Zwei gleiche Schallquellen erzeugen den doppelten Lautstärkepegel.
- Der Resonanzkörper einer Gitarre speichert den Schall.
- Die Tonhöhe der Sirene eines vorbeifahrenden Rettungsautos bleibt gleich.

Mit einer Stichprobe von 145 Schülerinnen und Schüler konnte mittels der Fragebögen gute Ergebnisse erzielt werden. Die genaue Analyse der Ergebnisse brachte dabei aber innerhalb der Sekundarstufe I einen Unterschied ans Licht. Mit zunehmendem Alter bzw. Physikunterrichtspraxis war eine nachweisbare Abnahme der eben dargestellten Schülervorstellungen festzustellen. Zwar war der Stichprobenumfang der dritten und vierten Klasse kleiner, die Differenz zu den beiden ersten Klassen der Unterstufe war dennoch nachweisbar. In den ersten beiden Klassen, die im eigentlichen Fokus der Studie standen, waren die – in diesem Fall vorunterrichtlichen – Schülervorstellungen ganz klar stärker ausgeprägt. Geschlechterunterschiede konnten aufgrund der beschriebenen Stichprobengröße nur in den zwei jüngeren Klassen aufgestellt werden, zeigten aber nur in einzelnen Fällen kleine und daher unerhebliche Unterschiede innerhalb der Kohorte.

Abschließend ist zu der Studie insgesamt noch folgendes zu sagen: Die Größe der Stichprobe von 145 Schülerinnen und Schüler und die Beschränkung des Forschungsfeldes auf nur eine Schule sind sicherlich zwei wesentliche und hier abschließend zu erwähnende Unzulänglichkeiten. Die Vergrößerung des Teilnehmer- und Teilnehmerinnenkreises, sowie die Erweiterung der Untersuchung auf andere Schulen innerhalb Wiens, oder auch am Land, hätte sicherlich noch differenziertere Ergebnisse gebracht. Die im Zuge dieser Studie eruierten Schülervorstellungen sind dennoch mit ähnlicher Ausprägung auch bei anderen Schülern und Schülerinnen dieses Alters erwartbar und sollten daher auch in die Planung des Physikunterrichts miteinbezogen

werden. Eine Garantie für die Vollständigkeit der Schülervorstellungen zum Thema Schall, kann die Studie allerdings nicht liefern. Eine weitere Studie mit einem anderen Forschungssetting könnte vielleicht noch andere Schülervorstellungen zum Thema Schall aufdecken.

7 Literaturverzeichnis

- Allmark, P. (2002). The Ethics of Research with Children. *Nurse Researcher*, 10(2), 7-19.
- Bahr, B., Resag, J., & Riebe, K. (2013). *Faszinierende Physik*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
- Bergmann, L., & Schaefer, C. (2008). *Lehrbuch der Experimentalphysik: 1. Mechanik - Akustik - Wärme*. Berlin: de Gruyter.
- BMB. (2003). *Lehrpläne der AHS-Unterstufe*. Retrieved 5 4, 2017, from https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/ahs16_791.pdf?5te5g0
- BMB. (2004). *Lehrpläne der AHS-Oberstufe*. Retrieved 5 3, 2017, from https://www.bmb.gv.at/schulen/unterricht/lp/lp_neu_ahs_10_11862.pdf?5te97s
- BMB. (2017). *Berufsbildende Schulen, Downloads*. Retrieved 5 3, 2017, from <https://www.abc.berufsbildendeschulen.at/downloads/?kategorie=10>
- Demtröder, W. (2008). *Experimentalphysik 1 - Mechanik und Wärme*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Dresing, T., & Pehl, T. (2013). *Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende* (5. ed.). Marburg.
- Duit, R. (1995). Zur Rolle der konstruktivistischen Sichtweise in der naturwissenschaftsdidaktischen Lehr- und Lernforschung. *Zeitschrift für Pädagogik* 41, Heft 6, 905-923.
- Duit, R. (2000). Konzeptwechsel und Lernen in den Naturwissenschaften in einem mehrperspektivischen Ansatz. In R. Duit, & C. von Rhöneck, *Ergebnisse fachdidaktischer und psychologischer Lehr-Lern-Forschung* (pp. 77-103). Kiel: IPN.
- Duit, R. (2010). *Piko-Briefe. Der fachdidaktische Forschungsstand kurzgefasst*. Retrieved from <http://www.ipn.uni-kiel.de/de/das-ipn/abteilungen/didaktik-der-physik/piko/pikobriefe032010.pdf> am 15.04.2017
- Duit, R. (2011). Alltagsvorstellungen berücksichtigen. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (3. ed., pp. 3-7). Köln: Aulis.
- Duit, R. (2011). Schülervorstellungen - von Lerndefiziten zu neuen Unterrichtsansätzen. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (3. ed., pp. 8-14). Köln: Aulis.
- Duit, R. (2015). Alltagsvorstellungen und Physik lernen. In R. Duit, E. Kirchner, R. Girwidz, & P. Häußler (Eds.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (3. ed., pp. 657-680). Berlin: Springer.
- Fischer, H. E., & Krabbe, H. (2015). Empirische Forschung in der Physikdidaktik. In E. G. Kircher (Ed.), *Physikdidaktik: Theorie und Praxis* (pp. 727-758). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Flick, U. (2007). *Qualitative Sozialforschung, Eine Einführung*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Verlag.

- Gropengießer, H. (1997). Schülervorstellungen zum Sehen. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 3 (1), 71-87.
- Gropengießer, H. (2008). Qualitative Inhaltsanalyse in der fachdidaktischen Lehr-Lernforschung. In M. Gläser-Zikuda, & P. Mayring (Eds.), *Die Praxis der Qualitativen Inhaltsanalyse* (2 ed., pp. 172-189). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Günther, B., Hansen, K., & Veit, I. (2008). *Technische Akustik – Ausgewählte Kapitel: Grundlagen, aktuelle Probleme und Messtechnik*. Renningen: Expert.
- Hadler, M. (2005). *Quantitative Datenanalyse für Sozialwissenschaftler*. Wien: LIT Verlag.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Halliday Physik Bachelor-Edition*. (S. W. Koch, Ed.) Weinheim: Wiley-VCH.
- Herbst, C. T., Stoeger, A. S., Frey, R., Lohscheller, J., Titze, I. R., Gumpenberger, M., & Fitch, W. T. (2012, August 3). How low can you go? Physical production mechanism of elephant infrasonic vocalizations. *Science*, pp. 595-599.
- Hering, E., Martin, R., & Stohrer, M. (2016). *Physik für Ingenieure*. Berlin: Springer.
- Höttecke, D. (2001). Die Vorstellungen von Schüler und Schülerinnen von der "Natur der Naturwissenschaften". *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 7-23.
- Jung, W. (1981). Zur Bedeutung von Schülervorstellungen für den Unterricht. In R. Duit, W. Jung, & H. Pfundt, *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht* (pp. 1-23). Köln: Aulis.
- Jung, W. (2011). Alltagsvorstellungen und das Lernen von Physik und Chemie. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (pp. 15-19). Köln: Aulis.
- Kadner, I. (1994). *Akustik in der Schulphysik*. Köln: Aulis Verlag Deubner.
- Kattmann, U., Duit, R., Gropengießer, & H. & Komorek, M. (1997). Das Modell der Didaktischen Rekonstruktion - Ein Rahmen für naturwissenschaftsdidaktische Forschung und Entwicklung. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften* 3/3, 3-18.
- Kircher, E., Girwidz, R., & Häußler, P. (2015). *Physikdidaktik: Theorie und Praxis*. Berlin, Heidelberg: Springer.
- Lamnek, S. (2010). *Qualitative Sozialforschung* (5. ed.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Maichle, U. (1981). Beiträge der kognitiven Psychologie zur Analyse von Vorstellungen. In R. Duit, W. Jung, & H. Pfundt, *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht* (pp. 24-63). Köln: Aulis.
- Mathelitsch, L., & Verovnik, I. (2004). *Akustische Phänomene*. Wien: öbv.
- Mayring, P. (2001). Kombination und Integration qualitativer und quantitativer Analyse. (M. Schreier, & N. Fielding, Eds.) *Forum Qualitative Sozialforschung*(2(1), Art. 6). Retrieved from <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/967/2111>

- Mayring, P. (2002). *Einführung in die Qualitative Sozialforschung, Eine Anleitung zu qualitativem Denken* (5. ed.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Mayring, P. (2010). *Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken* (11. ed.). Weinheim, Basel: Beltz Verlag.
- Mayring, P. (2010b). Qualitative Inhaltsanalyse. In G. Mey, & K. Mruck (Eds.), *Handbuch Qualitative Forschung in der Psychologie* (pp. 601-613).
- Meschede, D. (2010). *Gerthsen Physik* (24. ed.). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Mückenfuß, H. (Ed.). (2009). *Physik interaktiv*. Berlin: Cornelsen.
- Neuwirth, J. (2002). *Schall wahrnehmen und aufzeichnen – Akustik im Unterricht*. Wien.
- Nocke, C. (2014). *Raumakustik im Alltag – Hören, Planen, Verstehen*. Stuttgart: Fraunhofer.
- Pfeiffer, D. K., & Püttmann, C. (2015). *Methoden empirischer Forschung in der Erziehungswissenschaft, Ein einführendes Lehrbuch* (5. ed.). Baltmannsweiler: Schneider Verlag Hohengehren.
- Porst, R. (2014). *Fragebogen. Ein Arbeitsbuch* (4. ed.). Wiesbaden: Springer VS.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W., & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science education* 66(2), 211-227.
- Pospiech, G., & Siemsen, F. (2005). *Unterricht Physik, Band 12: Akustik*. Köln: Aulis.
- Raithel, J. (2008). *Quantitative Forschung, Ein Praxiskurs* (2. ed.). Wiesbaden: VS Verlag.
- Sohn, C., & Holzgreve, W. (Eds.). (2003). *Ultraschall in Gynäkologie und Geburtshilfe*. Stuttgart: Thieme.
- Sorge, G. (2002). *Faszination Ultraschall*. Stuttgart, Leipzig, Wiesbaden: Teubner.
- Speiser, A. P. (2000). *Regenbogen, Licht und Schall: Naturphänomenen auf der Spur*. Stuttgart: Hirzel.
- Tipler, P. (2009). *Physik für Wissenschaftler und Ingenieure* (6. ed.). Heidelberg: Spektrum.
- Trautwein, A. X., Kreibitz, U., & Hüttermann, J. (2014). *Physik für Mediziner, Biologen, Pharmazeuten*. Berlin/Boston: De Gruyter.
- Vogt, M. (2015). Qualitative Forschung in den naturwissenschaftlichen Fachdidaktiken. In E. Kircher, R. Girwidz, & P. Häußler (Eds.), *Physikdidaktik. Theorie und Praxis* (3. ed., pp. 704-726). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Wagner, P., Reischl, G., & Steiner, G. (2010). *Einführung in die Physik*. Wien: Facultas.
- Widodo, A., & Duit, R. (2004). Konstruktivistische Sichtweisen vom Lehren und Lernen und die Praxis. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 233-255.
- Wiesner, H. (2008). Physikunterricht - an Schülervorstellungen orientiert. *Praxis der Naturwissenschaften/Physik in der Schule*, Heft 6/57.

- Wiesner, H., Schecker, H., & Hopf, M. (Eds.). (2011). *Physikdidaktik kompakt*. Freising: Aulis.
- Wodzinski, R. (2011). Schülervorstellungen und Lernschwierigkeiten. In M. Rainer, W. Rita, & H. Martin, *Schülervorstellungen in der Physik* (3. ed., pp. 23-36). Köln: Aulis.
- Wulf, P., & Euler, M. (2011). Ein Ton fliegt durch die Luft, Vorstellungen von Primarstufenkindern zum Phänomenbereich Schall. In R. Müller, R. Wodzinski, & M. Hopf, *Schülervorstellungen in der Physik* (3. ed., pp. 39-45). Köln: Aulis.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schallausbreitung als Dichteschwankung.....	2
Abbildung 2: Periodische Verdichtung und Verdünnung bei Schall mit Angabe der Wellenlänge λ	5
Abbildung 3: Funktionsgraph von Schallwellen inklusive entsprechendem Frequenzspektrum	7
Abbildung 4: Lautstärkepegel und Bereich der Sprache.....	13
Abbildung 5: Schematischer Aufbau eines Schalldämpfers.....	15
Abbildung 6: Illustrierung des Reflexionsgesetzes und der Brechung	16
Abbildung 7: Brechung von Schall bei unterschiedlicher Temperatur	17
Abbildung 8: Zentrum der Explosion mit Zone des Schweigens	18
Abbildung 9: Stehende Wellen von Instrumentensaiten.	20
Abbildung 10: Stehende Wellen in einer Pfeife mit a) zwei offenen und b) einem offenen Ende.....	21
Abbildung 11: Illustrierung des Dopplereffekts	22
Abbildung 12: Entstehung einer Stoßwelle	22
Abbildung 13: Zirkel des Verstehens des Verstehens	26
Abbildung 14: Das Triplet der Didaktischen Rekonstruktion.....	35
Abbildung 15: Kinderzeichnungen zur Schallausbreitung	35
Abbildung 16: Interviewskript	45
Abbildung 17: Anzahl der Schüler und Schülerinnen aus den jeweiligen Klassen für die Interviewstudie .	47
Abbildung 18: 10 Gebote der Frageformulierung nach Porst	64
Abbildung 19: Fragen für den „kognitiven“ Pretest.....	66
Abbildung 20: Codierregeln zur Auswertung der Fragebögen	68
Abbildung 21: Antworten der Schülerinnen und Schüler zur ersten Frage in Prozent [%].....	69
Abbildung 22: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 2 in Prozent [%]	69
Abbildung 23: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 3 in Prozent [%]	70
Abbildung 24: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 4 in Prozent [%]	71
Abbildung 25: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 5 in Prozent [%]	72
Abbildung 26: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 6 in Prozent [%]	72
Abbildung 27: Antworten aller Schülerinnen und Schüler zu Frage 7 in Prozent [%]	73
Abbildung 28: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 8 in Prozent [%]	74
Abbildung 29: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 9 in Prozent [%]	74
Abbildung 30: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 10 in Prozent [%]	75
Abbildung 31: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 11 in Prozent [%]	76
Abbildung 32: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 12 in Prozent [%]	76
Abbildung 33: Antworten der Schülerinnen und Schüler zu Frage 13 in Prozent [%]	77

9 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Schallgeschwindigkeiten in verschiedenen Stoffen (20 °C)</i>	4
<i>Tabelle 2: Übersicht zur Wellencharakterisierung</i>	6
<i>Tabelle 3: Schallbereiche</i>	8
<i>Tabelle 4: Frequenzverhältnisse der C-Dur-Tonleiter</i>	11
<i>Tabelle 5: Einige Beispiele für Schalldrücke, Schallpegel und Schallintensitäten</i>	13
<i>Tabelle 6: Thematische Übersicht zu den Fragen des Interviewleitfadens</i>	45
<i>Tabelle 7: Transkriptionssymbole</i>	49
<i>Tabelle 8: Stichprobenumfang</i>	67
<i>Tabelle 9: Antworten zur Einstiegsfrage über die Klassen in Prozent [%]</i>	69
<i>Tabelle 10: Auswahl zu den Antworten der Frage 2 in Prozent [%]</i>	70
<i>Tabelle 11: Auswahl zu den Antworten der zweiten Frage in Prozent [%]</i>	71
<i>Tabelle 12: Auswahl zu den Antworten zu Frage 6 in Prozent [%]</i>	73
<i>Tabelle 13: Auswahl zu den Antworten zu Frage 7 in Prozent [%]</i>	73
<i>Tabelle 14: Auswahl zu den Antworten zu Frage 10 in Prozent [%]</i>	75

Anhang

1) Interviewleitfaden

Einleitende Worte:

- 1) Dank für die Bereitschaft
- 2) Keine Prüfung und daher gibt's kein richtig oder falsch – einfach Gedanken mitteilen
- 3) Zusicherung der Anonymität
- 4) Bitte um Erlaubnis das Interview aufzuzeichnen

Fragen zum Schall:

- 1) Was fällt dir spontan alles zum Stichwort Schall ein?
- 2) Wie kannst du bzw. kann man Schall erzeugen?
[-> Kannst du beschreiben, was da genau passiert?]
- 3) Wenn wir miteinander reden breitet sich der Schall von mir zu dir [vom einem Sender zu einem Empfänger] durch die Luft aus.
-> Kann sich Schall allgemein nur in Luft ausbreiten? [Wo sonst noch?]
-> In welche Richtungen breitet er sich aus? Was passiert, wenn Hindernisse dazwischenstehen? [Ist Schall hinter einem Hindernis hörbar?]
- 4) Kannst du erklären wie eine Echo zu Stande kommt?
- 5) Gibt es auch nichthörbaren Schall?
[-> Weißt du wie folgendes [Ultraschall-]Bild erstellt wurde?]
- 6) Was glaubst du, wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton?
[z.B. bei dieser Gitarre]
-> Warum hat die Gitarre so einen Körper mit einem Loch?
- 7) Unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein und mit welchen Folgen?
- 8) Wie kann man sich vor Lärm schützen?
- 9) Ein Rettungsauto fährt an dir vorbei, dabei merkst du, dass sich der Sirenenton ändert. Wie erklärst du dir das?
- 10) [Braucht der Schall Zeit um sich auszubreiten?
-> Was passiert, wenn sich ein Objekt schneller als der Schall bewegt?]

