# Lärm und Gesundheit

Materialien für die Klassen 5 bis 10

Herausgegeben von der Bundeszentrale
für gesundheitliche Aufklärung,
im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit, Köln 2008

**Reihe:**
**Gesundheit und Schule (G+S)**
Herausgegeben von der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Köln,
im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit

**Leiter des didaktischen Teams:**
**Dr. Johann-Wolfgang Landsberg-Becher,**
Studiendirektor in Berlin und an der Beratungsstelle für Umweltbildung beim Naturschutzzentrum Ökowerk Berlin

**Autoren:**
**Reinhard Bock,** Studiendirektor in Berlin
(Bausteine für den Geografieunterricht)
**Ingeborg Dix,** Studiendirektorin in Berlin
(Bausteine für den Biologieunterricht)
**Hildegard Greif-Groß,** Konrektorin in Berlin
(Baustein zum Ruhe-Finden)
**Direktor und Professor Dr. Hartmut Ising,** Berlin
(Sachinformationen)
**Dr. Johann-Wolfgang Landsberg-Becher,** Studiendirektor in Berlin
(Einleitung, Sachinformationen, Bausteine für den Biologie- und für den Physikunterricht)
**Gisela Splettstößer,** Lehrerin in Berlin
(Baustein für Arbeitslehre/Werken)
**Dr. Gene Strasbaugh,** Lehrer in der Tätigkeit eines Oberstudienrates in Berlin
(Baustein im Zusammenhang mit Musik)
**Alexandra Thiede,** Assessorin des Lehramts und Lerntherapeutin in Berlin
(Bausteine für den Geografieunterricht)

**Claudia Buschmann** und **Susen Schweers,** ehem. Schülerinnen in Berlin
(Konzentrationstests, S. 187)

**Wissenschaftliche Beratung:**
**Direktor und Professor Dr. Hartmut Ising,** im Umweltbundesamt, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Fachgebietsleiter Lärmwirkungsforschung, Berlin (i.R.)

**Juristische Beratung:**
**Franziska Hansmann,** Anwaltsbüro Gaßner, Groth und Siederer, Berlin
(Co-Autorin der Sachinformationen über Lärmschutzrecht)

**Interaktive Bildschirmexperimente:**
**Dr. Jürgen Kirstein,** unter Mitarbeit von **Lars Gawallek, Alexander Fröhlich, Florian Guist, Boris Schäfer** (alle Freie Universität Berlin) und **Heinz Haustein** (Studienrat in Berlin)

**SOUNDS,** Software und Anleitung zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen und Tönen:
**Adrian Voßkühler,** Freie Universität Berlin
mit Tonaufnahmen aus dem Unterricht von **Björn Hansen,** Kiel

**Audio-CD:**
**Tonaufnahmen und Erstellung: Mike Steiner** (†), Berlin

**Gehörschadensimulation: Prof. Dr. Fleischer** und **Reinhard Müller,**
Universitätsklinikum Gießen

**Musiker: Ina Brox, Michael Hackenberger, Pete Hanna** (†), **Tatiana de Hoog, Olaf Rabe, Annekatrin Scharfe, Dr. Gene Strasbaugh, Markus Wenz** (alle Berlin)

**Schülerdiskussion: Susanne Abbassian, Ann Kristin Dörschel, Yasmin Lipka, Sandra Westphal, Martin Ziemer;** Tonaufnahme: **Wolfgang Stach** (alle Berlin)

**Nachpressungen:** Einige Aufnahmen wurden seitens des **„Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)“**, der **„Deutschen Angestellten Krankenkasse (DAK)“** und des **„Bundes für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)“** dankenswerterweise zur Verfügung gestellt; Mitwirkende s. S. 61.

**Gestaltung der grafischen Medien:**
**Regina Oberdörfer,** Berlin (Zeichnungen)
**Dr. Jürgen Kirstein,** Berlin (Computergrafik)
**Direktor und Professor Dr. Hartmut Ising,** Berlin (Rasterelektronische Aufnahmen von Zilien)
**Dr. Johann-Wolfgang Landsberg-Becher,** Berlin (Fotos für Bausteine für den Geografieunterricht)

**An den Erprobungen in Schulen der Länder Berlin, Niedersachsen und Schleswig-Holstein wirkten mit:**
**Rolf-Jürgen Banholzer, Helmut Beek, Anke Ebersbach, Jutta-Brigitte Gaebler, Anna Giese, Beate Georges, Ingrid Haack-Seelemann, Dagmar Haberstroh, Horst Hammer, Björn Hansen, Charlotte Klingspor, Dr. Johann-Wolfgang Landsberg-Becher, Sybille Minnich-Schmidt, Helga Müller, Reinhard Münch, Katrin Novak, Klaus Prankel, Angelika Reimer, Sabine Simunovic, Dieter Spieß, Sabine Spieß, Marianne Steffens, Erika Stöhr, Gabriele Suckert, Bettina Tscheslog, Birgit Weidemann, Thomas Wetzel, Norttraut Wichert, Beate Zager-Schulz, Elisabeth Zwanzger**

**Projektleitung vonseiten der Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung:**
**Dr. Eveline Maslon,** Köln

Bibliographische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter http://dnb.ddb.de abrufbar.

ISBN 3-12-99058-3-9

2. überarbeitete Auflage
© Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung, Köln
Alle Rechte vorbehalten.
Druck: Silber Druck, Niestetal
1.50.11.08

**Wichtiges zu diesen Materialien:**
Die Materialien sind ein Beitrag zur Lärmprävention für 5. bis 10. Klasse. Die Materialien sind im wahrsten Sinne des Wortes **multimedial**, man kann mit neuesten **computer-**gestützten interaktiven Bildschirmexperimenten ebenso arbeiten wie mit üblichen **Versuchen** und mit klassischen **Arbeitsbögen**. Je nach Interesse finden sich die entsprechenden Unterrichtsangebote.

In den Materialien werden Themen der **Gesundheitserziehung** mit denen der **Umwelterziehung** interdisziplinär verbunden und für **fächerübergreifenden Unterricht** aufbereitet angeboten. Neben den naturwissenschaftlichen **physikalischen** und **biologischen Aspekten** der Thematik gibt es ebenso Vorschläge für den Unterricht in **Arbeitslehre/Werken, Geografie** und **Musik**. Um sich für äußere Ruhe zu engagieren, ist es wichtig, auch innere Ruhe zu besitzen. Der überfachliche Baustein **Ruhe-Finden** enthält Vorschläge für Entspannungs- und Konzentrationsübungen. Die Materialien orientieren sich an der **Lebenswirklichkeit** der Schülerinnen und Schüler, was es unter anderem notwendig macht, **lokale Ereignisse** und **Situationen** in den Unterricht miteinzubeziehen.

Zu den Materialien gehören
1. **Sachinformationen** zu Fragen der Akustik, Biologie und Medizin sowie zum Umweltlärm, zum Lärm in der Schule und zu lauter Musik;
2. **Unterrichtsmittel** auf einer Audio-CD und einer DVD und
3. **Bausteine** mit Vorschlägen für die Unterrichtsgestaltung.

Die Vorschläge für die Unterrichtsgestaltung stellen ein **„offenes Materialangebot“** nach dem **Bausteinprinzip** dar:

16 Bausteine beziehen sich auf **Unterrichtsfächer**, in denen sie schwerpunktartig eingesetzt werden können. Hinzu kommt der überfachliche Baustein Ruhe-Finden.

Die Unterrichtsbeispiele können in **Projekten** realisiert werden.

Die Bausteine eignen sich für einen **flexiblen Einsatz**; sie können mit anderen kombiniert werden. Dies wird mit nahezu 100 Querverweisen unterstützt.

Die Unterrichtsmittel auf der **Audio-CD** und der **DVD** enthalten
- **42 Audio-Dateien** mit Hörbeispielen, Hörtest sowie Anleitungen zum Kalibrieren und für den Baustein Ruhe-Finden,
- ein **Video** zur Demonstration von Schallpegelmessungen im Straßenraum,
- **5 Interaktive Bildschirmexperimente** zu Schallschwingungen, Amplitude und Frequenz, Longitudinal- und Transversalwelle, Schallpegelmessungen und zur Audiometrie,
- die Software **SOUNDS** zur Visualisierung und Analyse akustischer Signale und von Tönen
- sowie die **digitalisierte Version dieses Heftes**. Damit kann man für den Unterricht Textpassagen sowie aus den **85 Abbildungen, 18 Tabellen, 31 Druckvorlagen** von Arbeitsblättern und **38 Versuchsanleitungen** welche auswählen, die dann den Schülerinnen und Schülern zur Verfügung gestellt werden, sei es vervielfältigt, als Folie oder mittels eines Präsentationsprogramms.

In allen Bundesländern gibt es Zentren und **Beratungsstellen der Umweltschutzorganisationen** und der **Verbraucherverbände**, bei denen Ausleihmöglichkeiten von Lärmpegelmessgeräten erfragt werden können. Zusätzlich gibt es in einigen Bundesländern spezielle Umweltberatungseinrichtungen für die Schulen.

| | Seite |
|---|---|
| **1. Einführung** | **9** |
| 1.1 Bedeutung des Themas | 9 |
| 1.2 Didaktische Absichten | 10 |
| 1.3 Struktur der Materialien | 12 |
| 1.4 Fächerverbindender Unterricht – Naturwissenschaften integriert | 14 |
| 1.5 Schülerzentrierter Unterricht | 18 |
| **2. Sachinformationen** | **19** |
| 2.1 Schall | 19 |
| 2.2 Hören | 26 |
| 2.3 Audiometrie | 33 |
| 2.4 Gehörschäden durch Schallüberlastung | 33 |
| 2.5 Lärm und Krankheit, extraaural | 37 |
| 2.6 Musikhörgewohnheiten bei Jugendlichen und ihre Folgen | 45 |
| 2.7 Lärmschutzrecht | 49 |
| 2.8 Lärm in der Schule | 57 |
| 2.9 Schallpegelmessungen | 62 |
| **3. Unterrichtsmittel auf der CD und der DVD** | **63** |
| 3.1 Hinweise zur Verwendung der Audio-Dateien auf der CD | 65 |
| 3.2 Informationen zum Video „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte“ | 71 |
| 3.3 Anleitungen für die Interaktiven Bildschirmexperimente | 71 |
| – Schallschwingungen | 73 |
| – Amplitude und Frequenz | 76 |
| – Longitudinal- und Transversalwellenmodell | 78 |
| – Schallpegelmessung | 81 |
| – Audiometrie | 83 |
| 3.4 Anleitung zu SOUNDS zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen und Tönen | 85 |
| 3.5 Hinweise zur Verwendung der Abbildungen und Texte auf der DVD | 94 |
| **4. Bausteine für den Geografieunterricht** | **95** |
| Baustein 1: Sensibilisierung für das Problemfeld Lärm | 96 |
| Baustein 2: Geräuschpegelmessung im Straßenraum | 104 |
| Baustein 3: Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt | 114 |
| **5. Bausteine im Zusammenhang mit Musik** | **120** |
| Baustein 4: Mein musikalischer Tageslauf | 127 |
| Baustein 5: Musiklärm und Konflikte | 132 |
| Baustein 6: Musiklärm und Recht | 137 |
| **6. Bausteine für den Physikunterricht** | **147** |
| Baustein 7: Schall | 148 |
| Baustein 8: Ausbreitung von Schall | 158 |
| Baustein 9: Messung der Lautstärke | 167 |
| Baustein 10: Lärm | 172 |
| **7. Baustein für Arbeitslehre/Werken** | **176** |
| Baustein 11: Erprobung schallschützender Materialien in einem selbst gefertigten Modellhaus | 176 |

**8. Bausteine für den Biologieunterricht** **180**
Baustein 12: Was ist Lärm? 181
Baustein 13: Lärm stört 183
Baustein 14: Bau und Funktion des Ohres 190
Baustein 15: Lärm schädigt das Innenohr 197
Baustein 16: Lärm wirkt nicht nur auf das Ohr 204

**9. Baustein zum Ruhe-Finden** **208**
Baustein 17: Übungen zum Ruhe-Finden 208

**10. Literaturhinweise** **219**

**11. Verzeichnisse** **224**
11.1 Materialien 224
11.2 Versuche 225
11.3 Tabellen 226
11.4 Abbildungen 227

# 1. Einführung

## 1.1 Bedeutung des Themas

Lärm ist als Umweltthema erst im vergangenen Jahrzehnt in das öffentliche Bewusstsein gerückt. In diesem Zeitraum zogen auch Ohrenschützer in das Sortiment der Baumärkte ein; die Ohren sind das, an das man denkt, wenn man von Lärm redet. Und in den Schulen ist zu viel Lärm, klagen die Lehrkräfte. Lärm ist aber weitaus mehr:

Lärm ist ein Wirtschaftsfaktor: 150 Mio. € zahlen die Berufsgenossenschaften jährlich wegen lärmbedingter Frühinvalidität. Die Gesamtkosten der notwendigen Lärmsanierung der Straßen sind nicht bezahlbar und auch nicht kalkuliert, die Entwicklung der seitens der EU geforderten Lärmsanierungspläne schreitet deshalb nur langsam voran.

Lärm betrifft viele: Ein Drittel der Bevölkerung, genau 38 %, sieht sich durch den Straßenverkehr belästigt, 15 % durch den Flugverkehr und 12 % durch den Schienenverkehr, ferner werden 12 % durch Gewerbe und Industrie gestört und 17 % leiden unter dem Nachbarschaftslärm.

Lärm schädigt den gesamten Organismus und nicht nur die Ohren: Ohne Lärmbelastung gäbe es in westlichen Industriestaaten ca. 10 % weniger Herzinfarkte. Für die Gesundheit besonders nachteilig sind nächtliche Verkehrsgeräusche – selbst dann, wenn sie nicht zum Aufwachen führen. Ein Viertel der jungen Erwachsenen haben aufgrund ihrer Musikhörgewohnheiten bleibende Hörschäden.

Mit Lärm ist das so eine Sache: Weder stinkt noch strahlt Lärm und hinterlässt auch keine giftigen Rückstände. Lärm verflüchtigt sich mit Schallgeschwindigkeit – aus den Ohren, aus dem Sinn! Erst spätere Beeinträchtigungen im Innenohr und im Allgemeinzustand von Menschen lassen möglicherweise die Folgen des Lärms erkennen. Aber „Lärmtote" sind als solche nicht erkennbar.

Lärm ist aber zugleich auch Symbol für und Folge von Geschäftigkeit. So wird er häufig hingenommen und toleriert, zugunsten von Arbeitsplätzen und des fließenden Verkehrs. Lärmprävention ist deshalb vor allem eine Frage an unsere Lebensgestaltung und deutlich weniger eine an den technischen Lärmschutz.

Dennoch für mehr Ruhe zu werben und vor Lärm zu warnen, hat gute Gründe. Fast alle Lebensaktivitäten sind mit Geräusch verbunden. Das gleiche Geräusch mag für den einen wohltuend und für den anderen Lärm sein. Während der Eisenbahnfreund sich angesichts eines vorbeifahrenden Zuges freut, schimpft sein Nachbar über den dadurch bedingten Lärm. Selbst die Nachtigall kann manchen den Schlaf rauben, während andere über sie dichten.