Materialien: 1) Ultraschallbild 2) Gitarre

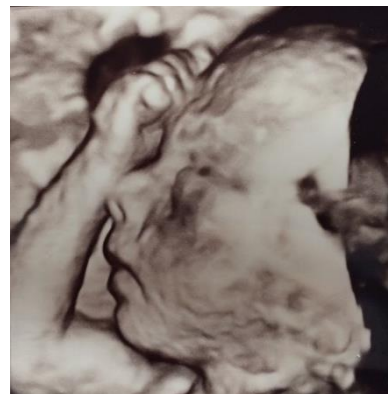


Abbildung A1: Sonogramm aus privater Quelle

Worte des Dankes und Bitte der Verschwiegenheit

Liebe Schülerin, lieber Schüler!

2) Fragebogen

Herzlichen Dank für deine Bereitschaft an der Befragung mitzumachen. Mit deinen Antworten auf diesem Fragebogen können PhysiklehrerInnen den Unterricht in Zukunft verbessern.

★ Zuerst gibt es ein paar Fragen zu dir. Die Angaben bleiben selbstverständlich **anonym**.

★ Für die genaue Auswertung bitte ich dich nun, die Kästchen ☐ eindeutig mit einem X auszufüllen.

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich	Alter: ____	Klasse: ____
Hast du dich im Physikunterricht schon einmal mit Schall beschäftigt?	☐ Ja	☐ Nein ☐ Nicht sicher

★ Kreuze an, was du weißt und wovon du denkst, dass es richtig ist. Es ist kein Test und der Fragebogen **wird nicht benotet**, daher musst du auch nicht raten.

→ Bitte lies die Fragen und Angaben sorgfältig durch und kreuze an was du für richtig hältst!

★ Es sind auch **mehrere Antworten möglich**.

Welche Begriffe passen zum Thema Schall?	Wo kann sich Schall ausbreiten?
☐ Hören	☐ Im Wasser
☐ Spiegel	☐ Im Vakuum (luftleerer Raum)
☐ Radiowellen	☐ In Luft
☐ Töne und Geräusche	☐ In Festkörper

Ein Echo hört man, ...
☐ wenn eine Wand den Schall schluckt.
☐ wenn man einen Laut öfters und nacheinander von sich gibt.
☐ wenn eine Wand den Schall zurückschickt.
☐ zum Beispiel in einer Höhle.

Die Geschwindigkeit von Schall ...
☐ kann auch mit einem schnellen Flugzeug nicht erreicht werden.
☐ ist extrem schnell. Wir hören ihn sofort.
☐ ist immer und überall gleich.
☐ ist geringer als die Geschwindigkeit von Licht.

Unangenehmer Schall wird als Lärm bezeichnet. Lärm ...
☐ kann unangenehm werden und taub machen.
☐ kann man dämmen.
☐ dringt überall durch.
☐ davor kann man sich nicht schützen.

Eine Schallquelle ...
☐ sind zum Beispiel Kopfhörer.
☐ sendet Schall aus, der wieder zu ihr zurückkommt.
☐ ist die Ursache von Schall.
☐ muss etwas Bewegliches sein.

Eine Glocke wird mit einem Hammer angeschlagen und du kannst den Ton der Glocke hören. Was ist dabei in Bewegung?

- ☐ Das Trommelfell im Ohr
- ☐ Die Glocke
- ☐ Die Lautstärke
- ☐ Die Luft

Beschreibe einen Ton:

- ☐ Je lauter der Ton, desto schneller ist er.
- ☐ Je höher der Ton, desto mehr Platz braucht er.
- ☐ Je höher der Ton, desto lauter der Ton.
- ☐ Je höher der Ton, desto mehr Schallwellen gibt es.

Was stimmt?

- ☐ Ein Ton entsteht z.B. beim Reden.
- ☐ Der Ton steckt in der Schallquelle und kommt z.B. durch einen Schlag heraus.
- ☐ Ohne Schwingung gibt es keinen Ton.
- ☐ Zwei gleiche Schallquellen erzeugen den doppelten Lautstärkepegel.

Welche Behauptung(en) hältst du für korrekt?

- ☐ Schall ist nie schädlich.
- ☐ Bei Tönen und Geräuschen schwingt auch die Luft.
- ☐ Zuerst wird ein Ton erzeugt, dann erfolgt eine Schwingung.
- ☐ Es gibt auch Schall, den ich nicht hören kann.

★ Wenn du folgende Fragen nicht beantworten kannst, lass die Kästchen einfach leer.

Damit ich von der Gitarre einen gut hörbaren Ton wahrnehme, muss ...

- ☐ der Gitarrenkorpus den Schall gut speichern können.
- ☐ das Schallloch geschlossen sein.
- ☐ eine Saite angeschlagen werden.
- ☐ der Gitarrenkorpus mitschwingen.

Fledermäuse ...

- ☐ „tasten“ ihre Umgebung mit Ultraschall akustisch ab.
- ☐ sehen mit den Augen, wenn der Ultraschall beim einem Objekt ankommt.
- ☐ können mit Ultraschall die Entfernung „messen“.
- ☐ hören den vom Objekt zurückkommenden Schall.

Ein Rettungsauto mit einer lauten Sirene fährt an dir vorbei. Der Sirenenton ...

- ☐ ist zuerst leise, wenn das Auto vorbei ist sehr laut.
- ☐ erzeugt einen Überschallknall.
- ☐ wird tiefer, wenn das Auto vorbeigefahren ist.
- ☐ bleibt immer gleich hoch.

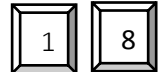
Ein herzliches Dankeschön für die Beantwortung des Fragebogens!

DANKE für deine Mithilfe!

3) Transkribierte Interviews

Interview 1

CODE: Schüler



Klasse: 1	Alter: 11	Geschlecht: w
Datum: 11.05.2017	Zeit: 13:20-13:30 (Ton: 7:39)	Ort: Raum 206
Inhaltliches: Ultraschall unbekannt, Gitarrenkörper für Ästhetik, Schall braucht keine Zeit,		Besonderheiten beim Verlauf: Schüler und Schülerinnen im Raum, aber keine Störung, da Raum groß. S18 greift zur Gitarre.

- 1 I: Ich würde dich gerne fragen: Was fällt dir spontan ein, wenn du das Stichwort Schall
2 hörst? Schall.
- 3 S18: Also es hat irgendetwas mit dem Gehör zu tun. (-) Ja. (-) Es hat irgendetwas mit dem Gehör
4 zu tun, glaube ich.
- 5 I: Was genau stellst du dir da vor?
- 6 S18: Wenn du irgendetwas laut zusammenschlägst, dann kommt da ein gewisses Geräusch
7 heraus und ich glaube das ist ja Schall.
- 8 I: Sehr gut. Weißt du, wie man Schall produzieren kann? Wie kann man das machen?
- 9 S18: Mit zwei Gegenständen die du aufeinander schlägst und dadurch kommt dann der Schall.
- 10 I: Wie kann man sich das vorstellen, was passiert da? Bis es dann zum Ohr kommt, was
11 passiert da genau? Kannst du das beschreiben?
- 12 S18: [lacht] Ein Geräusch, ein lautes Geräusch und das hört man halt, keine Ahnung.
- 13 I: Wenn wir miteinander reden, kommt mein Geräusch, meine Stimme von mir zu dir.
14 Glaubst du Schall kann sich nur in der Luft ausbreiten? Glaubst du das geht auch irgendwo
15 anders durch?
- 16 S18: Das kann schon durchgehen, wenn etwas sehr sehr laut ist, in einen anderen Raum.
- 17 I: Glaubst du, geht Schall auch durch Wasser oder Festkörper?
- 18 S18: Ja.
- 19 I: Und in welche Richtungen kann sich Schall ausbreiten?
- 20 S18: Weg von dir. Also wenn du den Schall erzeugst, also, weg von dir.
- 21 I: Wohin, in welche Richtung?
- 22 S18: Also, wenn ich da stehe, einfach gerade, also er teilt sich. [zeigt mit Händen]
- 23 I: Also in beide Richtungen auseinander wie ein Trichter, nach vorne.
- 24 S18: Ja.
- 25 I: Und was ist, wenn jetzt ein Hindernis dazwischensteht?

26 S: Wenn's richtig laut ist kann, man es trotzdem hören.

27 I: Warum?

28 S18: Das weiß ich nicht. Aber ich glaub schon weil.

29 I: Wie könnte das gehen, wie stellst du dir das vor?

30 S18: Ich glaub es kommt drauf an, wie dick so eine Mauer ist.

31 I: Glaubst du, er kann auch über ein Haus drüber gehen, zum Beispiel?

32 S18: Also wenn ich davorstehe und er geht drüber.

33 I: Und dann wieder hinunter, oder?

34 S18: Nein.

35 I: Oder geht das durch das Haus?

36 S18: Ja es geht durch das Haus drüber oder auf der Seite.

37 I: Also du glaubst, wenn jemand vor dem Haus steht, kann auch jemand dahinter etwas
38 hören.

39 S18: Ja, man muss es aber laut sagen.

40 I: Ok. (--) Weißt du wie ein Echo zustande kommt?

41 S18: Nein. [Lacht]

42 I: Aber was ein Echo ist, weißt du?

43 S18: Ja, wenn du in einem geschlossenen Raum bist. Wie zum Beispiel in einer Höhle du rufst
44 laut was, oder auch wenn man es normal sagt, dann kommen deine Stimmen öfter. Es
45 wird immer leiser.

46 I: Und glaubst du, es gibt auch Schall, den man nicht hören kann?

47 S18: Ich glaub schon, ja. Kann gut sein. Ich bin mir nicht sicher. Ich hatte noch nie Physik.

48 I: [I zeigt Sonogramm] Hast so ein Bild schon einmal gesehen?

49 S18: Ich glaub, es ist ein Kind

50 I: Ja genau. Das ist ein Ultraschallbild. Weißt du wie das zustande kommt?

51 S18: Da schmiert man so mit einem Roller und so einem Gel. Gibt man das auf die Haut. Keine
52 Ahnung wie das weiter geht.

53 I: Ja, das ist schwierig. (-)

54 I: [I öffnet den Gitarrensack] Schau mal ich habe da eine Gitarre. Was glaubst du wie kann
55 man da einen hohen und einen tiefen Ton erzeugen?

56 S18: Darf ich? [S steht auf und beugt sich zur Gitarre und zupft die tiefe E-Saite] Ja. Also das ist
57 der tiefe?

58 I: Und was glaubst du, wie kann man einen hohen Ton erzeugen?

59 S18: Auf der anderen Saite hier? [S18 zupft hohe E-Saite]

60 I: Was ist da der Unterschied?

61 S18: Da ist es noch ganz ganz klein und dann wird's hier immer größer.

62 I: Was könnte man noch machen um einen Ton höher zu machen?

63 S18: [S18: zupft ein paar Saiten]. Man könnte auch nur. Also mehrere aufeinander.

64 I: Ok. Schau mal, da ist so ein riesen Körper noch dran mit einem riesen Loch. Was könnte
65 man sich vorstellen, warum es den gibt?

66 S18: Damit es schöner aussieht. Aber es kann auch sein. [S fährt über alle Saiten und zeigt auf
67 Gitarrenkorpus] Wenn man so über die Saiten fährt, dann vibriert das so.

68 I: Und, was glaubst du: Unter welchen Bedingungen kann Schall auch schädigend sein für
69 den Menschen?

70 S18: Wenn man ganz nah ans Ohr geht und man macht es richtig laut, kann im Ohr was platzen.

71 I: Und wie kann man sich schützen?

72 S18: Entweder man macht das gar nicht oder hält sich die Ohren zu.

73 I: Hast du schon mal ein Rettungsauto oder ein Auto erlebt, das mit einer Sirene auf dich zu
74 kommt und an dir vorbeifährt, und dass sich da was ändert? Kannst du dir das erklären?

75 S18: Also, wenn es kommt ist es lauter und wenn es weiter weg fährt ist es leiser. Weil wenn
76 es immer weiter weg ist. Auch wenn ich hier bin und total laut schreie, hören es die da
77 drüber schon leiser, als wie ich es wirklich mache.

78 I: Und ändert sich nur an der Lautstärke etwas oder sonst auch noch etwas? (-)

79 S18: [überlegt]

80 I: Der Ton? Bleibt der gleich?

81 S18: (--) Nein (--) Also der Ton wird halt leiser, oder lauter.

82 I: Braucht der Schall Zeit um sich auszubreiten?

83 S18: (-)

84 I: Oder passiert das direkt?

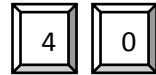
85 S18: Ich glaube, dass es direkt geht. Weil ich sag's ja jetzt und Sie hören es ja auch jetzt, oder?

86 I: Also keine Zeit?

87 S18: Nein, würde ich nicht sagen

Interview 2

CODE: Schüler



Klasse: 2	Alter: 12	Geschlecht: m
Datum: 11.05.2017	Zeit: 14:01 -14:12 (Ton: 6:32)	Ort: Raum 204
Inhaltliches: Radiowellen sind Schall Sonogramm – Röntgen		Besonderheiten beim Verlauf: Frage nach Tonhöhe übersehen

- 1 I: Ich würde dich gerne fragen: Was fällt dir spontan ein, wenn du das Stichwort Schall
2 hörst? Schall.
- 3 S40: Lautstärke und Lärm?
- 4 I: Sonst noch? Physikalisch? Wie könnte man sich das vorstellen?
- 5 S40: Schallwellen.
- 6 I: Also bei hohen Wellen – also ich weiß das sogar – also bei hohen Wellen sind ganz kurze
7 Schläge und bei tiefen Tönen sind ganz weite Wellen.
- 8 I: Und wie kann man Schall erzeugen?
- 9 S40: Durch irgendwas draufhauen, klatschen, irgendetwas sagen.
- 10 I: Kannst du sagen, was da genau passiert?
- 11 S40: Also die Luft wird weggedrückt. (-) Ja.
- 12 I: (-) Und wenn wir jetzt miteinander reden, breitet sich der Schall von mir zu dir aus. Kann
13 er sich sonst auch irgendwo ausbreiten?
- 14 S40: Im Wasser, aber da wird er gedämpft, weil da die Dichte höher ist. (-) Auch wenn man
15 ganz laut ist durch Wände. (-) Also je nachdem wie die Lautstärke halt ist.
- 16 I: In welche Richtungen breitet er sich aus?
- 17 S40: In alle.
- 18 I: Und was passiert, wenn etwas dazwischen ist – irgendein Hindernis?
- 19 S40: Dann geht er entweder vorbei, darüber oder halt rundherum.
- 20 I: Okay. Also hinter einem Hindernis könnte man theoretisch Schall auch hören?
- 21 S40: Ja.
- 22 I: Kannst du erklären wie eine Echo zu Stande kommt?
- 23 S40: Ja. Man ruft etwas irgendwo hin und (-) das bleibt und die Schallwellen kommen wieder
24 zurück.
- 25 I: Und was passiert da genau? Warum kommen sie wieder zurück
- 26 S40: Weil sie von dem Gegenstand wieder abgestoßen werden.
- 27 I: Und gibt es auch einen nichthörbaren Schall?