Es sei angemerkt, dass eine besserwissende Attitüde der älteren Menschen gegenüber einer „Jugend mit dem iPod" nicht angesagt ist. Die Motivation und Bereitschaft für laute Freizeitgestaltung der Jugendlichen ist nicht unabhängig davon zu sehen, welche Lautheit man ihnen in ihrer Kindheit zugemutet hat, ein sozialkulturelles Umfeld, für das die vorangegangenen Generationen mit Verantwortung tragen.

Weniger Lärm und mehr Ruhe ist die Botschaft des hier vorgelegten Materials. Dies in der Schule zu fordern, mag Erstaunen auslösen, ist doch sowieso oft das Ziel der Lehrerinnen und Lehrer, Ruhe für die Arbeit herzustellen. Lautstarke Störungen des Unterrichts sind nicht nur Versuche diesen zu unterbrechen, sondern können auch Ausdruck von Lebensfreude und Lebensaktivität sein.

Lärmfolgen zählen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz zu den Umweltschäden. **Lärmvermeidung ist gesundheitlicher Umweltschutz. Diese Materialien dienen also gleichermaßen der Gesundheits- und der Umwelterziehung.**

Die Diskrepanz zwischen Wissen und Handeln und die erst später auftretenden Folgen früher erfolgten Fehlverhaltens kennzeichnen Probleme der Gesundheits- genauso wie die der Umwelterziehung. Dies gilt auch für die Diskrepanz zwischen Erkenntnissen über die Folgen von Lärm und der Bereitschaft, zunehmenden Lärm zu dulden. Erziehung gegen den Zeitgeist? Nein, aber eine Erziehung zum kritischen Umgang mit Lautheit und Lärm ist notwendig. Die vorliegenden Materialien sind deshalb auf **Diskurs** ausgerichtet. Wenn Lärm nur „schrecklich" wäre, hätten wir ihn nicht. Des einen Lärm ist des anderen Freude. Klassik, Pop oder Techno als Open-Air-Konzert können trotz aller Ruhestörung auch Freude bereiten.

## 1.2 Didaktische Absichten

Der Umgang mit dem Thema „Lärm" sollte deutlich machen, dass einerseits Lautsein auch Ausdruck von Lebensfreude sein kann und andererseits gewollte Ruhephasen notwendig sind. Nicht alles hinnehmen, sondern selber entscheiden, was man hören will, ist wichtig; dabei stehen vor allem drei Fragen im Vordergrund:

- Ist es zu laut?
- Ist es nicht zu lange laut?
- Belästige ich meine Mitmenschen?

Diese drei Fragen sind gleichermaßen von jedem Einzelnen zu beantworten. Zur Lösung der damit verbundenen Probleme bedarf es gesellschaftlicher und individueller Anstrengungen. Individuelle und gesellschaftliche Konflikte werden in diesen Materialien gleichermaßen vorgestellt.

Was Lärm ist, kann nicht physikalisch mit Angabe eines bestimmten Schallpegels definiert werden. Was Lärm ist, ist abhängig von den Einstellungen und von der Situation jedes Einzelnen. So werden **als Lärm Geräusche definiert, die stören, belästigen, gefährden oder schädigen**. Während die Frage nach Störung und Belästigung ausgesprochen subjektiv ist, ist die nach der Gefährdung und Schädigung medizinisch beantwortbar.

Die Sprache des Menschen dient normalerweise der Kommunikation. Sprachgeräusche sind auch Zeugnisse menschlicher Lebensaktivitäten, sei es zum Lebensunterhalt oder zum Zeitvertreib.

Eine Unterhaltung am Nachbartisch kann bereits als Störung wahrgenommen werden und ebenso, wenn Marktschreier ihre Waren anpreisen oder Ansagen durch den Lautsprecher im Supermarkt erfolgen. Nicht nur die Musik, sondern gemeinsame Riten und Umzüge sind mit Geräusch verbunden. So standen z.B. Verantwortliche von Sportveranstaltungen und von Musikgroßveranstaltungen gleichermaßen vor Gerichten, ja sogar Besitzer von Gartenteichen mit quakenden Fröschen.

Wie bei vielen Fragen des Umweltschutzes werden Aspekte des Lärmschutzes oftmals als technische Lösungsprobleme gesehen. Statt das Ausmaß des Auto- und Flugzeugverkehrs infrage zu stellen oder zumindest eine drastische Reduzierung der Schallemissionen zu erwägen, werden Lärmschutzwände vor den Häusern gebaut und Wohnungen, insbesondere Fenster, schallisoliert.

Lärmschutz ist auch ein soziales Problemfeld. Zur Lösung damit verbundener Probleme bedarf es gesellschaftlicher und individueller Anstrengungen. Zu berücksichtigen ist dabei, dass belästigender Lärm oft Ausdruck fehlender zwischenmenschlicher Umgangsformen ist. Fehlverhalten und Rücksichtslosigkeit werden in diesen Materialien z.B. bei häuslichen Feten oder beim „Kavaliersstart“ angesprochen. Sie werden aber meist geduldet.

Mit dieser stillschweigenden Duldung gehen fehlende Kenntnisse über Lärmfolgekosten einher. Wie bei vielen Umweltschäden werden **Lärmfolgekosten** über das öffentliche Gesundheitswesen **auf die Allgemeinheit abgewälzt**.

Das Jugendalter ist eine riskante Lebensphase. Die Freude und das Berauschen an der Geschwindigkeit sowie die damit verbundenen Unfallzahlen belegen dies überdeutlich. Der Geschwindigkeitsrausch ist ebenso mit Lärm verbunden wie andere Formen jugendlicher Unternehmungslust.

Musik hören allein, mit Kopfhörern zu zweit, mit einem lauten Kofferradio unter dem Arm am Strand, in der Schulklasse oder an der Straßenecke sind klassische Attribute jugendlichen Lebens. Der damit verbundene Lärm scheint Dritten zu gelten, eine Art akustischen Reviermarkierens: Man hat körperlich und akustisch Platz ergriffen.

Diese „laute Lebensphase“ schließt keinesfalls ruhige, stille und besinnliche Stunden aus. Es gilt nicht, eine Lebensweise durch eine andere zu ersetzen, sondern einer Lebensweise gegenüber einer anderen zu mehr Geltung zu verhelfen. Der Einsatz dieser Materialien soll dazu beitragen, dass Freude am Leisen und der Genuss an der Stille geweckt werden, sowie zu verhindern, dass es zu Gefährdungen oder gar Schädigungen der eigenen Person oder anderer durch Lärm kommt.

Man kann schwerlich Lärm im Unterricht thematisieren ohne auf das Lärmgeschehen in der Schule selbst einzugehen, ein von den Schülerinnen und Schülern meist freudig aufgegriffenes Thema. Aus diesem Grunde ist unter 2.8 dem Lärm in der Schule ein gesonderter kleiner Abschnitt gewidmet. Das dort Referierte kann Eingang in den Unterricht nicht weniger Bausteine finden.

Im Baustein 13 wird dezidiert darauf eingegangen, dass Lärm stört und ebenso auch die bei den Hausaufgaben so gern eingeschaltete geliebte Musik, und es werden Experimente vorgeschlagen, die dies deutlich machen.

## 1.3 Struktur der Materialien

Die Materialien sind nach fachlichen Gesichtspunkten als Bausteine konzipiert. **Die Bausteine können gleichermaßen Bestandteile von Projekten sein, wie auch des Unterrichts in tradierten Fächern oder in neuen Integrationsfächern, z.B. Naturwissenschaften.** Werden die Bausteine isoliert unterrichtet, können gewünschte Themen aus anderen Bausteinen hinzugenommen werden. Die **Sachinformationen** für die Unterrichtenden sind so abgefasst, dass auch Unkundige relativ leicht sich fachfremde Inhalte aneignen können. In jedem Fall sollen nicht nur Lehrkräfte der **Physik** und **Biologie**, sondern auch der **Geografie**, der **Musik** und der **Arbeitslehre/Werken** sich diesen Themen widmen.

Die zu behandelnden Themenfelder werden verschiedenen Unterrichtsfächern zugeordnet:

- Lärm in der Umgebung und Verkehrslärm sind Gegenstand der Bausteine für den Geografieunterricht.
- Musik im Alltag ist Gegenstand der Bausteine im Zusammenhang mit Musik.
- Ablenkung durch Musik ist Gegenstand der Bausteine für den Biologieunterricht.
- Das Gehör und seine Schädigung durch Lärm behandeln die Bausteine für den Biologieunterricht.
- Akustik und Messung der Schallpegel, ggf. in der Schule, sind Gegenstand der Bausteine für den Physikunterricht.
- Experimente zur Schalldämmung zeigt der Baustein für Arbeitslehre/Werken.
- Der Baustein zum Ruhe-Finden ist keinem Fach zugeordnet, denn darum bemüht man sich in jedem Fach.

Sehr gerafft werden in den Bausteinen zunächst die **Inhalte** genannt. Anschließend werden die benötigten **Materialien** und **Medien** aufgelistet. Ferner wird der **Bezug zu anderen Bausteinen** und der zu erwartende **Zeitrahmen** angegeben. Danach erfolgt der **Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung**. Dieser wird ggf. in Teilthemen untergliedert.

Im Rahmen der Darstellung der vorgeschlagenen Unterrichtsgestaltung erfolgen auch die **Versuchsanleitungen** und Vorschläge für den **Tafelanschrieb**. Ferner wird im Text auf die **Interaktiven Bildschirmexperimente** und den Einsatz der **Tonaufnahmen** hingewiesen.

Es erfolgen jedoch keine detaillierten Angaben zu den zu erstellenden Protokollen und der Untergliederung der Unterrichtsphasen, wie z.B. Thema, Aufgabenstellung, Versuchsaufbau und -durchführung, Beobachtung/Messwerte, Auswertung. Es kann durchaus sinnvoll sein **offene und zunächst nicht untergliederte Arbeitsaufträge** zu geben, die zum Experimentieren und Forschen verleiten und wo dann im weiteren Verlauf erst das Thema fokussiert wird. Wann das sinnvoll ist, kann aber nicht generell angegeben werden, vielmehr bestimmen dies die Situation der Klasse, der bisherige Unterricht und das intendierte Ziel.

Die Interaktiven Bildschirmexperimente und Tonaufnahmen werden in einem gesonderten Kapitel gleich nach den **Sachinformationen** erläutert. In demselben Kapitel erfolgt auch die Anleitung für den Umgang mit der Software **SOUNDS** zur Visualisierung und Analyse akustischer Signale und Töne. Ferner ist auf der DVD ein **Video**, auf dem die Schallpegelmessungen gezeigt werden, die im Baustein „Geräuschpegelmessungen im Straßenraum" den Messungen zugrunde lagen.

Die in den Sachinformationen enthaltenen **Abbildungen** und **Tabellen** können als Unterrichtsmaterial genutzt werden und auf sie erfolgen in den Bausteinen oftmals Querverweise. Hierfür liegt auf der DVD eine **digitale Version** des Heftes, Texte wie auch Abbildungen vor, die unter Angabe der Quelle für den eigenen Unterricht verwandt, bearbeitet und vervielfältigt werden dürfen.

Beim Unterricht in den unteren Klassen kann es je nach Vorwissen der Schülerinnen und Schüler sinnvoll sein weitere Experimente durchzuführen, hier sei auf die gleichlautenden Materialien für die Grundschule (1. – 4. Klasse) der Schriftenreihe der BZgA hingewiesen.

Das **Materialangebot** befindet sich also entweder auf der

- **CD**,
- der **DVD**
- oder gedruckt im Anschluss an den jeweiligen Baustein;

es handelt sich im letzten Fall dann um Vorlagen für **Folien, Arbeits-** und **Informationsbögen**, die am Ende des jeweiligen Bausteins eingefügt sind.

Die Materialien sind gekennzeichnet mit dem Buchstaben **(M)** und zur übersichtlichen Handhabung durchlaufend nummeriert. Aus dem gleichen Grund sind auch die Versuche, Abbildungen und Tabellen durchlaufend nummeriert. Sie werden am Ende in den **Verzeichnissen** aufgelistet. Dies soll dazu dienen, dass von dem hier gemachten Vorschlag abweichend für individuelle Unterrichtsplanung schnell die einzelnen Sachinformationen, Darstellungen und Anleitungen gefunden werden können, was besonders wichtig bei Unterrichtsprojekten und fachübergreifendem Unterricht ist.

Zum Abschluss kommt immer die Frage nach der Lernerfolgskontrolle: Grundsätzlich sollte diese auch und gerade in Unterrichtseinheiten erfolgen, wenn diese von großer lebenspraktischer Bedeutung sind.

**Lernerfolgskontrollen** sollen natürlich neben den zu erwerbenden Kenntnissen die Fähigkeiten und Fertigkeiten prüfen, die im Laufe der Unterrichtseinheit zum Tragen kamen. Das betrifft bei nicht wenigen Teilen dieser Materialien auch die Fähigkeit der Beobachtung oder Durchführung von Experimenten sowie deren Auswertung und diese sollten ebenso Bestandteil der Lernerfolgskontrollen sein.

An vielen Stellen werden mehrere sich ergänzende oder auch alternativ einzusetzende Experimente genannt. Welche gewählt werden, steht den unterrichtenden Lehrkräften frei; eine Möglichkeit ist es, das eine Experiment im Unterricht durchzuführen und das andere für eine Lernerfolgskontrolle zu verwenden. So zeigte die Erprobung der Materialien, dass es nahezu unerheblich ist, ob der Versuch 16 oder 17 Bestandteil der Lernerfolgskontrolle ist.

## 1.4 Fächerverbindender Unterricht – Naturwissenschaften integriert

Das Thema Lärm ist weitaus mehr als eines der Medizin und in der Schule nicht nur in Biologie und Physik zu unterrichten. Ästhetische und individualpsychologische wie auch soziale und technische Fragen geben dem Thema den Reiz und auch die Brisanz. Wann immer in der Öffentlichkeit Fragen des Lärmschutzes diskutiert werden, wird der interdisziplinäre Charakter deutlich.

Aus diesem Grund sollte das Thema „Lärm und Gesundheit“ interdisziplinär, fächerverbindend unterrichtet werden. Ein derartiger Unterricht setzt voraus, dass sich **Lehrkräfte verschiedener Unterrichtsfächer** im fachlichen Austausch **miteinander ergänzen**. Dies ist bekanntlich schulorganisatorisch und in der Tradition der deutschen Schule nicht einfach. Unterschiedliche Organisationsformen fachübergreifenden Unterrichts haben sich in den vergangenen Jahren herausgebildet:

- Fachübergreifende **Leitthemen** werden – erkennbar getrennt – in bestimmten Fächern unterrichtet. Die Lehrkräfte stellen dabei Bezüge her. Die Zusammenhänge sind von den Schülerinnen und Schülern zu erfassen.
- Beim **Leitfach**prinzip werden die Themen vornehmlich in einem Fach unterrichtet, ergänzt durch die Behandlung von Teilfragen in weiteren Fächern. Ist dies nicht möglich, sind diese Inhalte im Leitfach zu berücksichtigen.
- Eine Erweiterung erfahren diese Organisationsformen mit interdisziplinären Elementen, wie z.B. **Projekttagen**, Exkursionen.
- Beim **Projektunterricht** geben alle am Projekt beteiligten Fächer die Stunden in einen gemeinsamen Topf (Stundenpool). Die beteiligten Fachlehrer betreuen das Projekt, die Fachgrenzen sind aufgehoben.