28 S40: Also zum Beispiel alle Radiosender (-) haben, sind eine verschiedene Frequenz und das ist
 29 auch alles Schall.

30 I: [I zeigt Sonogramm] Hast du so etwas schon einmal gesehen?

31 S40: [schaut es fragend an] Nein.

32 I: Das ist ein Baby.

33 S40: Ah, ja das ist Röntgen. Das ist auch ein Schall, den man nicht hört.

34 I: Ist es Röntgen oder?

35 S40: Ultraschall.

36 I: Hast du eine Idee wie das funktionieren könnte?

37 S40: Nein. Oh ja. (-) Der Schall geht rein und wird vom Baby wieder abgestoßen und dann
 38 kommen verschiedene Formen zurück. Also was halt drinnen ist.

39 I: Und unter welchen Bedingungen kann Schall für Menschen schädigend sein und mit
 40 welchen Folgen?

41 S40: Wenn man zu laute Musik hört, könnte das Trommelfell platzen oder anreißen. (--) Ja.

42 I: Hat das nur körperliche Auswirkungen und psychische?

43 S40: Nur körperliche. Nein auch psychische.

44 I: Warum glaubst du das?

45 S40: Wenn man nur auf einem Ohr hört, ist die Koordination anders, man muss die zuerst
 46 umstellen.

47 I: Wie kann man sich vor Lärm schützen?

48 S40: Zum Beispiel auf einer Baustelle mit Ohrenschützern, oder einfach die Musik nicht zu laut
 49 aufdrehen.

50 I: (-) Wenn ein Rettungsauto an dir vorbeifährt. Da ändert sich was?

51 S40: Nein. Eigentlich nicht. (--) Also wenn es vorbei ist. Nein.

52 I: Also es kommt auf dich zu und fährt von dir weg, ändert sich was?

53 S40: Nein.

54 I: Glaubst du Schall braucht Zeit um sich auszubreiten?

55 S40: Ja. Zum Beispiel bei Flugzeugen ist es immer so, dass Flugzeuge schon weitergefliegen sind
 56 und der Schall ist dann weiter hinten. Also die fliegen dann (--) [denkt halblaut über den
 57 Begriff nach] Hyperschallgeschwindigkeit. Ja, Hyperschallgeschwindigkeit heißt das.

58 I: Also bei der Überschallgeschwindigkeit gibt es ein bestimmtes Phänomen, wenn ein
 59 Flugzeug schneller als die Schallgeschwindigkeit fliegt. Weißt du was da passiert?

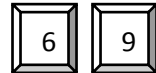
60 S40: Nein.

61 I: Da gibt es einen Überschallknall.

62 S40: Ah ja. Habe ich schon einmal gehört.

Interview 3

CODE: Schüler



Klasse: 2	Alter: 12	Geschlecht: m
Datum: 11.05.2017	Zeit: 14:14-14:17 (Ton: 11:07)	Ort: Raum 204
Inhaltliches: Radiowellen sind Schall Erzeugung von Schall am Ohr		Besonderheiten beim Verlauf: Unterbrechung bei Minute 1:06 (für 1:15 Minuten)

- 1 I: Also, was fällt dir spontan alles ein zum Stichwort Schall?
- 2 S69: Dass wir etwas hören. Schall. Mhm (-) Schallwellen. (-) Radiowellen. Und (--) dass es an
3 unsere Ohren kommt, dass es mit unseren Ohren, mit dem Hören zu tun hat.
- 4 I: Wie kannst du bzw. kann man Schall erzeugen?
- 5 S69: Schall erzeugen. (-) Erzeugt man nicht Schall, wenn ich etwas spreche? Dann kommt es an
6 das Ohr von meinem Ansprechpartner und da erzeugt es dann Schall. (-) Oder zum Beispiel
7 Delphine, die Verständigen sich mit Schall.
- 8 I: Okay, entschuldige, ich muss kurz unterbrechen. [I verlässt kurz den Raum um für Ruhe
9 zu sorgen.]
- 10 I: Wo waren wir? Wie wir Schall erzeugen können. Was hast du nochmal gesagt?
- 11 S69: Also wenn ich spreche, einen Laut erzeuge und wenn es zum Ohr des anderen geht und (-
12 -) Dann erzeuge ich Schall.
- 13 I: Kannst du beschreiben, was da passiert, von meinem Mund bis zu jemand anderem?
- 14 S69: Ich sende die Schallwellen und die kommen dann (-) Mhm.
- 15 I: Was kann man sich vorstellen unter Schallwellen?
- 16 S69: Das passiert in der Luft (-) So wie eben Wellen in der Luft.
- 17 I: Man kann es zwar nicht erkennen, aber. (-) Mhm. Dass es eben so wellig ist.
- 18 I: Wenn die Wellen über die Luft gehen, können die auch sonst irgendwo durch? Geht Schall
19 auch durch andere Medien durch?
- 20 S69: Naja, es gibt ja schalldämpfende Wände, aber er geht natürlich auch durch Wände durch.
21 Weil da gibt es eigene Wände, die dämpfen dann den Schall.
- 22 I: Und in welche Richtungen breitet sich der Schall aus?
- 23 S69: Eher vorne. Also wenn man mit dem Rücken zu einem steht und ihn trotzdem anredet,
24 dass man ihn dann nicht so gut verstehen kann. Daher denke ich eher, dass es einen
25 Radius nach vorne hat.
- 26 I: Und wenn jetzt ein Hindernis dazwischensteht?
- 27 S69: Mhm. [S69 überlegt] (-) Also wenn es mich umgibt, wie eine Wand. Dann behindert es
28 den Schall. Dann kommt es nicht an, man kann es nicht so gut verstehen. Aber (-) Ja zum
29 Beispiel bei einem Sessel, wo es Löcher gibt, dann geht der Schall trotzdem durch.

30 I: Und wenn du vor einem Haus stehst und jemand anderes hinter dem Haus. Hört der etwas
31 hinter dem Haus?

32 S69: Also, wenn man laut etwas schreit zum Beispiel ja. Weil die Schallwellen suchen sich dann
33 einen Weg um das Haus. Eben, weil der Radius vor dir ist, denke ich. Und, dass er sich
34 dann eben um das Haus bewegt. (?)

35 I: Und kannst du dir erklären wie ein Echo zustande kommt?

36 S69: Ein Echo? Mhm (--) Wenn (-) Wenn die Wände (-) Zum Beispiel, wenn ich in einer Schlucht
37 bin und ich habe links und rechts hohe Wände. Und dann (--) Dass sie den Schall eben
38 aufheben, die Wände, und wiedergegeben, bis sie endlich nach draußen gehen. Mit
39 meinen Tönen.

40 I: Glaubst du, gibt es auch nichthörbaren Schall? Schall, den wir Menschen nicht hören
41 können?

42 S69: [Überlegt länger] (--) Meinen Sie Schallgeschwindigkeit oder so was?

43 I: Zum Beispiel so etwas. Hast du so etwas schon einmal gesehen? So ein Bild von einem
44 Baby. Das kennst du vielleicht schon. Wenn es noch im Bauch ist macht man solche Bilder.

45 S69: Ultraschall?

46 I: Genau Ultraschall. Kannst du erklären, wie man das machen kann?

47 S69: Dass man eben (--) Dass man eben (-) in den Bauch hineinschaut und anschaut wie sich
48 das Baby bewegt.

49 I: Und wie könnte man erklären, wie man das mit Schall macht?

50 S69: (--)

51 I: Ja das ist schwer. (-) [Zeigt auf Gitarre] Schauen wir mal auf die Gitarre. Was gibt da einen
52 hohen und einen tiefen Ton?

53 S69: (--) Die äußeren geben einen hohen Ton. (?)

54 I: Was meinst du mit äußeren?

55 S69: Naja zum Beispiel der und der [zeigt auf hohe und tiefe E-Saite]. Die da in der Mitte sind
56 gedämpft durch das Loch hier. Daher wird es umso tiefer.

57 I: Könnte man noch etwas ändern um einen Ton, tief oder hoch zu machen?

58 S69: Ja man könnte hier etwas verstellen. [S69 zeigt auf Wirbel]. Und das könnte man. (-) Ich
59 glaube man verstellt die Höhe.

60 I: Was macht man genau mit der Kurbel?

61 S69: Man verstellt eben die Saite hier etwas höher und dann ist es eben weiter entfernt vom
62 Loch, wo sich der Schall einfängt und eben wenn es tiefer sitzt, kann es sich leichter
63 anstrengen. (--)

64 I: Und was glaubst du, wofür gibt es diesen Körper mit dem Loch?

65 S69: Ich glaub eben, dass dieses Loch für das Schall-Auffangen ist. Weil hier erzeuge ich einen
66 Schall und dass der da gefangen bleibt und deswegen ist auch der Körper da.

67 I: Und kommt der da wieder raus oder bleibt er gefangen?

68 S69: Die Töne sind halt (-) Er kommt halt. Die Töne werden halt umso tiefer je schneller sie rein
69 kommen. Also ja ich glaub schon. Der Schall kommt wieder raus und dann verklingen die
70 Töne.

71 I: Unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein und mit
72 welchen Folgen?

73 S69: Zum Beispiel. (--) Wenn's (-) Wenn's ein schrecklicher Laut ist und wenn es zu laut ist, dann
74 kann das Trommelfell platzen und etwas im Ohr kann beschädigt werden. Also Schall kann
75 unsere Ohren auch verletzen.

76 I: Das hast du vielleicht schon mal erlebt: Wenn ein Rettungsauto auf dich zukommt und an
77 dir vorbeifährt, ändert sich da etwas am Ton, oder?

78 S69: Ja, also wenn es ganz da ist. Also wenn es mit Blaulicht? Meinen sie das Blaulicht?

79 I: Nein. Die Sirene. Wenn man den Ton hört. Die Sirene.

80 S69: Man hört dann, wie der Ton immer leiser wird und wieder lauter, wenn es dann zu dir
81 kommt. Und dann wieder leiser wenn es wieder wegfährt. Aber das ist der Schall, der sich
82 wieder wegbewegt.

83 I: Also es wird leiser?

84 S69: Ja.

85 I: Und ändert sich am Ton auch was? Wird er höher oder tiefer, oder?

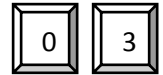
86 S69: Also ich hab's schon lange nicht mehr erlebt. Aber ich glaube, dass die Töne (--) entweder
87 höher oder tiefer werden. Eins von beidem, weil das Auto von sich wegbewegt und das
88 Auto, dann ein anderer Bezug auf dich hat mit den Tönen.

89 I: Glaubst du, braucht der Schall Zeit um sich auszubreiten?

90 S69: Hm. Ja. Zeit. Ja ich denke schon, aber ziemlich wenig. Wenn ein Kind zum Beispiel schreit,
91 dass wir das sofort wahrnehmen. Aber ich denke, es kann sich nur um Sekunden handeln.

Interview 4

CODE: Schüler



Klasse: 3	Alter: 13	Geschlecht: m
Datum: 12.05.2017	Zeit: 13:01- 13:17 (Ton: 14:10)	Ort: Raum 109
Inhaltliches: Wie kann man mit Schall sehen?		Besonderheiten beim Verlauf: Viele Antworten fragend intoniert. („Vielleicht“).

- 1 I: Was fällt dir spontan ein, wenn du das Stichwort Schall hörst? Also was fällt dir spontan
2 alles ein?
- 3 S03: Schall? Schallwellen. Zum Beispiel Fledermäuse hören ja durch Schallwellen oder sehen
4 durch Schallwellen, weil die können nicht sehen und geben die doch ab oder so (?) und
5 spüren dann, wenn da irgendwas ist und fliegen dann vorbei, wenn da was ist. (-) Schall.
6 Mhm. Vielleicht Ton, wenn ein Ton irgendwo abprallt.
- 7 I: Einfach ein paar Stichworte, es kommen eh noch Details.
- 8 S03: Fledermäuse, Ton, abprallen. Mhm. Sehvermögen. Ich habe schon einmal von einem
9 Menschen gehört, glaube ich, also wenn das mit den Fledermäusen richtig war, dann gab's
10 dann mal einen blinden Menschen, der hat so etwas Ähnliches gemacht. Also der hat sich
11 das so beigebracht und konnte dann dadurch auch irgendwie sehen. Mhm.
- 12 I: Okay. Passt schon. Wie kann man Schall erzeugen? Und vielleicht kannst du beschreiben,
13 was da genau passiert?
- 14 S03: Schall erzeugt man doch, wenn man einfach so spricht? Oder nicht? Oder ein Ton, oder
15 Geräusche macht und die (--). Schwer zu erklären.
- 16 I: Es passt eh gut. Was passiert da genau, auch wenn du jetzt sprichst. Kannst du dir
17 vorstellen, wenn du jetzt sprichst, kannst du die irgendwie vorstellen wie das
18 funktioniert?
- 19 S03: Vielleicht werden Schallwellen abgegeben? Mhm. Die gehen da. (-) Die verteilen sich dann
20 irgendwie und deshalb hören wir einander.
- 21 I: Wie verteilen sich die? In welche Richtung?
- 22 S03: Vielleicht einfach in die Richtung in die man spricht oder in die Richtung von wo das
23 Geräusch her kommt oder so erstmal dahin, dann prallt es ab und dann gehen die
24 Schallwellen zurück.
- 25 I: Und wenn wir jetzt miteinander reden, dann breitet sich der Schall von mir zu dir durch
26 die Luft aus. Kann sich Schall allgemein nur in Luft ausbreiten?
- 27 S03: Wenn Sie schon so fragen dann nicht. [lacht] Vielleicht im Wind. (-) Aber das ist ja auch
28 Luft. Oder vielleicht auch Wasser. (--). Sekunde, kurz nachdenken.
- 29 I: Im Wasser auch?

30 S03: Ja schwer zu erklären. (-) Ja vielleicht naja schwer, oder vielleicht kann er sich ja in allem
 31 ausbreiten, wenn es stimmt, dann kann er ja bei jedem Objekt, das existent, abprallen
 32 und wird dann wiedergegeben werden.

33 I: Und was passiert jetzt wenn ein Hindernis dazwischen steht, wenn wir miteinander reden
 34 zum Beispiel, oder ein Haus?

35 S03: Dann würde ich Sie schlechter verstehen. Weil die Schallwellen dann nicht so gut
 36 durchgehen können zu mir.

37 I: Gingen sie dann durch das Hindernis durch, oder wie stellst du dir das vor?

38 S03: Ich würde sagen, sie fallen beim Hindernis vorbei und ein paar, die außen sind, gehen
 39 dann am Hindernis vorbei. Vielleicht?

40 I: Also, alles was du sagst ist richtig. Sag einfach was du denkst. (-) Kannst du erklären, wie
 41 ein Echo zustande kommt?

42 S03: Durch Hall, vielleicht.

43 I: Aber was passiert da genau?

44 S03: Also ich gehe die ganze Zeit davon aus, dass Schall abprallt und ich hoffe, dass es richtig
 45 ist. Vielleicht prallt er wo ab und dann geht er wieder zurück – halt die Schallwellen - dann
 46 prallen sie wieder ab und wieder ab und so vielleicht und dann wird's immer leiser, weil
 47 sie immer weniger werden.

48 I: Und gibt es auch nicht hörbaren Schall?

49 S03: Ja sicher es gibt auch so Hundepfeifen. Das hören dann nur Hunde.

50 I: Weißt du, was das für ein Bild ist?

51 S03: Ein Baby. [S03 schaut Sonogramm an und überleget].

52 I: Also das ist ein Baby noch im Bauch drinnen. Weißt du, wie man das macht?

53 S03: Gibt es nicht irgendetwas, das heißt Ultraschall, oder so? Aber ich weiß nicht, ob das damit
 54 zu tun hat.

55 I: Wie stellst du dir das vor, wie kann man das machen? Hast du eine Idee?

56 S03: Gute Frage: Wie kann man mit Ton sehen? (-) Weil, dass Schall etwas mit Ton zu tun hat,
 57 da bin ich mir relativ sicher. (--) Vielleicht gibt es. Weil ich habe ja das gesagt mit den
 58 Hindernissen, dass die Fledermäuse das spüren. Vielleicht gehen Schallwellen rein
 59 sozusagen und das [S03 entdeckt Widerspruch] Ja und dann spürt sie die Form vom Baby.
 60 Aber das würde keinen Sinn machen, weil dann würden sie schon beim Bauch abprallen.
 61 (-) Kompliziert. (--) Dann stimmt das nicht mit dem Abprallen. (-) Man muss ja (-) Dann
 62 stimmt das nicht mit dem Abprallen oder (?) dann würden die Schallwellen, wenn man
 63 das misst ja schon beim Bauch abprallen. (?)

64 I: Ja, aber man gibt Gel auf dem Bauch. Was passiert dann genau, ist die Frage.

65 S03: Mhm. Die Schallwellen - das eben mit den Fledermäusen - da erkennen sie ja Hindernisse.
 66 Ich gehe davon aus, dass sie die Form erkennen von Hindernissen und wie groß das ist
 67 und so und vielleicht (-) durch die Schallwellen erkennen auch (-) vielleicht erkennt man
 68 auch durch die Finger [zeigt mit Händen], dass da noch Platz oder nicht ist, mehr bei den
 69 Fingern.

70 I: Wie geht das? Wie kann die Fledermaus das machen?

71 S03: Vielleicht indem sie Schallwellen von sich gibt und darauf hört oder schaut wo sie
 72 abprallen. (-) Und vielleicht, wenn sie jetzt nach da Schallwellen abgibt und da kommen

73 sie wieder zurück, dann sind siw wieder da. Halt wenn sie zurückkommen, dann ist da halt
74 was.

75 I: Was glaubt du, wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton? [I öffnet
76 Gitarrensack]

77 S03: Es hat mal was mit Schall zu tun. [lacht] (--) Es gibt ja auch bei einer Gitarre. Sie haben ja
78 gerade die Tasche aufgemacht. Da gibt's ja auch Saiten. Die einen sind hoch, die andern
79 sind tief.

80 I: Wie unterscheiden sich die?

81 S03: Mhm. Ich spiele auch Gitarre aber nicht viel und die tiefen Saiten sind auch tiefer und aus
82 anderem Material. (--)

83 I: Und wenn du eine Saite hernimmst. Wie kann man da einen hohen und einen tiefen Ton
84 machen?

85 S03: (--) Ich muss kurz nachdenken. (--) Vielleicht gibt die eine Saite – vielleicht ist eine Saite
86 irgendwie länger – und gibt mehr Schallwellen ab, als die andere, oder stärker gespannt.

87 I: Kannst du erklären, was auch physikalisch der Unterschied zwischen einem hohen und
88 einem tiefen Ton ist?

89 S03: Der Unterschied? Physikalisch erklären? (--) Schwer. (--) Wie könnte man das machen?

90 I: Ja, wenn du es nicht weißt, ist es nicht schlimm.

91 S03: Na, ich weiß es nicht.

92 I: Mhm. Und warum gibt es da [I zeigt auf Gitarre] so einen Körper und ein Loch bei einer
93 Gitarre?

94 S03: Jaja, damit es besser klingt. Und ich wusste mal wie das heißt. (-)

95 I: Was heißt besser klingen?

96 S03: Vielleicht, hat es auch mit Schallwellen zu tun. Dass sie vielleicht rein gehen in den Körper
97 und sich dort ausbreiten. (-) Und wie heißt das? (--) Es hat ja einen Grund, dass der Körper
98 so geformt ist. Vielleicht (--) sind die höheren Saiten mehr hier (-) vielleicht ist da eher
99 mehr Platz, vielleicht gehen die tieferen Saiten nach hinten, und bei den höheren Saiten
100 gehen die mehr nach vorne und dann geht der Schall schneller und da (-) dauert er länger
101 bis er wieder zurückkommt. Oder anders herum, weil ich glaub die hohen Saiten
102 verstummen schneller.

103 I: So stellst du dir das vor, ja das passt gut. Unter welchen Bedingungen kann Schall für den
104 Menschen auch schädigend sein und mit welchen Folgen?

105 S03: Vielleicht wird man taub oder, wenn sehr sehr viel Schall ist und der dann in dein Ohr geht
106 und wenn jetzt jemand an dein Ohr geht und schreit, dann werden ja Schallwellen direkt
107 auf ganz kurze Distanz ins Ohr befördert. (-) und dass könnte dann schmerzlich werden
108 und Schall könnte bei irgendetwas abprallen und wenn er abprallt, dann geht im Ohr
109 irgendetwas kaputt, das Trommelfell zum Beispiel.

110 I: Also eine körperliche Schädigung (?)

111 S03: Ja, würde ich schon sagen.

112 I: Oder merkt man das sonst auch?

113 S03: Ja, man kann nicht mehr hören.

114 I: Mhm. Weißt du, ob du sowas schon mal erlebt hast: Dass ein Rettungsauto auf dich
115 zukommt und dann an dir vorbeifährt, mit einer Sirene. Du hörst die Sirene und das Auto
116 fährt an dir vorbei.

117 S03: Ja, desto näher sie ist, desto lauter.

118 I: Desto lauter. Und was ändert sich da insgesamt?

119 S03: Vielleicht wenn das Auto weiter weg ist, dann geht der Schall ja auch nicht mehr zu dir,
120 weil dann prallt er woanders ab. Aber wenn das Auto genau neben dir fährt, kann der
121 Schall ja direkt bei dir abprallen und dann geht der Schall direkt auf dich und vielleicht
122 wird es dann lauter.

123 I: Und ändert sich auch etwas am Ton, also an der Tonhöhe oder ist es nur die Lautstärke,
124 die sich ändert?

125 S03: Ja, lauter wird es auf jeden Fall (--), höher, das wäre dann ja so ähnlich wie bei der Gitarre.
126 Ich habe ja vorher gesagt, dass vielleicht die höheren Saiten bei dem größeren Teil und
127 die tieferen bei dem kleineren und vielleicht wenn es vorbei geht, dann ist das Teil ja
128 breiter und vielleicht geht dann der Schall, kann er sich mehr verbreiten. Vielleicht ist das
129 irgendwas aber ich bezweifle, dass es richtig ist.

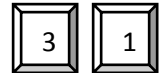
130 I: Ja, es passt, okay. Letzte Frage: braucht Schall Zeit um sich auszubreiten?

131 S03: Ja, würde ich schon sagen. Also nicht viel, aber ja, ich hab's mal irgendwo aufgenommen,
132 aber wenn wer irgendetwas sagt, dann hört der, der weiter hinten ist, das Gesagte einen
133 ganz kleinen Tick später. Weil, sagen wir, ich schaue in eine Richtung und der hinter mir
134 schaut genau in dieselbe Richtung, dann müsste es ja dauern bis der Schall abprallt und
135 zurückkommt und ah, es ist ja auch dann leise, weil die neben einen, zum Beispiel, da ist
136 es eine kürzere Distanz zur Wand, wo der Schall abprallt.

137 I: Danke. Super. Dankeschön.

Interview 5

CODE: Schüler



Klasse: 3	Alter: 13	Geschlecht: w
Datum: 12.05.2017	Zeit: 13:23 - 13:34 (Ton: 10:14)	Ort: Raum 109
Inhaltliches: Hoch - Synonym für laut		Besonderheiten beim Verlauf: Kurze Unterbrechung durch andere Lehrperson, die in den Raum kommt bei 3:55

- 1 I: Was fällt dir spontan ein zum Stichwort Schall? Einfach so Stichwörter!
- 2 S31: Mhm. Fledermäuse, weil die hören durch den Schall und je nachdem wie der Schall
3 zurückkommt sind da Hindernisse und so sehen sie auch. Und Schall sind so Wellen, wenn
4 ein Ton oder ein Geräusch da ist, dann schwingen diese Schwallwellen und wenn sie etwas
5 berühren dann prallen sie ab und kommen wieder zurück.
- 6 I: Sonst noch? (--) Das passt schon? Wie kannst du bzw. kann man Schall erzeugen?
- 7 S31: Wenn man ein Geräusch, einen Ton macht, oder wenn man spricht.
- 8 I: Kannst du genau beschreiben, was da passiert, wenn man Schall erzeugt?
- 9 S31: (--) Schall sind Wellen, die durch ein Geräusch entstehen.
- 10 I: Wenn du jetzt redest und du sagst, es kommt eine Schallwelle, was passiert da?
- 11 S31: Das sind ganz hohe Töne. (?) Also ich denk jetzt an die Fledermäuse und die stoßen so
12 hohe Töne aus und man sagt sie hören ja durch Schallwellen.
- 13 I: Aber diese Schallwellen, weißt du, wie man sich die vorstellen kann? Also was das genau
14 ist?
- 15 S31: So ein Halbkreis (-) ausgehend vom dem Geräusch, der dann pulsierend von dem
16 Geräusch weggeht.
- 17 I: Wir haben auch gesagt Luft. Kann sich Schall nur in Luft ausbreiten?
- 18 S31: Nein. Ich glaub nicht. Ich glaub Schall ist etwas, das überall sein kann. (-) Ich glaub Schall
19 kann auch durch die Wand gehen, aber dann wird er durch die Wand abgedämpft.
- 20 I: Und in welche Richtungen kann sich Schall ausbreiten?
- 21 S31: In die Richtung in die ich spreche und so 180 Grad. (?)
- 22 I: Und wenn ein Hindernis dazwischenstehen? Hört man dahinter etwas?
- 23 S31: Ja, ich glaube schon, aber es wird abgedämpft.
- 24 I: Kannst du erklären wie ein Echo zustande kommt?
- 25 S31: (--)
- 26 I: Wie stellst du dir das vor?
- 27 S31: Also Echo ist in Schluchten und in den Bergen, wo der Berg oder die Wand so groß ist (-)
28 und so fest (-), dass der Schall nicht durchgehen kann und dann kommt er durch die Form.

29 [Lehrperson betritt den Raum und holt etwas]
 30 Es kommt durch die Form der Gebirge dann zurück, irgendwie.
 31 I: Was passiert da genau?
 32 S31: Der Schall prallt ab und kommt wieder zurück. (-) Obwohl das ein Widerspruch ist zu dem
 33 was ich vorher gesagt habe.
 34 I: Wie gesagt, es ist keine Prüfung. Es gibt jetzt kein richtig und falsch. (-) Mhm. Gibt es auch
 35 nichthörbaren Schall?
 36 S31: Ich glaube, Schall kann man immer hören, aber das menschliche Gehör kann ihn nicht
 37 immer hören, aber mit technischen Geräten kann man ihn messen. Ich glaub, ab einer
 38 gewissen Höhe kann man ihn auch mit der Technik nicht mehr hören, aber man kann ihn
 39 messen.
 40 I: Zum Bild. [I legt Bild vor] Hast du schon mal so ein Bild gesehen?
 41 S31: (-) Nein.
 42 I: Das ist ein Baby, aber es ist im Bauch von seiner Mutter.
 43 S31: Ja, das wird ja durch Ultraschall.
 44 I: Hast du eine Vorstellung wie man das machen könnte so ein Bild?
 45 S31: Ich glaube, dass (-) also die Schallwellen gehen durch die Haut durch und wenn sie dann
 46 wieder auf etwas Festes treffen, dass sie das dann zurücksenden und so ein Bild entsteht.
 47 I: Ja. (-) Mhm. Wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton?
 48 S31: (--)
 49 I: Hast du eine Erklärung dafür? Was unterscheidet die, ein hoher und ein tiefer Ton?
 50 S31: Ich glaub, dass ein tiefer Ton lauter ist als ein hoher Ton. (?) Aber ich glaube, dass wenn
 51 man einen tiefen Ton ganz lang hört, dann hörst du ihn irgendwann nicht mehr.
 52 I: [I zeigt Gitarre] Bei der Gitarre. Was ist hier der Unterschied zwischen einem hohen und
 53 einem tiefen Ton?
 54 S31: Der Schall kommt aus diesem Körper – dem Korpus – aus der Gitarre, kommt der Schall
 55 heraus und durch die Saiten wird der Schall in Schwingung versetzt. (?) Oder schwingt der
 56 Schall mehr. Und dann hört man einen Ton.
 57 I: Dass man überhaupt etwas hören kann, braucht man so einen Körper?
 58 S31: Damit er den Ton gleich stark hält. Damit der Ton nicht höher oder tiefer wird. (?) Also
 59 wenn ich jetzt in einem engen Raum bin, dann höre ich – wenn ich spreche – es viel lauter
 60 als wenn ich jetzt draußen bin. Ich glaub, das ist der Unterschied
 61 I: Unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein und mit
 62 welchen Folgen?
 63 S31: Wenn es ein echt hoher Ton ist, den du die ganze Zeit hörst, dann kann ihn das
 64 Trommelfell nicht mehr wiedergeben und dann kann dein Gehör kaputt werden.
 65 I: Und Folgen?
 66 S31: (-)
 67 I: Also aufs Ohr, oder kann auch sonst was kaputt werden?

68 S31: Ich glaub, dass auch was im Kopf vorgeht. (...) Ich kann das nicht genau erklären, aber dass
69 auch etwas mit dem Gehirn passiert. Dass man die hohen Töne nicht mehr wahrnehmen
70 kann.

71 I: Vorletzte Frage. Das hast du vielleicht auch schon mal bemerkt, wenn ein Rettungsauto
72 an dir vorbei fährt. Erstens, was passiert da? Und verändert sich da auch etwas, wenn es
73 vorbeifährt?

74 S31: Man hört es (-) leise dann wird's immer lauter je näher es kommt und je weiter es weg ist
75 wird's noch leiser. Also (-) wenn es auf einen zukommt wird es lauter, als wenn es
76 weggeht.

77 I: Also die Lautstärke ändert sich. Sonst auch noch etwas?

78 S31: Man sieht halt auch, dass es weiter weg ist.

79 I: (--) Genau. Glaubst du auch, dass sich der der Sirenenton ändert?

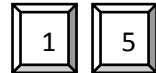
80 S31: Ich glaub, dass das so minimal ist, dass wir das mit dem menschlichen Gehör nicht hören
81 können. Ich glaub, das geht nicht.

82 I: Und braucht der Schall Zeit um sich auszubreiten?

83 S31: (--) Ja, aber ich glaub, dass sich Schall ziemlich schnell ausbreitet. Aber (--) Also es ist glaub
84 ich so schnell, dass wir das nicht merken, das ist so kurz, dass wir das nicht mitbekommen,
85 dass Schall Zeit braucht.

Interview 6

CODE: Schüler



Klasse: 3	Alter: 13	Geschlecht: w
Datum: 12.05.2017	Zeit: 13:35 - 13:47 (Ton: 9:53)	Ort: Raum 109
Inhaltliches: Schwierigkeit Laut/Leise -> Hell/dumpf		Besonderheiten beim Verlauf: Kurze Unterbrechung durch Schüler, der in den Raum kommt bei 6:53

- 1 I: Was fallen dir für Stichworte ein zum Thema Schall?
- 2 S15: So schnell? [lacht]
- 3 I: Ja.
- 4 S15: Wir haben das mal in Musik gemacht. (-) Wenn wir reden, dann stoßt das wieder ab und
5 dann kommt das wieder zurück.
- 6 Fledermäuse, weil die hören durch den Schall und je nachdem wie der Schall. (-) Was
7 noch? (--) Vielleicht die Geschwindigkeit von dem was wir hören und wie es zu uns kommt.
- 8 I: Ja, das sind schon ein paar Stichworte, super. Wie kann man Schall erzeugen? Wie kannst
9 du Schall erzeugen? Das ist das eine. Und kannst du genau beschreiben, was da passiert,
10 wie man sich das vorstellen kann?
- 11 S15: Wenn wir reden, dann kommt ein Ton aus uns raus und dann (-) Zum Beispiel hier im
12 Raum dann geht er an die Wand und kommt wieder zurück
- 13 I: Und wie breitet sich der Schall aus?
- 14 S15: (--)
- 15 I: In welche Richtungen?
- 16 S15: Nach vorn. (?)
- 17 I: Die Stimme - wenn du redest - kannst du genau erklären, was da passiert. Wie kann man
18 sich das vorstellen?
- 19 S15: Vielleicht durch Bewegung auch. (-) Weil unsere Stimme, das ist ja auch eine Bewegung,
20 zum Beispiel mit den Stimmbändern jetzt. (-) Und Schall ist ja auch eine Bewegung.
- 21 I: Und was für eine Bewegung bei den Stimmbändern?
- 22 S15: Wenn ich da dagegen klopfe [S15 zeigt nach vorne], dann bewegt sich die Tafel und dann
23 erzeugt sie auch Schall. (...)
- 24 I: Ok. (-) Wenn wir jetzt miteinander sprechen, breitet sich auch Schall aus - von mir zu dir.
25 Wo kann sich Schall überall ausbreiten?
- 26 S15: Was? Vielleicht ist es in offenen Räumen nicht so leicht wie in geschlossenen Räumen.
27 Zum Beispiel auf der Straße ist es schwerer wie im Raum.
- 28 I: Nur in Luft, oder auch Festkörper?