Für lebensnahe Fragestellungen, wozu für Jugendliche sicherlich die Akustik gehört, und komplexe Themen bietet sich der **Projektunterricht** an. Gerade bei fächerübergreifenden Vorhaben wie der Akustik mit ihrer Nähe zu Biologie, Musik und Physik wird er empfohlen. Im Projektunterricht werden unterschiedliche Zugänge eröffnet komplexe Gegenstände zu untersuchen und es wird interdisziplinäres Denken geübt. Allein schon aus Zeitgründen verbietet sich zum anderen allzu häufig Projekte in Angriff zu nehmen.

Nicht angemessen wäre es in Ermangelung der Möglichkeit eines Projektunterrichts oder der Möglichkeit fächerübergreifenden Unterrichts die Lärmproblematik überhaupt nicht zu unterrichten. Sollte das Materialangebot von „Lärm und Gesundheit“ nicht im Projektunterricht zur Anwendung kommen können, bleibt

der **Lehrgangsunterricht**. Die hier vorgelegten Bausteine sind dementsprechend geplant. Sie sind mit Querverweisen versehen und durch die allgemein verständlichen Sachinformationen ergänzt, sodass die nötigen Kenntnisse anderer Fächer schnell und leicht angeeignet werden können. Dies wird auch dann notwendig, wenn die Naturwissenschaften zu einem Fach zusammengefasst integriert unterrichtet werden sollen, wie es in einigen Bundesländern geschieht.

Wenn **Naturwissenschaften integriert** zu behandeln sind, ist sowieso fachübergreifend zu unterrichten. Hierfür können einzelne Teile aus den verschiedenen Bausteinen ausgewählt und miteinander verknüpft werden. Die Bausteine sind derart ausgewählt und gestaltet worden, dass dies möglich ist, sie bauen nicht aufeinander auf; dort, wo spezifisches Vorwissen benötigt wird, erfolgen diesbezügliche Querverweise.

In der Regel werden Naturwissenschaften meist in unteren Klassen integriert unterrichtet. Dies geschieht dann unter **Themen wie Ohr oder Hören** und noch nicht unter einer ökologischen resp. geografischen Fragestellung. Ein möglicher Unterrichtsgang ist der folgende:

Als Einstieg kann das Musikverhalten der Schülerinnen und Schüler (Wer hört relativ viel Musik? Was sagen die Eltern? Ist wohl konfliktreich, oder? Was ist eigentlich Musik und Schall?) thematisiert werden.

In einer ersten Erarbeitungsphase gilt es die Charakteristika der Schallschwingungen entdecken zu lassen. Mit dem Versuch „Schallerzeugung mit einem Lineal“ (S. 150) ist dies leicht zu demonstrieren. Eine Ergänzung stellt das Bildschirmexperiment „Schallschwingungen“ dar (S. 71), in dem die unterschiedlichen Arten, Ton, Klang und Geräusch, erkennbar sind.

Bei der Auswertung des Versuchs „Schallerzeugung mit einem Lineal“ ist es geschickt darauf hinzuweisen, dass es sich um Hin- und Her- und nicht um Rauf- und Runterschwingungen wie bei einer Wasserwelle handelt; Versuch „Wasserwellen-Modell“ (S. 159). Dies sollte man zeigen und mit dem Versuch „Anblasen einer Kerzenflamme“ (S. 162) vergleichen. So kann man leicht den Unterschied der oft miteinander verwechselten Longitudinal- und Transversalwellen demonstrieren (S. 160).

Zur Beschreibung und Charakterisierung einer Welle und zu ihrer Unterscheidung zu anderen bedarf es der Erarbeitung der Begriffe Amplitude und Frequenz. Dem dienen die Erweiterung des Versuchs „Schallerzeugung mit einem Lineal“ (S. 150) und „Schwingungen und Töne“ (S. 194) sowie das Interaktive Bildschirmexperiment „Amplitude und Frequenz“ (S. 76). Mit den Audio-Dateien 3 – 5 von der CD (S. 63) kann die Wahrnehmung unterschiedlicher Pegel und unterschiedlicher Tonhöhen eindrucksvoll demonstriert werden.

Pegelmessungen sind nicht unbedingt notwendig und bieten sich nur dann an, wenn man genügend Zeit hat um auch auf die Problematik der dB-Skala einzugehen (s. S. 23).

Für eine tiefere Auseinandersetzung mit den Wellenmodellen oder Teilchenvorstellungen ist das Interaktive Bildschirmexperiment „Longitudinal- und Transversalwellenmodell“ vorgesehen (S. 78).

Eine mit Blick auf die Musik reizvolle Erweiterung ist der Einsatz der Software SOUNDS (S. 85), mittels derer das Klangspektrogramm eines Instruments, einer Flöte oder eines Saiteninstruments, aufgenommen werden kann. Hier sind sehr schön die Klänge zu erkennen und dabei besonders die Oberfrequenzen, die den spezifischen Klang eines Instruments ausmachen. Auf der DVD stehen hierfür mit M 8: „SOUNDS for BZgA" in den Ordnern „Instrumental-Aufnahme" und „Töne" eine ganze Reihe von Aufnahmen bereit.

Bevor mit dem Gehör begonnen wird, muss die Schallleitung in der Luft erkannt werden. Das Problem der Weiterleitung kann mit dem Versuch „Schallleitung in der Luft" (S. 158) fokussiert werden. Damit ist klar, dass man bei Arbeiten im Weltall keinen Arbeitslärm hören kann, sondern nur das, was über Mikrofon und Kopfhörer übertragen wird. Dies wird beeindruckend gezeigt, wenn man ein Handy in einen Exsikkator legt, diesen in Unterdruck bringt und dann das Handy klingeln lässt.

Die Schallleitung in der Luft zeigen die Versuche „Anblasen einer Kerzenflamme" (S. 162) und ganz besonders „Reistopf" (S. 162) sowie „Zwei Tamburine" (S. 163). Die beiden letzteren demonstrieren zugleich, wie das Trommelfell mitschwingen kann, wenn Schall in das Gehör dringt.

Der Aufbau des menschlichen Gehörs kann mit Zeichnungen (Abb. 5, S. 26 – 28) oder noch besser an Modellen gezeigt werden. Dabei ist dann die Funktion der einzelnen Teile zu behandeln:

1. Zur Ohrmuschel sei auf S. 191 verwiesen und ggf. der Versuch „Richtungshören" durchzuführen.

2. Will man auf die Funktion des Mittelohres und der Ohrknöchelchen eingehen, bedarf es einiger durchzuführender Experimente, S. 192. Dies lässt sich aber auch abkürzen, indem den Schülerinnen und Schülern mitgeteilt wird, dass die Ohrknöchelchen den Schall direkt auf die Flüssigkeit des Innenohres übertragen, ohne dass es zu einem Echo und damit verbundenen Verlust der Lautstärke kommt, wie man es beim Echo an der Wasseroberfläche eines Sees kennt.

3. Mittels des Versuchs „Schwingungen und Töne" (S. 194) und der OH-Folie und/oder mit Vervielfältigungen der Abb. 5.4 – 5.6 (S. 27 f.) wird der Aufbau und die Funktion des Corti-Organs erarbeitet.

Nachdem die Schülerinnen und Schüler gesehen haben, wie klein die Ohrknöchelchen und um wie viel kleiner die Zilien sind, kann leicht ein Verständnis dafür geweckt werden, dass derartige filigrane Strukturen sehr leicht und teilweise unwiederbringlich geschädigt werden können (S. 198) und wie dies die Abb. 10 (S. 35) deutlich zeigt.