29 S15: Ja auch. In der Gitarre.

30 S15: Ja, denn, wenn ich auf den Tisch klopfe und am anderen Ende des Tisches mein Ohr
31 hinhalte, dann höre ich es. Es geht auch durch einen Festkörper.

32 I: Und wenn ein Hindernis zwischen einem Sender und einem Empfänger steht?

33 S15: Er muss lauter reden, als wenn er direkt vor ihm steht.

34 I: Und was passiert mit dem Schall? Wie kommt er vom Sender zum Empfänger?

35 S15: Durch Luft. (-) Wenn es ein Haus ist, dann an der Seite, statt gerade durch.

36 I: Kannst du erklären wie eine Echo zustande kommt?

37 S15: Oh, dass ist in den Bergen. Und manchmal, wenn so hohe Räume sind, dann hört man
38 auch ein Echo.

39 I: Was passiert da?

40 S15: Man hört alles zweimal.

41 I: Wie stellst du dir das vor? Was passiert da?

42 S15: (-) Dass es weiter weg ist, (-) und dadurch wir es zweimal hören. Dass es einmal näher ist
43 und es einmal weiter weg ist. Und das was weiter weg ist, hören wir noch einmal.

44 I: Ja, so stellst du dir das vor, das ist super. (-) Gibt es auch nichthörbaren Schall?

45 S15: (-) Ja. (-) Sicher (?) Nein. Nein ich glaub nicht.

46 I: Hast du so ein Bild schon einmal gesehen?

47 S15: Nein.

48 I: Das ist von einem Baby.

49 S15: (--) Ja manche Eltern reden mit dem Baby im Bauch, damit das Baby gleich die Stimme
50 von ihnen gewohnt wird und sich an sie gewohnt.

51 I: Und man kann solche Bilder machen vom Baby im Bauch. Kannst du erklären, wie man
52 das machen kann?

53 S15: Mit einem Ultraschall Ding? Mit dem Ultraschallgerät.

54 I: Und was passiert da genau? (-) Hast eine Ahnung wie man das machen könnte?

55 S15: Vielleicht ist das so ein Gerät, das so ganz genau hört (--) Mit dem man so ganz leise
56 Sachen auch hören kann und das hört dann auch die leisesten Geräusche.

57 I: Und wie kommt dann so ein Bild heraus?

58 S15: Weil da eine Kamera ist. [lacht]

59 I: Wie glaubst du, unterscheidet sich ein tiefer und ein hoher Ton?

60 S15: (--) [Schüler betritt den Raum.]

61 I: Was ist da der Unterschied? [I spielt einen hohen und tiefen Ton auf der Gitarre.]

62 S15: Vielleicht, bei einem hohen Ton ist es ein schnellerer Schall, als bei einem tieferen Ton.

63 I: Und bei einer Gitarre gibt es so einen Körper, bringt der was? [I zeigt auf Gitarre]

64 S15: Ja, dadurch wird's lauter.

65 I: Unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein?

66 S15: Wenn er ganz laut ist, können wir taub werden.

67 I: Wenn ein Rettungsauto mit der Sirene auf dich zukommt und an dir vorbeifährt, was
68 ändert sich da am Sirenenton?

69 S15: Naja, wenn es weiter weg ist, ist es tiefer, als wenn es näher bei mir ist, dann ist es laut
70 [verbessert sich] heller. Und wenn es wieder weiter weg ist, ist es wieder dumpfer.

71 I: Heller und dumpfer?

72 S15: Also höher und tiefer.

73 I: Wann ist es höher und wann tiefer?

74 S15: Höher, wenn es bei mir ist und tiefer, wenn es weg ist.

75 I: Und wie erklärst du dir, dass er zuerst höher ist und wenn es vorbei tiefer ist, der Ton?

76 S15: [fragend] Weil der tiefe Ton, weil das Geräusch länger zu mir braucht und wenn es nah
77 bei mir ist, merke ich erst, dass es heller wird und etwas tiefer wird und je nach Entfernung
78 auch tiefer wird. Weil durch – vielleicht durch den Schall – der Ton die Höhe verliert.

79 I: Letzte Frage. Es ist ja schon Pause. Braucht Schall Zeit um sich auszubreiten, oder passiert
80 das sofort?

81 S15: Nein, er braucht schon Zeit. Nicht viel Zeit, sondern wenig Zwei, aber schon ein bisschen
82 Zeit.

83 I: Weißt du was passiert, wenn sich ein Objekt noch schneller bewegt als der Schall?

84 S15: Geht das überhaupt?

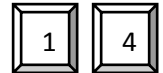
85 I: Ja. Flugzeuge gibt's, die fliegen mit Überschallgeschwindigkeit. Dann gibt's einen
86 Überschallknall.

87 S15: Ist das laut?

88 S15: Ja.

Interview 7

CODE: Schüler



Klasse: 4	Alter: 14	Geschlecht: m
Datum: 12.05.2017	Zeit: 14.05 - 14:12 (Ton: 6:01)	Ort: Raum 109
Inhaltliches: hohe Frequenz gefährlich		Besonderheiten beim Verlauf: Erinnert sich an Unterricht in der 2. Klasse

- 1 I: Was für Stichworte fallen dir zum Thema Schall ein?
- 2 S14: Schallwellen, Hören und eigentlich auch Musik oder Theater, weil da kommt ja auch Schall
3 vor – ein bisschen. Ja das war es eigentlich.
- 4 I: Wie kann man Schall erzeugen?
- 5 S14: In dem man schreit oder redet. Oder irgendetwas pfeift oder Musik hört oder Musik
6 macht.
- 7 I: Und beschreiben, was da genau passiert?
- 8 S14: Ja, also was ich weiß, kommen da so Wellen. Also es sind Schallwellen und die werden da
9 geleitet. Weil wir haben da in Physik schon einmal ein Experiment gemacht und der hat
10 sich dann so in Wellen gelegt.
- 11 I: Du hast auch Stimme gesagt. Diese Schallwellen - wie kann man sich diese vorstellen?
- 12 S14: Also das sind so Wellen, die sich ausbreiten und dann zum Ohr geleitet werden, dass man
13 es hört. Die leiten eben das Gesagte weiter.
- 14 I: Wenn wir miteinander reden dann breitet sich es eben von mir zu dir bzw. von dir zu mir
15 aus. Wo kann sich Schall ausbreiten?
- 16 S14: In der Luft. (-) Unter Wasser halt schwieriger, aber es geht auch noch.
- 17 I: Sonst irgendwelche Medien oder nur in Luft oder Wasser?
- 18 S14: Nicht, dass ich wüsste.
- 19 I: Kannst du dir vorstellen, dass sich Schall in Festkörper ausbreitet?
- 20 S14: Nein, eher nicht.
- 21 I: In welche Richtungen breitet er sich aus?
- 22 S14: In alle. Weil wenn man sich hinter jemanden stellt, hört man ihn reden, auch wenn man
23 ihn nicht sieht, dass er redet.
- 24 I: Warum geht das? Wie stellst du dir das vor?
- 25 S14: Ich stelle mir das vor, dass sie sich in alle Richtungen bewegen. Zwar kann man sie nicht
26 sehen, aber ich glaub, dass es so ist.
- 27 I: Und was passiert, wenn ein Hindernis dazwischen steht?
- 28 S14: Dann gehen die außen herum.

29 I: Also nicht durch?

30 S14: Nein, glaub nicht.

31 I: Und wie kannst du dir erklären, dass ein Echo zustande kommt?

32 S14: Dass es von der Wand abprallt und wieder zurückkommt.

33 I: Gibt es auch nichthörbaren Schall?

34 S14: Ja. (-) Fledermäuse machen Geräusche, also senden Schallwellen aus, die für den
35 Menschen zu hoch sind, aber sie können sie hören.

36 I: Hast du schon mal so ein Bild gesehen? [I legt Bild vor.] Weißt du was das ist und wie man
37 das macht?

38 S14: Nein.

39 I: Ein Ultraschallbild.

40 S14: (-) Achso, das macht man auch mit Schallwellen oder?

41 I: Kannst du dir erklären, oder vorstellen wie man so etwas machen könnte?

42 S14: Nein. Oh ja, das Einzige wäre, dass man da die Bewegungen aufnimmt und sich daraus
43 irgendwie ein Bild zeichnet.

44 I: Und was passiert mit dem Schall, wenn man es mit Schall macht?

45 S14: (--) Weiß ich nicht.

46 I: Wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton?

47 S14: Ein hoher Ton schwingt öfter, also die Schallwelle schwingt öfter. Also es sind mehr Wellen
48 und bei einem tiefen Ton sind es weniger.

49 I: Hast du das in Physik schon gelernt?

50 S14: Wir haben es kurz durchgemacht.

51 I: Heuer?

52 S14: Nein, in der zweiten Klasse.

53 I: Und warum hat eine Gitarre so einen Körper.

54 S14: Dass die Schallwellen da drinnen gespeichert werden und es dann lauter ist. Dass dadurch
55 so etwas Ähnliches wie ein Echo entsteht und dadurch lauter wird.

56 I: Und kann Schall für den Menschen schädigend sein?

57 S14: Wenn es zu laut ist und ganz nah am Ohr ist.

58 I: Was bedeutet das zu laut?

59 S14: Dass es zu viele Schwingungen hat und das Trommelfell zu stark schwingt und dann
60 einfach durchreißt.

61 I: Vielleicht hast du schon einmal beobachtet, dass ein Rettungsauto mit einer laufenden
62 Sirene auf dich zukommt und an dir vorbeifährt. Ändert sich da der Sirenton und was
63 ändert sich?

64 S14: Es wird kurz lauter und dann wieder leiser.

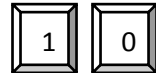
65 I: Also die Lautstärke?

66 S14: Ja, die Lautstärke.

67 I: Sonst auch noch was?
68 S14: Nein, nicht, dass ich mich jetzt erinnern könnte?
69 I: Ändert sich der Ton auch, die Höhe?
70 S14: Leicht.
71 I: Kannst du dir das erklären?
72 S14: Durch die Geschwindigkeit, dass es sich dadurch anders anhört.
73 I: Aber kannst du dir erklären warum?
74 S14: Nein.
75 I: Was sich da an der Schallwelle ändert?
76 S14: Nein.
77 I: Braucht der Schall Zeit, um sich auszubreiten?
78 S14: Ja, weil wenn man jemanden irgendwo hinstellt und er schreit oder mit einem Stecken
79 auf irgendetwas draufschlägt und sagen wir ein anderer 100m weg steht, sieht er zwar
80 wie er mit dem Stecken draufschlägt, aber hört erst ein paar Sekunden später, das (-) also
81 den Ton.
82 I: Und was passiert, wenn sich ein Objekt schneller als der Schall bewegt?
83 S14: Dann entsteht ein Knall und dann ist es aus.

Interview 8

CODE: Schüler



Klasse: 1	Alter: 11	Geschlecht: m
Datum: 12.05.2017	Zeit: 14:13 - 14:24 (Ton: 9:44)	Ort: Raum 109
Inhaltliches: Weiß für sein Alter sehr viel		Besonderheiten beim Verlauf:

- 1 I: Welche Stichworte fallen dir spontan ein, wenn du das Thema Schall hörst?
- 2 S10: Ohren (-), Gehör, Hören, Schallmauer (-)
- 3 I: Wie kann man Schall erzeugen und was passiert da genau?
- 4 S10: Also wenn man beispielsweise einen Metallblock hat und darauf eine Eisenstange haut,
5 dann kommen Schallwellen, also davon werden Schallwellen weggesendet. Und man hört
6 es, indem sie auf das Ohr treffen und dann im Trommelfeld bis zum Gehirn geleitet
7 werden.
- 8 I: Und wie kann man sich Schallwellen von diesem Metall vorstellen bis zu deinen Ohren?
- 9 S10: Wenn man zum Beispiel jetzt ein Ohr zeichnet, und da jetzt einen Amboss hingibt und da
10 jetzt andeutet, dass man auf die Stange draufschießt, dass es solche Klammern macht.
- 11 I: Und in der Luft, wenn man das jetzt nicht zeichnet, sondern was passiert da jetzt in der
12 Luft? Diese Wellen, wie schauen die aus?
- 13 S10: Ich glaub, die werden dann irgendwie durch die Luft gesendet, also nicht wortwörtlich
14 gesendet, halt die setzen sich durch die Luft und gehen weiter.
- 15 I: Okay, und wenn wir miteinander reden, breitet sich der Schall von mir zu dir und zurück,
16 durch die Luft aus, wo kann sich Schall ausbreiten?
- 17 S10: Eigentlich überall, glaub ich (-). Könnt sein, vielleicht im Vakuum nicht.
- 18 I: In Festkörpern (?)
- 19 S10: Ich glaub aber, also Schall erzeugt ja Schwingungen, und wenn man das auf eine
20 verschlossene Tür mit Schall die ganze Zeit darauf gibt, dann schwingt das in die Tür und
21 nimmt sie auf, die Schwingungen.
- 22 I: Und in welche Richtungen breitet sich Schall aus, von einer Quelle aus?
- 23 S10: Das kommt drauf an. Mhm. Weil wenn dann beispielsweise, ich rede ja gerade mit Ihnen,
24 und da spreche ich nach vorne, und wenn ich auf die Seite rede, ist es halt schwerer für
25 Sie, mich zu verstehen.
- 26 I: Und wenn ein Hindernis dazwischen ist?
- 27 S10: Dann wird der Schall gedämpft.
- 28 I: Höre ich dann trotzdem was?
- 29 S10: Kommt darauf an, wie laut der Schall ist.

30 I: Und wenn zwischen uns ein Haus ist?

31 S10: So wie ich gerade rede, dann würden Sie es wahrscheinlich nicht hören (?) aber, wenn ich
32 schreien würde, ja, dann schon.

33 I: Und wie kommt dann der Schall von dir zu mir?

34 S10: Ich glaub, entweder geht der irgendwie durchs Haus oder irgendwie drüber oder so. Das
35 Haus hat auf der Seite Mauern und übers Dach.

36 I: Wie kommt ein Echo zustande?

37 S10: Indem der Schall, also, wenn man in eine Höhle hineinschreit, dann prallt der an der Wand
38 ab und kommt wieder zurück.

39 I: Und gibt es auch nicht hörbaren Schall?

40 S10: (--) Ja, glaub schon. Sollte, glaub ich, funktionieren. Wenn man leise ist, könnte ein
41 Mensch das nicht verstehen, auch wenn man weiter weg ist.

42 I: Also zu leise, der Schall?

43 S10: Ja.

44 I: Hast du so ein Bild schon mal gesehen? [I zeigt Sonogramm]

45 S10: Ja, das ist Ultraschall, dass man das Baby sehen kann, im Bauch?

46 I: Weißt du, wie man sowas macht? Weil wir reden von Ultraschall und das ist ein Bild?

47 S10: Ich glaub, weil auf dem Monitor kann man das sehen, die haben da so ein komisches
48 Gerät, mit dem fahren sie über den Bauch, und das erzeugt Schallwellen und dann glaub
49 ich durch den Schall weiß man, da prallt es ab und so kann man sich ungenau ein Bild
50 machen. Also wo eine kurze Distanz ist, da prallt es früher ab als bei längerer Distanz.