Die Auswirkungen für den Menschen werden in mehreren Aufnahmen auf der Audio-CD (S. 63 ff.) gezeigt:

- Es wird Musik vorgespielt, wie sie Menschen ohne Hörschaden (Audio-Datei Nr. 7) und wie sie Menschen mit Hörschaden (Audio-Datei Nr. 8) wahrnehmen.
- Dass Hörgeräte nicht wie Brillen den Schaden voll ausgleichen können, zeigt die Computersimulation (Audio-Datei Nr. 15) derselben Musik.

- Aber auch die Sprachwahrnehmung ist sehr gestört: Schülerinnen und ein Schüler diskutieren die Frage, ob es koedukativen Sportunterricht geben soll. Zunächst wird die Diskussion so wiedergegeben, wie ein Mensch ohne Hörschaden sie wahrnimmt (Audio-Datei Nr. 11). Die anschließenden Computersimulationen zeigen, wie die Diskussion von einem Menschen wahrgenommen wird, der unter Tinnitus leidet (Audio-Datei Nr. 13), und wie sie von einem Schwerhörigen wahrgenommen wird (Audio-Datei Nr. 12).

**Zu diesem Unterrichtsgang gibt es Alternativen:**

1. Wiederum kann phänomenologisch und von dem eigenen Erfahrungshorizont ausgegangen werden. Das kann dann der Schallpegel in der Schule oder eine Sensibilisierung für Geräuschpegel sein, s. Baustein 1 „Sensibilisierung für das Problemfeld Lärm“, S. 96, diesbezüglich abgewandelt, und 2.8: „Lärm in der Schule“, S. 57. Hierbei werden Pegel gemessen und die anschließenden Fragen – wieso reagiert das Gerät, was wird denn gemessen, was ist eigentlich Schall – würden zu einer Unterrichtseinheit hinführen, die der obigen ähnelt.

2. Ein ganz anderer Einstieg bietet sich an, wenn im Einzugsbereich der Schule stärkere Verkehrslärmbelastung vorliegt oder über lauten Verkehr Schülerinnen und Schüler klagen. In Klassen, die mit der Karte umgehen können, kann mit einem Schallpegelmesser die Umgebung der Schule erfasst und in einer Lärmkarte dargestellt werden, s. dazu 2.5: „Lärm und Krankheit, extraaural“, S. 37. Zum Verständnis dessen, was als Lärm gemessen wurde, kann wiederum auf den oben dargestellten Unterrichtsgang zurückgegriffen werden.

3. Wenn bei diesen Unterrichtseinheiten beabsichtigt ist, präventiv das Problem der Lautstärke von Musik zu behandeln, muss auf die dB-Skala eingegangen werden. Hierzu sind die Messung der Lautstärke aus dem Baustein 9: „Messung der Lautstärke“, S. 167, und die Abb. 3 aus den Sachinformationen, S. 23, zu verwenden, ohne dass Aufbau der Messgeräte und natürlich ohne dass Logarithmen unterrichtet werden. Phänomenologisch werden die Folgen gezeigt; die Abb. 10, S. 35, zeigt das Ausmaß der Zerstörung des Innenohrs durch zu starke Schallpegel, s.a. Baustein 15: „Lärm schädigt das Innenohr“, S. 197, und 2.4: „Gehörschäden durch Schallüberlastung“, S. 33.

4. Dass Musik wirklich nicht so harmlos ist, wie man gerne denken möchte, zeigt sehr schön das Experiment zur Beeinflussung der Schularbeit durch das Hören von Musik: Baustein 13: „Lärm stört“, S. 183, der bereits in unteren Klassen zum Einsatz kommen kann, wenn noch nicht der biologische Schwerpunkt der akustischen Wahrnehmung im Unterricht behandelt wurde.

Diese Unterrichtsgänge sind zwar umfassend, verzichten jedoch auf mathematische Berechnungen oder physikalische Formeln. Die Maßeinheit dB wird ohne Herleitung und das Schallpegelmessgerät lediglich mit einer Gebrauchsanleitung eingeführt; die Funktion des Innenohres wird in seiner Struktur, jedoch nicht in seiner Funktionsweise behandelt und das Mittelohr überhaupt nicht, da nicht notwendig. Die psychische Beeinflussung durch Lärm erfolgt ohne Kenntnisse der Physiologie. Es sind phänomenologische Betrachtungen.

Reicht das aus? Wenn man sich beispielsweise die bekannte Aufgabe Semmelweiß im PISA-Test ansieht, dann wird deutlich, dass naturwissenschaftliche Themen nicht mit einer die Entwicklung von Verständnis behindernden Komplexität und Fachsystematik zu unterrichten sind, sondern ihren Ausgang bei den alltäglichen Phänomenen haben. Diese sind nicht einzelnen Fächern unmittelbar zuzuordnen, sie sind fächerübergreifend und fächerverbindend. Und so haben in der

reformpädagogischen Tradition der Pädagoge Martin Wagenschein und später der Biologie-Didaktiker Gerhard Winkel gerufen: „Rettet die Phänomene!", denn „Verstehen des Verstehbaren ist ein Menschenrecht" (M. Wagenschein). Dies bei Fragen der Lärmprävention zu vermitteln ist Aufgabe dieser Materialien.

## 1.5 Schülerzentrierter Unterricht

Eine ganze Reihe der zu vermittelnden Sachverhalte lässt sich experimentell gut demonstrieren und teilweise experimentell sogar auch deutlich besser vermitteln, wobei der Gang der Darstellung vom Gegenstand der Darstellung bestimmt wird. So kann man dem Schall Schritt für Schritt von der Schallquelle bis ins Gehirn folgen oder auch umgekehrt von einem zentralen Thema ausgehen, z.B. Musik hören, Verkehrslärm oder wie oben Lärm in der Schule. Geht man von einem zentralen Thema aus, ist es für die Schüler ausgesprochen hilfreich, wenn das gesamte Unterrichtsvorhaben über eine gemeinsam entwickelte Mind-Map o.Ä. veranschaulicht wird.

Die Versuche fördern sehr unterschiedliche Kompetenzen und ebenso unterschiedlich sind die Voraussetzungen für Durchführung und Interpretation der Versuche. Der Unterrichtssituation entsprechend sind die jeweiligen Versuche auszuwählen. Die physikalischen Versuche sind in der Regel in den Klassen 8 und 9 zu unterrichten, wenn sie in ihrer ganzen Tiefe ausgewertet werden sollen.

Verzichtet man auf die genauere Darstellung der Schallleitung, können die Versuche schon ab der 6. oder auch 5. Klasse unterrichtet werden, in denen häufig bei den Sinnesorganen auf den Schall eingegangen wird. Das ist zum einen schade um die dann unterbliebene physikalische Deutung, jedoch zum anderen von Gewinn, denn in diesem Alter beginnt für viele Jugendliche eine riskante Lebensphase, in der sie leicht ihr Gehör durch unsachgemäßen Musikgenuss schädigen.

Die physiologischen Vorgänge hinter dem ovalen Fenster sind sicherlich erst ab der 9. Klasse zu unterrichten.

Sollen die Grundlagen fachsystematisch erarbeitet werden, empfiehlt sich das Lernen an Stationen, s. Münchow (2000). Mit Gruppen-Puzzle und Sandwich-Techniken können dann die Ergebnisse untereinander vermittelt werden. Gerade die Verbindung von Experiment und Formen selbst organisierten Lernens ist sowohl für die Motivation, ein gelungenes Experiment durchzuführen, als auch für die Fähigkeit, Vermitteltes aufzunehmen und Erkanntes weiterzugeben, von wirklichem Gewinn.

Die Lernerfolgskontrolle kommt oft zuletzt, doch diese sollte von Beginn an geplant werden. So wird es möglich, dass bestimmte Versuche nicht im Unterricht durchgeführt, sondern in der Lernerfolgskontrolle angewandt werden. Dies kann temporäre Gruppenarbeit mit einschließen. Gerade bei einer mit Experimenten reichen Unterrichtssequenz sollten auch die für die Durchführung von Experimenten benötigten Kompetenzen und nicht nur die vermittelten fachlichen Inhalte in die Lernerfolgskontrolle mit einfließen.

# 2. Sachinformationen

## 2.1 Schall

Unter Schall werden mechanische Schwingungen der Teilchen eines festen, flüssigen oder gasförmigen Körpers verstanden. (Im Gegensatz zu den elektromagnetischen Schwingungen kann Schall also nicht im Weltall übertragen werden.) Als Schwingung bezeichnet man eine periodische Hin- und Herbewegung einer physikalischen Größe um eine Ruhelage, etwa Bewegung eines Pendels, einer Schaukel oder Stimmgabel. Zeichnet man diese Schwingung auf, so erhält man eine Kurve, die sich mathematisch im einfachsten Fall durch eine Sinusfunktion beschreiben lässt. Die maximale Auslenkung der Größe ist die Amplitude A. Die zeitliche Periode der Schwingung nennt man die Schwingungszeit T und den Kehrwert Frequenz der Schwingung, f = 1/T, die groß wird, wenn die Schwingungszeit klein und damit die Schwingung kurzwellig wird.

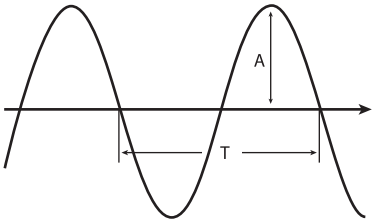



Abb. 1: Welle mit Amplitude und Schwingungszeit.

Der Körper muss elastisch sein um Schall übertragen zu können. Aufgrund äußerer Einwirkungen schwingen die Teilchen um ihre Ruhelage, deshalb auch Oszillatoren genannt. Benachbarte Teilchen werden zum Schwingen angeregt und der Schall breitet sich aus. Eine Welle ist nun ein physikalisches Phänomen, das

sich durch die zeitlich und räumlich periodische Änderung der physikalischen Größe beschreiben lässt. Die Wellenausbreitung entsteht dabei durch die Kopplung räumlich benachbarter Schwingungen. Mit der Welle wird daher zwar Energie und Impuls, jedoch keine Masse übertragen, da jeder Oszillator nur um seine Gleichgewichtslage schwingt.

Im Gegensatz zur Wasserwelle schwingt die Schallwelle nicht rauf und runter (Quer- oder Transversalwelle), sondern vor und zurück (Längs- oder Longitudinalwelle); der Luftdruck schwankt an einem Ort beständig: Schallwechseldruck. Im Einzelnen wird das im 8. Baustein: „Ausbreitung von Schall", S. 158, und in den Interaktiven Bildschirmexperimenten „Longitudinal-" und „Transversalwellenmodell" dargestellt, S. 78.

Schall kann sich in gasförmigen und flüssigen Medien sowie in Festkörpern fortpflanzen und auf sie übertragen werden. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalls ist je nach Medium unterschiedlich, in der Luft legt er etwa 340 m/s zurück. Bei einem Gewitter lässt sich das mit dem zeitlich späteren Eintreffen des akustisch wahrgenommenen Donners an einem Ort und dem dort zuvor gesehenen – mit der Lichtgeschwindigkeit von 300.000 km/s übertragenem – Blitz gut beobachten. Im Stahl wird Schall mit 4.900 m/s, in Holz mit 3.400 m/s, in Wasser mit 1.400 m/s und in Gummi nur mit 50 m/s weitergeleitet (unterschiedlich gute Schallleiter). Je schneller der Schall ist, desto länger sind die Wellen, die Wellenlänge ist proportional zur Geschwindigkeit.

**Frequenz**

Schall setzt sich aus einem Spektrum verschiedener Frequenzen zusammen. Die Frequenz bzw. Tonhöhe wird durch die Anzahl der Luftdruckschwankungen pro Sekunde bestimmt. Die Einheit der Frequenz ist das Hertz (1 Hz = 1 Schwingung/s).

- Eine Schwingung bei einer bestimmten Frequenz nennt man einen Ton, z.B. den einer Stimmgabel (Abb. 2a).
- Die Töne von Musikinstrumenten sind streng genommen keine Töne, sondern Klänge. Neben ihrer Grundfrequenz werden sie von weiteren Frequenzen, den Obertönen, gebildet, die zur Grundfrequenz in einem harmonischen Verhältnis stehen und diese überlagern (Abb. 2b).
- Geräusche sind eine vielfältige Mischung unterschiedlichster Frequenzen (Abb. 2c).

Im Interaktiven Bildschirmexperiment „Schallschwingungen", S. 73, wird gezeigt, wie Töne, Klänge und Geräusche von einer Stimmgabel, von einem Monokord und vom Zusammenknüllen von Papier aufgenommen und deren Schwingungen über ein Interface auf dem Bildschirm eines Computers sichtbar dargestellt werden.

Wir können etwa 1.000 verschiedene Tonhöhen in dem Frequenzbereich von 16 Hz bis 20 kHz (1.000 Hz = 1 kHz) unterscheiden, also von 16 bis zu 20.000 Schwingungen in der Sekunde. Fledermäuse können bis zu 150 kHz, Katzen bis zu 50 und Hunde bis zu 40 kHz hören. Die Obergrenze sinkt beim Menschen mit zunehmendem Alter deutlich.

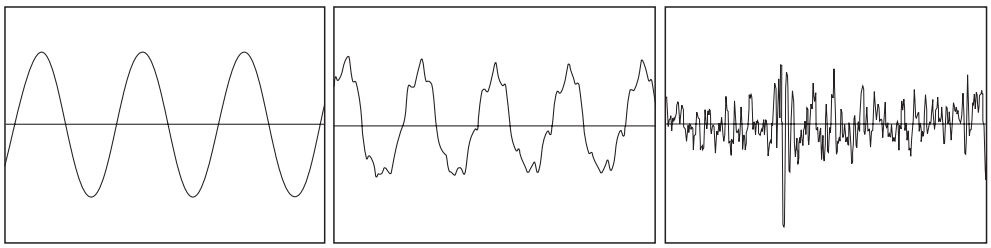


Abb. 2: Schwingungsbilder einer angeschlagenen Stimmgabel (a), einer gezupften Saite (b) und des Geräusches beim Zusammenknüllen von Papier (c), aus dem Interaktiven Bildschirmexperiment „Schallschwingungen".

**Schallleistung und -intensität**

Wie jede andere Welle so transportieren auch Schallwellen Energie. Eine Schallquelle strahlt diese rund herum in den Raum, die Maßeinheit der Energie ist 1 J (Joule) und die Schallleistung W (Watt) dann die pro Zeiteinheit abgestrahlte Energie, also J/s = W. Die Schallleistung verschiedener Schallquellen ist sehr unterschiedlich:

| Schallquelle | Schallleistung (W) | Schallquelle | Schallleistung (W) |
|---|---|---|---|
| Unterhaltung, Schreibmaschine | 0,00001 | Presslufthammer | 1 |
| | | Maschinengewehr | 10 |
| Laute Unterhaltung | 0,000025 | Rockkonzert Lautsprecher | 100 |
| Brüllen | 0,002 | | |
| Geige, fortissimo | 0,001 | Sirene | 1.000 |
| Kreissäge | 0,01 | Düsenjäger | 10.000 |
| Bagger, Trompete | 0,3 | Raketentriebwerk | 1.000.000 |

Tab. 1: Schallleistungen verschiedener Schallquellen.