51 I: Was glaubst du, wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton?

52 S10: (--) Ich glaub, der tiefe Ton, da sind die Schallwellen so mehr verzerrt als beim hohen.
53 Beim tiefen sind sie klarer, beim hohen sind sie mehr so verzerrt.

54 I: Mhm, und da ist eine Gitarre, was ist da der Unterschied zwischen hohem und tiefem
55 Ton?

56 S10: Ich glaub, weil da innen ist eine Höhle und die Schwingungen die erzeugen ja auch Schall
57 und die werden dann wiedergegeben durch das Loch, eben bei der Höhle. Also das ist ja
58 eine Höhle, sagen wir mal, in der Gitarre.

59 I: Also die hohen und tiefen Töne, die werden von dem Körper da gemacht?

60 S10: Na, ich glaub, die Saiten, wie geht das, die Saiten sind ja unterschiedlich dick. Die dünne
61 macht den höheren Ton und die dicke macht den tiefen Ton.

62 I: Und braucht man den Körper für etwas?

63 S10: Ja, damit es halt lauter ist. Weil der Schall prallt da überall immer wieder ab und dann
64 wird es halt lauter. Mhm. Und wir könnten das auch mit so einem Art Experiment
65 vergleichen: Wenn man bei seinem Handy Musik anmacht und die Lautsprecher in ein
66 Glas hält ohne dass sie das Glas berühren, dann ist es wie ein Lautsprecher. Und das kann
67 man auch mit Kopfhörer machen, die hält man ins Glas, ohne dass sie die Saiten berühren,
68 damit die Schwingungen berührt.

69 I: Unter welchen Bedingungen kann Schall auch für den Menschen schädigend sein?

70 S10: Zu lauter Schall eigentlich.

71 I: Was heißt zu lauter Schall?

72 S10: Wenn der Schall stark ist. Also Hohes kann auch schädigend sein. Also weil manche
73 können ja so hoch singen, dass ein Glas zerbricht. Und vielleicht ist es, weil dann das
74 Trommelfell platzt, zum Beispiel, wenn man bei einer Glocke steht, also bei der Pummerin
75 beim Stephansdom, wenn man da daneben steht und die läutet, dann platzt das
76 Trommelfell, weil es zu laut ist.

77 I: Okay. Ein Rettungsauto, vielleicht hast du das schon mal erlebt, fährt an dir vorbei, mit
78 Sirene. Es kommt auf dich zu und fährt an dir vorbei. Ändert sich da etwas am Sirenenton?

79 S10: Ja, also am Anfang ist der ganz leise und wird immer lauter, also, wenn er vor Ihnen ist,
80 dann ist er halt am lautesten, weil es halt am nächsten ist. Ich glaub, irgend so ein Erfinder
81 oder Physiker hat das herausgefunden, weil die Luft dämpft das leicht.

82 I: Mhm. Und wenn das Rettungsauto vorbei ist?

83 S10: Dann wird es auch wieder leiser.

84 I: Also ändert sich die Lautstärke oder sonst auch noch etwas?

85 S10: Ja, der Ton ist dann klarer, weil wenn er weiter weg ist, ist er schwerer zu hören.

86 I: Mhm. Und ändert sich auch die Tonhöhe?

87 S10: Es wird halt immer tiefer, weil es halt weiter weg ist, und es kann auch sein, dass wenn er
88 durch einen Tunnel fährt, dann wird es halt trotzdem lauter, weil es halt irgendwie so ein
89 Lautsprecher ist.

90 I: Und braucht Schall Zeit um sich auszubreiten?

91 S10: Ja. Wenn ich etwas sage, ist das ja nicht gleich überall im Raum. Also Schall ist schon recht
92 schnell, ist ja auch schneller als Licht.

93 I: Und jetzt hören wir auf, mit dem, was du angefangen hast: Was passiert, wenn ein Objekt
94 sich schneller als der Schall bewegt?

95 S10: Dann durchbricht es die Schallmauer.

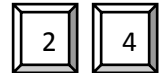
96 I: Und was passiert da?

97 S10: (--) Das sind mhm, der Motor, der erzeugt ja Schall, und wenn das Auto aber schnell ist,
98 dann sieht man zuerst das Auto und erst dann hört man den Motor, also den Schall. Man
99 sieht ja auch zuerst den Blitz und dann hört man den Donner.

100 I: Okay, gut. Dankeschön!

Interview 9

CODE: Schüler



Klasse: 2	Alter: 12	Geschlecht: w
Datum: 16.05.2017	Zeit: 8:04 - 08:18 (Ton: 10:12)	Ort: Raum 205
Inhaltliches: Schall im Universum nicht hörbar; Welle, Schwingungen kommen nicht zur Sprache		Besonderheiten beim Verlauf: Türe offen

- 1 I: Also die erste Frage ist: Was fällt dir spontan alles zum Stichwort Schall ein.
- 2 S24: Mhm. Also es ist ein Unterschied zum Echo. Wenn man einmal schreit – quasi – dann
3 kommt es einmal zurück. Und Schall ist bei (-) Ist es bei Garagen (?) bei Garagen oder
4 Schwimmbäder, aber ich habe keine Ahnung.
- 5 I: Wie kannst du Schall erzeugen? Wie kann man Schall erzeugen?
- 6 S24: Ich glaube, wenn man in einem Raum ist, wo es nicht viele Möbel gibt oder so was, und
7 nicht so viel Luftzugänge und es quasi so leer ist und wenn man dann redet. Ich weiß nicht.
- 8 I: Also unter Schall versteht man alle Töne, Geräusche, (-) alle, auch zum Beispiel das Echo,
9 das du vorher erwähnt hast. Ich werde noch ein bisschen genauer nachfragen. Aber das
10 ist zunächst mal Schall, okay? Nur, dass du es dir besser vorstellen kannst. Und was glaubst
11 du, wo kann sich Schall überall ausbreiten?
- 12 S24: (--) Also, keine Ahnung. Auf der Erde wahrscheinlich. Keine Ahnung. Ich glaube im
13 Universum eher nicht, aber auf der Erde schon.
- 14 I: Und in der Luft? Oder in auch in einem Festkörper oder Gasen, oder nur Luft?
- 15 S24: Ich glaube (-) Ich glaub in Holz. Keine Ahnung
- 16 I: Mhm. In welche Richtungen breitet sich Schall aus?
- 17 S24: In alle.
- 18 I: Und was ist, wenn ein Hindernis dazwischensteht?
- 19 S24: Also eine Wand?
- 20 I: Ja zum Beispiel, oder ein Haus, was auch immer.
- 21 S24: Dann dämpft es den Schall irgendwie ab, keine Ahnung.
- 22 I: Und wenn ein Haus dazwischenstehen steht. Also wenn zwischen uns zum Beispiel ein
23 Haus stehen würde, würdest du dann was von mir hören?
- 24 S24: Ja, schon, weil das Haus ist ja nicht wieder wie eine Mauer, die mich jetzt zumauert.
- 25 I: Aber, wie kommt dann der Schall von mir zu dir?
- 26 S24: So [S zeigt mit es mit den beiden Händen einen Bogen]
- 27 I: Rundherum?
- 28 S24: Ja, quasi

29 I: (-) Und wir haben schon über das Echo gesprochen. Kannst du erklären, wie das zustande
30 kommt?

31 S24: Mhm. (...) Wenn man. (-) Ich kann ein Beispiel nennen. Wenn man bei einer Schlucht
32 „Echo“ schreit, dann kommt es quasi wieder zurück. Vielleicht weil es so (-) ein Hohlraum
33 ist, und wenn man dann Echo schreit, dann schreit es zurück, keine Ahnung.

34 I: Kannst du dir das vorstellen: Also, du schreist zum Beispiel. Mit diesem Schrei. Wie geht
35 das, dass du den auf einmal wieder hörst. Wie stellst du dir das vor?

36 S24: Vielleicht (--) Keine Ahnung. (-) Die Wände von der Schlucht prallen ihn wieder ab oder so.

37 I: Und glaubst du es gibt auch nichthörbaren Schall?

38 S24: Ja, bei Menschen auf jeden Fall. (-) Vielleicht gibt es Tiere, die können besser hören.

39 I: Und hast du so ein Bild vielleicht schon einmal gesehen?

40 S24: Ultraschall.

41 I: Genau. Kannst du dir vorstellen wie man so etwas macht?

42 S24: (...)

43 I: Also es heißt ja Ultraschallbild.

44 S24: Also man macht mit Ton ein Bild?

45 I: [I reagiert bestätigend]

46 S24: Es ist ja so ein Gerät. (...) Keine Ahnung. (...) Vielleicht wenn der Schall irgendwie im Körper
47 ist, dann kann man da durchsehen. Keine Ahnung.

48 I: Alles, was du sagst, passt, okay?! Es ist auch keine Prüfung. Auch wenn du es nicht weißt,
49 ist es nicht schlimm und wenn du dir etwas vorstellst, irgendwie, einfach sagen. (-) Genau,
50 was glaubst du, wie unterscheiden sich ein hoher und ein tiefer Ton?

51 S24: (...) Naja. (-) Ein hoher Ton ist irgendwie (-) weiß ich nicht, meistens lauter. Mir kommt das
52 so vor. Und ein tiefer Ton kann nicht so laut sein, also es kommt einem so vor.

53 I: [zeigt Gitarre] Da haben wir einen hohen Ton [I zupft hohes E] und einen tiefen [I zupft
54 tiefes E].

55 S24: Die waren jetzt gleich laut. Der hohe klingt viel klarer.

56 I: Aber, was da physikalisch dahinterstecken könnte weißt du nicht?

57 S24: Nein.

58 I: Und (-), was glaubst du warum eine Gitarre so einen Körper hat – so einen Korpus?

59 S24: Weil es hohl ist, drinnen.

60 I: Aber, warum?

61 S24: Damit der Schall quasi (-) drinnen so reingeht und raus und dann ist es lauter.

62 I: Was glaubst du unter welchen Bedingungen kann Schall schädigend sein und mit welchen
63 Folgen?

64 S24: Ich glaub, wenn etwas ganz ganz laut ist. Dann tut es in den Ohren weh und das
65 Trommelfeld könnte platzen, wenn es mega laut ist.

66 I: Gut. (...) Kannst du dir vorstellen, dass Schall – wenn er von mir zu dir kommt – mit der
67 Luft auch was passiert, oder ist das unabhängig davon?

68 S24: Mhm.

69 I: Also was hat der Schall mit der Luft zu tun? Und hat er was mit der Luft zu tun, oder ist
70 der unabhängig von der Luft?

71 S24: Vielleicht hat er was mit der Luft zu tun. Also ich habe irgendwo mal gehört, dass es
72 irgendwo im Universum, kann kein Schall entstehen. Darum ist es bei Starwars zum
73 Beispiel nicht so richtig, dass man diese ganzen Raketen hört. Darum glaube ich, dass der
74 Schall schon etwas mit der Luft zu tun hat.

75 I: Mhm. Und glaubst du Schall braucht Zeit um sich auszubreiten?

76 S24: Ja, schon Zeit, aber nicht so lange. Es braucht Zeit.

77 I: Weißt du was passiert, wenn ein Objekt schneller als der Schall ist?

78 S24: (...)

79 I: Was meinen Sie mit Objekt?

80 S24: Zum Beispiel ein Flugzeug.

81 I: Dann kann es vielleicht den Schall nicht hören, keine Ahnung.

82 S24: Wenn ein Rettungsauto an dir vorbei fährt – letzte Frage – wenn es auf dich zukommt, an
83 dir vorbei fährt. Ändert sich da was? Und was ändert sich da?

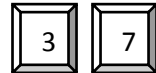
84 I: Die Lautstärke. Wenn es ganz nah ist, hört man es lauter, als wenn es weiter wegfährt,
85 dann ist es leiser, weil das Auto hat einen gewissen Schall quasi. Und der verändert sich
86 nicht, aber wenn das Auto weiter weg ist, wird es für mich leiser, weil ich an meinem Platz
87 stehen bleibt.

88 S24: Und an der Tonhöhe ändert sich da was?

89 I: (-) Also mir ist nichts aufgefallen.

Interview 10

CODE: Schüler



Klasse: 2	Alter: 12	Geschlecht: w
Datum: 16.05.2017	Zeit: 8:19 - 10:05 (Ton: 10:12)	Ort: Raum 205
Inhaltliches: Schallwelle		Besonderheiten beim Verlauf: Türe offen

- 1 I: Was fällt dir spontan alles zum Stichwort Schall ein?
- 2 S37: Radio, keine Ahnung. Ton (-), Geschwindigkeit.
- 3 I: Wie kann man Schall erzeugen?
- 4 S37: Mit einem Ton.
- 5 I: Wie kann man einen Ton erzeugen?
- 6 S37: Wenn man redet. (-) Wenn man ein Instrument spielt, keine Ahnung.
- 7 I: Was passiert da genau? Wie stellst du dir das vor?
- 8 S37: Ich weiß nicht (-) Ich habe das immer so mit Schallwellen oder so gesehen. Dass das dann
- 9 so an unser Gehör kommt und wir dann das hören. So, quasi.
- 10 I: Also man produziert Schallwellen?
- 11 S37: Ja, so cirka.
- 12 I: Und was passiert in der Luft?
- 13 S37: Nein, das ist natürlich unsichtbar. Aber das sind so Kreise die immer größer werden. (--)
- 14 Ich habe das schon mal eingezeichnet gesehen.
- 15 I: Und was ist da die Welle? Wo ist da die Welle? (-) Weil bei einer Wasserwelle schwingt ja
- 16 sozusagen das Wasser. Was passiert bei Schall? Was passiert da? Oder schwingt da
- 17 überhaupt etwas?
- 18 S37: Ich weiß nicht, wie ich mir das vorstelle?
- 19 I: Ja, sicher. Ist alles richtig.
- 20 S37: Also wenn das jetzt spielen würde. [S37 zeigt auf die Gitarre.] Dann stell ich mir das vor –
- 21 also das ist natürlich unsichtbar – aber, dass da immer größere Kreise rauskommen quasi
- 22 und dann zu unserem Gehör.
- 23 I: Und glaubst du da schwingt da etwas?
- 24 S37: Ja schon.
- 25 I: Und was?
- 26 S37: Na, die Schallwellen. (-) Keine Ahnung wie ich das sagen soll.

27 I: (-) Das ist auch die nächste Frage auch: Wenn wir miteinander reden, kommen
 28 Schallwellen von mir zu dir. Dann breiten sie sich in Luft aus. Wo breitet sich Schall überall
 29 aus?

30 S37: Naja, wenn hier alle Fenster und Türen zu wären, dann nur hier im Raum. Außer es wäre
 31 super super laute Musik, dann würde man das auch draußen eventuell hören, aber (-)
 32 Mhm.

33 I: Nur in Luft, oder auch in Festkörper?

34 S37: Schon in der Luft, aber es kommt schon irgendwie an unser Gehör. Also, ja.

35 I: Auch in Festkörper? Also auch in Holz?

36 S37: Ja, schon.

37 I: Und in welche Richtungen breitet sich Schall aus?

38 S37: Überall. Oder? Also wenn ich geradeaus gehe, dann würde es eher in die Richtung gehen.
 39 Kommt drauf an, auch auf die Lautstärke.

40 I: Und was ist aber, wenn ein Hindernis dazwischensteht?

41 S37: Dann würde es abprallen quasi. Aber man würde es trotzdem hören, aber es wäre halt
 42 leise.

43 I: Und warum kann man es dann hören? Geht's dann durch, oder?

44 S37: Nein, es geht nicht durch. Aber es würde so (-) [S37 gestikuliert mit den Händen.]

45 I: Rundherum?!

46 S37: Naja, weil die Schallwellen abweichen rundherum.

47 I: Und kannst du erklären wie ein Echo zu Stande kommt?

48 S37: Das ist eine gute Frage. Eigentlich weiß ich das so (-) immer so in den Bergen wird das
 49 dargestellt.

50 I: Aber du hast sicher schon einmal ein Echo gehört?

51 S37: Ja, aber nicht so extrem wie in den Filmen mit: Echo, Echo, Echo

52 I: [lacht]

53 S37: Also nur, dass es ein bisschen geschallt hat, quasi. Ich weiß nicht.

54 I: Wie kannst du dir das erklären, dass du das Echo dann wieder hörst?

55 S37: Keine Ahnung, vielleicht prallen dann die Schallwellen dann wieder ab, oder so.

56 I: Glaubst du es gibt es auch nichthörbaren Schall?

57 S37: (--) Gute Frage. (--) Ja, kann sein. Vielleicht. (--) Naja, aber ich kann es mir irgendwie nicht
 58 vorstellen. Weil es ist doch ein Ton, oder? Wenn man es nicht hören kann, aber (-) Nein,
 59 ich glaub nicht.

60 I: Vielleicht hast du schon einmal ein Bild gesehen? [I legt Sonogramm vor.]

61 S37: [Schaut Bild an und denkt nach]

62 I: Von einem Baby im Bauch seiner Mutter.

63 S37: Oh, ich habe es zuerst gar nicht erkannt was es ist. [S37 lacht].

64 I: Weißt du wie man so etwas macht?

65 S37: Wie?

66 I: Wie kann man ein Bild von einem Baby im Bauch der Mutter?

67 S37: Röntgen, oder?

68 I: Röntgen ok. Also es ist Ultraschall.

69 S37: Ah, ok.

70 I: Kannst du erklären wie man so etwas machen kann mit Schall?

71 S37: (-) Keine Ahnung. (--) Ich weiß nur, dass man da irgendwie ein Gerät auf dem Bauch gibt
 72 und dann sieht man das so und vorne eine Creme draufgibt. Das habe ich schon mal
 73 irgendwo mal in einem Film gesehen.

74 I: Wie das Bild zustande kommt weißt du nicht?

75 S37: Nein.

76 I: Nicht so schlimm. (-) Was unterscheiden die Töne, wenn ich einen hohen Ton singe und
 77 einen tiefen Ton, oder einen tiefen und hohen Ton höre. Was unterscheidet ihn?

78 S37: Ich glaube die Schallwellen unterscheiden sich irgendwie.

79 I: Wie?

80 S37: Ich weiß nicht. (-) Entweder werden sie kleiner oder größer oder schwingen stärker oder
 81 nicht so stark. Aber ich weiß nicht genau, wie das bei den hohen und bei den tiefen ist.

82 I: [I macht Gitarrensack auf.] Bei der Gitarre zum Beispiel haben wir auch so hohe und tiefe
 83 Töne und zusätzlich so einen Korpus. Glaubst du, den braucht es? Dass wir den Ton hören,
 84 oder die Gitarre hören? Oder ist der nur da, dass man sie richtig angreifen kann?

85 S37: Was jetzt?

86 I: [I zeigt den Gitarrenkorpus] Der Körper. Das hier.

87 S37: Ach so. Ich glaub schon, dass das irgendjemand bewusst gemacht hat, damit man die
 88 Schallwellen besser hören kann und so. Ich glaub nicht, dass sich das jemand einfach so
 89 gedacht hat. (-) Naja, einerseits ist es auch dazu da, dass man es besser halten kann, weil
 90 man dann (-) Aber ja, ich weiß es nicht. Irgendwie. Ich glaub schon, dass es mit dem Ton
 91 etwas zu tun hat.

92 I: Was passiert mit dem Ton, oder was glaubst du für was man es brauchen könnte?

93 S37: Naja, er verbreitet sich ja, aber (-) keine Ahnung.

94 I: Und unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein?

95 S37: Wenn es zu laut ist?

96 I: Nur, wenn es zu laut ist?

97 S37: Also wenn man redet, glaube ich nicht, dass das für jemand anderen schädigend ist. Aber
 98 wenn man super laute Musik mit Kopfhörer hört.

99 I: Oder in der Klasse?

100 S37: Ja kommt drauf an welche Klasse? [S37 + I lachen]

101 I: Ein Rettungsauto kommt auf dich zu und fährt an dir vorbei.

102 S37: Oh ja, die Sirene.

103 I: Genau, die Sirene. Verändert sich da etwas beim Vorbeifahren?

104 S37: Jaja. Also zuerst. Ich weiß es nicht mehr genau. Es hört sich auf jeden Fall anders an. Ich
 105 habe mir sogar schon einmal so ein Video – die Erklärung – dazu angeschaut, aber ich

106 hab's vergessen. Aber am Anfang hört es sich anders an, als wenn es an dir vorbeigefahren
107 ist. Aber ich weiß ehrlich gesagt nicht mehr wieso.

108 I: Und was ist anders?

109 S37: (-) Ich weiß es ehrlich gesagt nicht. Ich habe schon lang kein Sirenenauto mehr gehört,
110 aber zuerst, es klingt einfach zuerst anders und dann. Ich glaub es wird tiefer (?), aber
111 auch vom Geräusch und von den Tönen her ändert es sich.

112 I: Und wie erklärst du dir das, dass es tiefer wird?

113 S37: (-) Ich weiß nicht, vielleicht (--) Eigentlich eine gute Frage. Ich weiß es nicht.

114 I: Glaubst du Schall braucht Zeit, um sich auszubreiten?

115 S37: Ja, aber es ist eine sehr, sehr geringe Zeit. Aber natürlich ja.

116 I: Und was passiert, wenn sich ein Objekt – zum Beispiel ein Flugzeug – schneller als der
117 Schall bewegt?

118 S37: Ja, es gab auch schon einmal so ein Flugzeug. Aber irgendein Flugzeug, das schneller war,
119 ist dann glaube ich verbrannt oder abgestürzt oder so, aber (-) Wenn es sich schneller als
120 der Schall bewegt, ist das schon sehr, sehr schnell. Ich weiß nicht genau, was soll ich jetzt
121 darauf sagen? Es gibt's auf jeden Fall oder gab es.

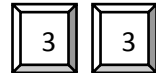
122 I: Und was passiert, wenn es schneller ist, weißt du das?

123 S37: Nein.

124 I: Es gibt einen Überschallknall.

Interview 11

CODE: Schüler



Klasse: 4	Alter: 14	Geschlecht: w
Datum: 18.05.2017	Zeit: 12:05 - 12:21 (Ton: 12:57)	Ort: Chemiesaal
Inhaltliches: Schallwände, ...	Besonderheiten beim Verlauf: Fenster offen	

- 1 I: Was fällt dir spontan ein, wenn du das Stichwort Schall hörst?
- 2 S33: Also erstmal denk ich daran, wenn man auf der Autobahn fährt, dass es da Schallwände
3 gibt. Also wenn man auf der Autobahn fährt, da gibt es ja sehr viel Lärm. Und wenn da
4 dahinter zum Beispiel Dörfer sind, damit die von dem ganzen Lärm nicht so sehr
5 beeinflusst werden.
- 6 I: Und weißt du, was da genau passiert?
- 7 S33: Das wird abgefangen. Nein, weiß ich nicht. Keine Ahnung. Das sind halt einfach nur runde
8 Wände und da prallt der Schall dagegen und dadurch, dass sie so hoch sind. Also Schall
9 wird nur durch Luft weitertransportiert. Stimmt das? Bin mir jetzt echt gar nicht sicher.
10 Und der wird halt glaub ich abgefangen und zurückgeleitet.
- 11 I: Mhm. Und sonst? Du wolltest noch ein paar andere Sachen sagen.
- 12 S33: Schall wird durch Luft weitertransportiert. Also nur dadurch kannst du hören. Also es sind
13 Schwingungen und dadurch kannst du hören. Da haben wir mit dem Herrn Professor X.
14 [anonymisiert] ein Experiment gemacht. Er hat eine Röhre gehabt mit Sand drinnen und
15 dann hat er Schallwellen durchgelassen, da waren glaub ich dann solche Rippen, und
16 deshalb hat man gesehen, dass er da war. Und wenn man redet, produziert man Schall.
- 17 I: Wie kann man Schall erzeugen?
- 18 S33: Wenn man redet, wenn man wo dranklopft.
- 19 I: Kannst du beschreiben, was da genau passiert, wenn du Schall erzeugst?
- 20 S33: Wenn man zum Beispiel auf eine Trommel hört, da ist ja dann so ein Trommelfell und das
21 vibriert dann und das erzeugt dann Schallwellen und das verbreitet sich halt. Ja, das
22 gelangt dann zum Ohr und dann gelangt es zum Trommelfell, dann Hammer, Amboss,
23 Steigbügel, glaub ich. Und dann kommt es zum ovalen Fenster, das ist eine Membran,
24 dann wird es elektrisch, nein, dann wird es in mechanische Impulse umgewandelt, dann
25 kommt es in die Schnecke, dann kommt es in den Paukengang, nein, Vorhofgang, dann
26 Schneckentor, dann gibt es die Lymphflüssigkeit, dann gibt es den unteren Paukengang,
27 dann gibt es den Hörnerv, der das in elektrische Impulse umwandelt, und dann gelangt es
28 über den Hörnerv ins Gehirn.
- 29 I: Hast du das gerade gelernt?
- 30 S33: Ja, für den Bio-Test. Hoffentlich stimmt es!

31 I: [I + S33 lachen] Super! Mhm. Du hast gesagt, es wird Schall erzeugt, mit der Trommel.
 32 Und diese Trommel, das Fell, vibriert dann, hast du gesagt?!

33 S33: Ja, es fängt zum Schwingen an.

34 I: Und was für eine Welle ist das und wie geht das mit der Luft? Wie geht da eine Schallwelle
 35 durch von dieser Vibration, von diesem Schwingen des Trommelfells?

36 S33: Also, dass es zum Schwingen anfängt, die Trommel, und das erzeugt dann irgendwie
 37 Schallwellen und ich stell mir das so vor, es kann ja nur Schall transportiert werden, wenn
 38 ich mir das richtig gemerkt habe, wenn Luft da ist. Also im Weltall, wenn da keine Luft ist,
 39 geht das nicht. Und dann stell ich mir vor, das sind einfach solche Wellen und die wandern
 40 immer weiter zum Ohr.

41 I: Mhm. Okay. Und (--) kann sich Schall, das hast du eh schon überlegt, nur in Luft
 42 ausbreiten? Also im Universum, hast du gesagt, nicht (?), aber in Luft?

43 S33: Im Universum nicht. Also es muss ein Medium da sein, so könnte man das ausdrücken,
 44 weil das ist im Universum nicht. Im Wasser (-) ich bin der Annahme, dass da ein Medium
 45 sein muss, wie zum Beispiel Luft oder Wasser (?) und dann kann sich's halt ausbreiten.
 46 Weil im Nichts, kann es sich schwer ausbreiten.

47 I: Also im Wasser geht es schon?

48 S33: Ja, ich glaub schon.

49 I: Und in Festkörpern?

50 S33: Nein, ich glaub, die müssen, das Medium muss gasförmig oder flüssig sein. Weil fest, da
 51 gibt's ja auch Teilchen, und die bewegen sich zum Beispiel nur ganz langsam und in flüssig
 52 und gasförmig bewegen sie sich ja weiter auseinander. Verstehen Sie das?

53 I: Ja, aber ich darf nicht sagen, ob es richtig oder falsch ist. Ich frag einfach, was du dir
 54 vorstellst.

55 S33: Ich glaub, in festen eher nicht, nur in flüssigen und gasförmigen.

56 I: Und in welche Richtung kann sich Schall ausbreiten?

57 S33: In alle.

58 I: Und was passiert, wenn ein Hindernis dazwischensteht?

59 S33: Es springt drüber? Also wenn ein Hindernis ist, versucht es darüber zu kommen. Also es
 60 wird jetzt nicht (--), ah, warte mal, die Fledermäuse machen ja irgend so etwas.

61 I: Ja, dazu kommen wir noch.

62 S33: Bei Hindernissen, die werden abgeprallt und wieder zurückgeworfen, die Schallwellen.
 63 Und darum können auch Fledermäuse wissen, ob da jetzt davor ein Gegenstand ist, wo
 64 sie anprallen oder nicht.

65 I: Was ist, wenn wir uns unterhalten wollen, ich stehe vor dem Haus, du dahinter, also
 66 zwischen uns ist ein Haus. Was passiert da? Da prallt der Schall dann ab, oder?

67 S33: Da versucht er vorbei zu kommen.

68 I: Wie kommt ein Echo zustande?

69 S33: Mhm. Indem es abprallt.

70 I: Und, du hast das eh schon ein bisschen gesagt, gibt es auch nicht hörbaren Schall?

71 S33: Für das menschliche Ohr nicht hörbar? Oder überhaupt nicht hörbar?

72 I: Genau, einen für das menschliche Ohr nicht hörbaren Schall.

73 S33: Mhm, nein ich glaub nicht. Also es kann natürlich sehr leise nicht. (-) Es gibt, glaub ich,
 74 nicht hörbaren Schall, den das menschliche Ohr nicht mehr hören kann, weil es entweder
 75 zu leise oder zu laut ist und das Trommelfell dabei platzen würde.

76 I: Hast du so ein Bild schon mal gesehen? [I zeigt Sonogramm]

77 S33: Nein.

78 I: Das ist ein Ultraschallbild, von einem Baby im Bauch. Kannst du dir das vorstellen?

79 S33: Ja.

80 I: Und das macht man mit Ultraschall. Hast du eine Idee, wie man das produzieren kann?

81 S33: Es werden Schallwellen abgegeben und die wandern durch. Okay, es kann durch feste
 82 Körper, weil anders kann es sonst nicht funktionieren. Und dann dringen die Schallwellen
 83 durch und prallen dann je nach dem ab, wie zum Beispiel beim Kopf würden sie halt
 84 abprallen und dann kann so ein Bild erstellt werden, wo man dann weiß, da befindet sich
 85 der Fuß, da befindet sich der Kopf.

86 I: Also durch Abprallen? Schall geht rein und prallt ab und dann?

87 S33: Ja, dann verschwindet er, der kann ja nicht für immer da drinnen bleiben. Er prallt ab und
 88 dann geht er zurück. Er prallt ab und dann geht er zurück, weil sonst würde man ja nicht
 89 das Bild erkennen. Er kann ja abprallen und wenn er nie wieder zurückkehrt, das bringt ja
 90 dann der Forschung nichts.

91 I: Was ist der Unterschied zwischen einem hohen und einem tiefen Ton?

92 S33: Das habe ich mal in Musik gelernt. Mhm (--). Weiß ich ehrlich gesagt gar nicht.

93 I: Schau mal die Gitarre an. Ich mach mal einen hohen Ton [I schlägt hohe e-Saite an] und
 94 einen tiefen Ton [I schlägt tiefe e-Saite an]. Rein physikalisch, was glaubst du steckt da
 95 dahinter?

96 S33: Verbreiten sich die Schallwellen beim höheren Ton zackiger, also in mehr Bögen vielleicht
 97 (?) und beim tiefen Ton eher weiter auseinander.

98 I: Und warum, glaubst du, hat so eine Gitarre [I zeigt Gitarre] so einen Körper, einen Korpus,
 99 dran? Rein ästhetische Gründe oder dass man sie besser halten kann, praktische Gründe?

100 S33: Dass man es hört, dass es sich halt verbreitet. Das ist ehrlich gesagt schwer. Die
 101 Schallwellen kommen hinein und prallen ab und dann hört man halt den Ton länger, hätte
 102 ich gesagt.

103 I: Mhm.

104 S33: Dass man es besser wahrnimmt.

105 I: Unter welchen Bedingungen ist Schall schädigend für den Menschen?

106 S33: Also bei Tönen wäre es, wenn es zu hohe Töne sind, wenn es zu laut ist. Mhm. Wenn es
 107 zu laut ist, hätte ich gesagt.

108 I: Wenn ein Rettungsauto auf dich zukommt, mit der lauten Sirene und an dir vorbeifährt.
 109 Was ändert sich da?

110 S33: Desto näher das Rettungsauto kommt, desto lauter wird es. Und wenn es wegfährt, wird
 111 es immer leiser. Die Schallwellen kommen halt direkt zu dir. Mhm. Die Schallwellen, wenn
 112 man einen Ton abspielt, ist er laut und wird immer leiser, weil die Schallwellen immer
 113 langsamer werden (?), immer weniger (?), weiß nicht. Also wenn das Rettungsauto

114 kommt, hörst du es, weil die Schallwellen gleich direkt zu dir kommen und sie noch frisch,
 115 so zu sagen, sind, sie sind gerade produziert worden (?), weil da, ja, ehrlich gesagt, keine
 116 Ahnung, wie man das beschreiben soll.

117 I: Also die Lautstärke ändert sich?

118 S33: Ja.

119 I: Sonst noch was? Die Tonhöhe?

120 S33: Die Tonhöhe bleibt immer dieselbe, nur die Lautstärke ändert sich, wenn es vorbeifährt.

121 I: Braucht der Schall auch Zeit um sich auszubreiten?

122 S33: Ja.

123 I: Was passiert, wenn ein Objekt schneller als der Schall ist, geht das überhaupt, dass sich
 124 ein Objekt schneller als der Schall ausbreitet?

125 S33: (-) Glaub nicht.

126 I: Was glaubst du, wenn jetzt eine Schallwelle ausgesandt wird, was macht das mit der Luft?
 127 Macht das etwas mit der Luft oder braucht es die Luft?

128 S33: Es sind Schwingungen.

129 I: Also die Luft schwingt mit?

130 S33: Ja, hätte ich gesagt.

131 I: Und wenn man jetzt zwei Schallquellen hat, also eine Schallquelle macht einen
 132 bestimmten Ton und dann gibt man eine zweite Schallquelle dazu, wie schaut das dann
 133 mit der Lautstärke aus?

134 S33: Die Lautstärke ändert sich nicht. Also wenn beide dieselbe Lautstärke haben, ändert sie
 135 sich nicht. Außer wenn man dann weiter entfernt ist, dann wird es immer leiser und sonst
 136 nicht?

137 I: Aber wird es lauter, wenn man eine zweite Schallquelle dazugibt, die genau den gleichen
 138 Ton macht?

139 S33: Hm. Ja eigentlich schon, weil beim Orchester wird es ja auch lauter. Ja, dann eigentlich
 140 schon.

141 I: Was glaubst du wieviel lauter?

142 S33: Je nachdem wie viele man dazustellen, lauter. Aber wenn man nur zwei hat, ehrlich gesagt
 143 nicht so viel.

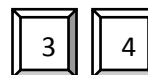
144 I: Also nicht doppelt so viel?

145 S33: Nein

146 I: Okay. Gut. Dankeschön.

Interview 12

CODE: Schüler



Klasse: 3	Alter: 13	Geschlecht: w
Datum: 23.05.2017	Zeit: 14:52 - 15:07 (Ton: 12:44)	Ort: Raum f204
Inhaltliches: Schall durch Haus, Vermischung von Ultraschall und Röntgen	Besonderheiten beim Verlauf: Schülerin tritt bei 5:58 in den Raum - kurze Unterbrechung, nochmals bei 8:01. 8:43 Flasche wegen Vorhängen am Boden, I schließt Fenster	

- 1 I: Was fällt dir spontan zum Thema Schall ein?
- 2 S34: Wenn man etwas sagt, erzeugt der Mund Schwingungen. Und diese Schwingungen nimmt
3 unser Ohr wahr. Es gibt auch die Schallgeschwindigkeit. Da bewegt man sich so schnell
4 wie der Schall. Aber das gibt es, glaube ich, nur in Filmen, bis jetzt. Vielleicht gibt's das ja
5 bald.
- 6 I: Du hast schon gesagt es gibt Schwingungen. Zum Beispielspiel von der Stimme. Wie kann
7 man sich das vorstellen? Wie geht es von mir zu dir?
- 8 S34: Es ist im Raum. Wenn im Raum keine Luft ist, könnt man ja nichts hören. Ich glaube, Schall
9 braucht etwas, wo er weiter schwingen kann und die Luft hilft ihm dabei.
- 10 I: Wie kann man Schall erzeugen?
- 11 S34: In dem man zum Beispiel rauf kloppt. [S34 kloppt mit Hand auf den Tisch.] Durch Energie,
12 durch physische Energie kann man Schall erzeugen. [S34 grinst]
- 13 I: Kann sich Schall in dem Fall nur in Luft ausbreiten?
- 14 S34: Nein, es gibt auch (-) Obwohl (-) Ich bin mir gar nicht sicher. Ich glaub schon nur in Luft.
- 15 I: Und in welche Richtung breitet sich Schall aus?
- 16 S34: Also, von dir weg. (--) Also von einer Person oder einem Tier, das ein Geräusch oder einen
17 Schall erzeugt hat, von ihm weg.
- 18 I: In welche Richtungen, gerade aus?
- 19 S34: Nicht geradeaus, sondern so. [S34 zeigt mit beiden Händen die Richtung vom Mund weg
20 an.] Und es kann auch von den Wänden abprallen.
- 21 I: So wie ein Trichter?
- 22 S34: Ja.
- 23 I: Und was ist wenn ein Hindernis dazwischensteht?
- 24 S34: Dann prallt es ab. Das machen die Fledermäuse. Die erzeugen so hohe Töne. Die können
25 das hören und dann hören sie, was früher zurückkommt, wenn da ein Insekt ist und dann
26 wissen sie wo ein Insekt ist, denn die sehen ja nichts.
- 27 I: Das heißt, wenn du vor der Schule stehst und ich dahinter dann höre ich auch nichts?
- 28 S34: Nein, natürlich, aber schwächer.

29 I: Wie geht das dann?

30 S34: Ich dämpfe es sozusagen ab?

31 I: Wie kommt der Schall von der Vorderseite auf die Rückseite?

32 S34: Durch den Wind. [S34 lacht]. (-) Keine Ahnung. Wenn ich normal rede hört man es sicher
 33 nicht, aber, wenn ich lauter schreie, dann könnte man es vielleicht hören. Ich bin mir jetzt
 34 nicht sicher. Aber wenn man leise redet, hört man es sicher nicht, da ist der Schall zu
 35 schwach.

36 I: Aber wie kann jemand dann hinter einem Haus was hören?

37 S34: In dem man schreit.

38 I: Aber wie geht das? Wie kommt der Schall von einem Sender zu einem Empfänger?

39 S34: Naja der Schall kann ja durch Gegenstände durchgehen. Nur manchmal prallt er ab. Ein
 40 Teil prallt ab und geht dann zurück. Und auf der anderen Seite hört man es halt nur
 41 schwächer. Das haben wir schon einmal erlebt, als wir draußen gewartet haben im
 42 Musiksaal hat der Herr Professor X [anonymisiert] angefangen zu, war wütend und hat
 43 geschrien und man hat es gehört.

44 I: Also zusammenfassend, was würdest du sagen?

45 S34: Also ich glaube, er kann durch Räume durchgehen, aber abgedämpft.

46 I: Also durch die Schule durch?

47 S34: Ja.

48 I: Wie kommt ein Echo zu Stande?

49 S34: Ein Echo? Ich bin mir jetzt nicht sicher, aber ich glaube, wenn man in einen Brunnen – das
 50 ist das beste Beispiel glaube ich – Da unten ist ja ein Ende und da gibt es ja eine Sackgasse
 51 und dann kommt es wieder zurück. Und wenn sonst kein Geräusch da ist und (--) dann
 52 geht es runter und wieder rauf und das öfters, weil die gegenseitig abprallen die Schalle.
 53 [S34 zeigt es mit den Händen]

54 I: Also sie treffen sich wieder?

55 S34: Ja. Aha. Ok.

56 I: Und gibt es auch nichthörbaren Schall?

57 S34: Ja, das von den Fledermäusen, das wir nicht wahrnehmen können, wir Menschen.

58 I: Hast du so ein Bild auch schon einmal gesehen?

59 S34: Mhm, nein.

60 I: Das ist ein Baby im Bauch seiner Mutter.

61 S34: Achso, also das Baby kann ja alles mithören.

62 I: Ja, aber das ist ja im Bauch drinnen. Wie kann man so etwas machen?

63 S34: Ja, das Gerät sendet einen Schall rein und er misst die Distanz wie lange der Schall braucht
 64 um zurückzukommen.

65 I: Warte kurz bitte. [I unterbricht wegen Schülerin, die den Raum betritt.]

66 S34: Wobei sind wir stehen geblieben? Ahja, das Gerät sendet, man kann auch Ultraschalle
 67 machen, wenn man sich etwas gebrochen hat und man will den Knochen sehen und da
 68 schickt das Gerät einen Schall und schaut, ob was zurückkommt bei manchen Teilen und

69 wenn er bei manchen Teilen etwas nicht zurückbekommt, dann sieht er, dass da ein Loch
70 ist. Und wenn es zurückkommt, dann ist da ein Knochen. Und umso dunkler das Licht ist
71 – glaube ich – umso länger hat der Schall gebraucht um zurückzukommen.

72 I: Ist das Ultraschall oder ist das Röntgen?

73 S34: Aber Röntgen funktioniert doch auf Basis von Ultraschall, oder?

74 I: Das ist ein bisschen ein Unterschied.

75 S34: Dann habe ich es falsch verstanden.

76 I: Wie glaubst du, unterscheidet sich ein hoher und ein tiefer Ton?

77 S34: Wenn es ein hoher Ton ist, wenn viele Schalle gleichzeitig, glaube ich, wenn du viele
78 Schalle gleichzeitig an deinen Ohren wahrnehmen kannst und viel mehr Schwingung. Und
79 tief ist es, wenn es so lange schwingt.

80 I: Von wo weißt du das?

81 S34: Ja, ich habe es mir gedacht, weil beim Kontrabass ist da so ein großer Hohlraum. Wenn
82 man da so zupft, dann schwingt das so ganz langsam.

83 I: Ah, aus der Musik. [Schülerin betritt abermals den Raum, I redet kurz mit ihr.]

84 I: Ein Kontrabass, warum hat der so ein Loch?

85 S34: Das ist ein (--) Konsonanzkörper. Das haben wir in Musik gelernt, weil er nicht die
86 Schwingungen (--)

87 I: Nicht Konsonantkörper,

88 S34: Das ist ein [S34 überlegt.]

89 I: Resonanzkörper

90 S34: Resonanzkörper. Der nimmt die Schwingungen wahr und gibt sie stärker weiter, weil da
91 so ein großer Hohlraum ist.

92 I: Unter welchen Bedingungen kann Schall für den Menschen schädigend sein, mit welchen
93 Folgen?

94 S34: Wenn es halt so ein richtig hoher Schall ist, dann bekommt man Hörschäden. Und wenn
95 man richtig laut Musik hört, können diese Fäden einfach abbrechen, dann kann man
96 schwerhörig werden.

97 I: Hoch, laut, oder beides?

98 S34: Mhm, wenn generell der Schall so stark ist, dass diese Fäden abreißen können, die
99 Schwingungen erzeugen.

100 I: Die Höhe, oder nein die Lautstärke, was ist es jetzt?

101 S34: Die Lautstärke. Wie laut der Schall ist.

102 I: Die Höhe auch?

103 S34: Die Höhe nicht, nein.

104 I: Also, hast du mit Höhe am Anfang Lautstärke gemeint?

105 S34: Ja, ich habe ein falsches Wort verwendet.

106 I: Ist nicht so tragisch. Wie gesagt, es geht nicht um richtig oder falsch, sondern einfach was
107 du denkst. (-) Wenn ein Rettungsauto auf dich zukommt und an dir vorbeifährt. Hast du

108 das vielleicht schon mal erlebt. Vielleicht ändert sich da etwas oder weißt du, ob sich da
 109 was ändert?

110 S34: Es ist am Anfang ganz leise wenn es mit Sirene fährt und dann wird's immer lauter und
 111 kommt an dir vorbei und genau an dieser Stelle wo es gegenüber ist, ist es am lautesten.
 112 Und wenn es wieder vorbei fährt, wird es wieder leiser und dieser Schall, den man hört,
 113 zieht sich so in die Länge. So [S34 singt einen absenkenden Ton] Wenn Sie wissen, was ich
 114 meine?

115 I: Ja. Also es ändert sich die Lautstärke und wie kann man das andere bezeichnen?

116 S34: Der Schall wird (-) länger. Hat eine weitere Reichweite. Ich weiß nicht.

117 I: Ändert sich der Ton auch?

118 S34: Er wird tiefer, wenn er weiter weg ist.

119 I: Kannst du es erklären, warum?

120 S34: Wenn der Schall weiter weg ist, dann haben die einzelnen Schalle einen größeren Abstand
 121 und wir haben ja gesagt, wenn der Ton höher ist, sind sie ja näher beieinander.

122 I: Und warum ist er, wenn das Rettungsauto von dir wegfährt, weiter auseinander?

123 S34: (-) Vielleicht weil (--)

124 I: Passt gut. Braucht der Schall Zeit um sich auszubreiten?

125 S34: Ja natürlich. Es hat ja eine gewisse Geschwindigkeit.

126 I: Glaubst du, kann etwas schneller als der Schall fliegen?

127 S34: Es gibt Lichtgeschwindigkeit und Schallgeschwindigkeit. Ich weiß jetzt nicht was schneller
 128 ist.

129 I: Die Lichtgeschwindigkeit ist schneller.

130 S34: Ja?!

131 I: Kann etwas schneller als der Schall fliegen?

132 S34: Nein. Also ein Flugzeug mit Lichtgeschwindigkeit könnte am schnellsten fliegen, aber ich
 133 glaub noch nicht, dass es das gibt.

134 I: Das glaube ich auch nicht. [I schmunzelt]

[illegible]

		Frage 1				Frage 2				Frage 3				Frage 4				Frage 5				Frage 6				Frage 7				Frage 8				Frage 9				Frage 10				Frage 11				Frage 12				Frage 13																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												</			
--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	---------	--	--	--	----------	--	--	--	----------	--	--	--	----------	--	--	--	----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----	--	--	--

Abstract

Deutsche Fassung

Die Erforschung von Schülervorstellungen nimmt in der Physikdidaktik eine zentrale Rolle ein, denn Schülerinnen und Schüler kommen nicht als unbeschriebene Blätter in den Unterricht, sondern bringen ein Set von vorunterrichtlichen Vorstellungen mit. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Schülervorstellungen zum Thema Schall erforscht. Zunächst wurden sie mit einer qualitativen Vorstudie aufgespürt und in einer zweiten Phase dann quantitativ validiert. Der Fokus lag dabei lehrplanbedingt auf der Sekundarstufe I der allgemeinbildenden höheren Schule und so konnten sowohl einige Vorstellungsschwierigkeiten als auch einige vorunterrichtliche Präkonzepte eruiert werden, die Schülerinnen und Schüler in den Physikunterricht mitbringen. So weisen Schülerinnen und Schüler beispielsweise Radiowellen dem Gebiet des Schalls zu, glauben, dass sich Schall nicht durch Festkörper ausbreitet und eine Schallquelle nichts Bewegliches sein muss. Dass höhere Töne lauter und lautere Töne schneller sind, sind zwei andere Schülervorstellungen. Auch die Schallgeschwindigkeit ist für sie schwer zu fassen und somit für viele Kinder auch von einem schnellen Flugzeug nicht zu erreichen.

Stichwörter: Physikunterricht, Schülervorstellungen, Präkonzepte, Schall, Studie

Englische Fassung

The research of pupils' misconceptions plays an important role in physics didactics, because pupils do not enter the classroom as a *tabula rasa*, but bring along a set of pre-lesson ideas. In the course of this thesis the pupils' misconceptions were researched on the subject of sound. First of all, they were tracked with a qualitative pre-study and then quantitatively validated in a second phase. Due to the curriculum, the research was realized in the secondary academic school (lower level). Thus some difficulties of conception as well as some pre-lesson preconceptions, which students bring in the physics lessons, could be found. For example, pupils link radio waves with sound, think that sound doesn't propagate through solids, and that a sound source does not have to be movably. Two other misconceptions are: Higher tones are louder and louder tones are faster. The speed of sound is also a difficult issue for them and therefore another misconception is, that it cannot be reached by a fast plane.

Keywords: physical education, scientific misconceptions, sound, research