Mit der **Schallintensität** wird angegeben, wie viel Schallleistung eine Flächeneinheit erreicht, also $W/m^2$. Hier wird deutlich, dass die Schallintensität mit dem Quadrat der Entfernung (r) abnimmt: $1/r^2$.

All dies sind **Fragen, mit denen man sich beschäftigt, wenn man Schall erzeugen oder seine Ausbreitung vermindern möchte.**

Die Ausbreitung des Schalls kann durch Vergrößerung des Abstandes zur Schallquelle gemindert werden. Eine weitere Möglichkeit ist die Schalldämmung, z.B. wird beim Auspufftopf eines Motorrades oder Pkws ein wesentlicher Teil des Schalls an den Querschnittsprüngen der Auspuffanlage zum Zylinder reflektiert. Die Bezeichnung „Schalldämpfer" ist daher für Kraftfahrzeuge im Grunde genommen falsch, denn Schalldämpfer arbeiten anders, z.B. bei Lüftungsanlagen. Hier wird der Schall durch Kammern mit Schall absorbierendem Material geleitet. Da jeder Punkt einer Wellenfront Ausgangspunkt einer Kugelwelle ist, tritt ein großer Teil der Schallenergie in das poröse Material ein. Die in dieses Material eintretende Schallenergie wird durch Reibung in Wärme umgewandelt.

Zum Straßenverkehr ist hier anzumerken, dass heutzutage aufgrund von „Schalldämpfern" und bei Lkws zum Teil durch Motorkapselung das Motorengeräusch wesentlich leiser und die entscheidende belastende Größe im Stadtverkehr das Rollgeräusch der Reifen ist. Bei hohen Geschwindigkeiten auf Landstraßen und Autobahnen überwiegen dagegen die Windgeräusche.

**Schalldruck und -schnelle**

In der Schallwelle schwingen die Luftteilchen um ihre Ruhelage mit einer bestimmten Geschwindigkeit, der Schallschnelle (v gemessen in m/s), und je schneller diese Schwingungen sind, desto größer ist der Schalldruck (p gemessen in Pa) der Welle. Pa ist die Maßeinheit für Druck = $N/m^2$ und N ist die Maßeinheit für Kraft (= Masse in kg x Beschleunigung in $m/s^2$).

Schallschnelle und Schalldruck sind proportional:

$$v\ (m/s) = p\ (Pa)$$

Die Schallschnelle gibt an, mit welcher Geschwindigkeit die Luftteilchen um ihre Ruhelage schwingen, also die Momentangeschwindigkeit eines schwingenden Teilchens; sie ist nicht mit der Schallgeschwindigkeit zu verwechseln, die angibt, mit welcher Geschwindigkeit sich die Schallwelle ausbreitet. All dies hängt natürlich von der Widerständigkeit des leitenden Mediums ab, s. S. 19 die unterschiedlichen Schallgeschwindigkeiten, und es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$v\ (m/s) = p\ (Pa)/\rho\ (kg/m^3) \times c\ (m/s)$$

$\rho$ ist die Dichte (mit der Maßeinheit $kg/m^3$) des schallleitenden Mediums und c die spezifische Schallgeschwindigkeit in dem Medium. So sind jetzt alle vier Größen, die Schnelle der schwingenden Teilchen, der Druck in der Welle, die spezifische Dichte des Mediums und schließlich die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle zueinander in Beziehung gebracht.

**Schallintensität und -druck**

Bisher wurden Schallleistung, -intensität, -druck und -schnelle getrennt voneinander betrachtet. Es liegt in der Natur der Sache, dass zwischen ihnen ebenfalls bestimmte Beziehungen bestehen (die Zusammenhänge sind bei Hoffmann, von Lüpke und Maue sehr gut und wirklich verständlich dargestellt): die Schallintensität ist das Produkt von Schallschnelle und Schalldruck (Maßeinheit Pa), also der kinetischen und potenziellen Energie. So ist die Schallintensität proportional dem Quadrat des Schalldrucks:

$$I\ (W/m^2) \approx p^2\ (Pa^2)$$

Der Druck nimmt proportional zur Entfernung (r) ab: 1/r. **Mit Schalldrücken beschäftigt man sich, wenn es sich um die Wahrnehmung von Schall und die Auswirkungen auf den Organismus handelt.** Während die Abnahme des Schalldrucks also linear ist, ist die der flächenbezogenen Intensität quadratisch.

Aus der Schallleistung der Schallquelle kann der beim Hörenden eintreffende Schalldruck berechnet werden (s. Berge).

Die Ohren (und übrigens genauso auch Mikrofone) sind Schalldruckempfänger. Aufgrund von verstopfter Nase und Eustachischer Röhre entsteht beim Fliegen oder im Fahrstuhl ein Druckunterschied zwischen Mittelohr und Außenwelt. Dadurch wird das Trommelfell gespannt und die Hörfähigkeit deutlich verringert.

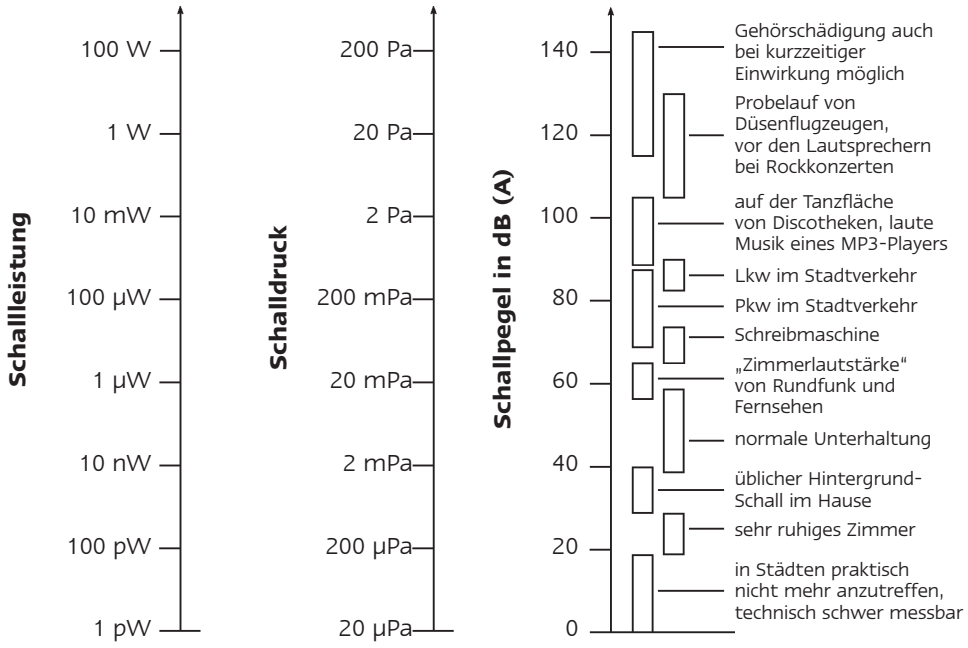



Abb. 3: Angabe der Schallleistung, des Schalldrucks und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Sprünge bei der Schallleistung jeweils zwei 10er-Potenzen ausmachen, während sie beim Schalldruck nur eine 10er-Potenz betragen.

Das menschliche Gehör kann Schalldrücke in einem Bereich von 2 x 0,00001 bis 20 Pa verarbeiten. Die Größe der Schwingung bei 2 x 0,00001 Pa beträgt dann 1 Milliardstel cm und ist gerade mal so groß wie ein Wasserstoffatom.

Aus Experimenten ist bekannt, dass die Schallempfindung logarithmisch von der Reizstärke abhängt (Weber-Fechner`sches Gesetz). Dieser Umstand mag dem Fachunkundigen merkwürdig erscheinen. Die biologische Bedeutung ist jedoch leicht zu erkennen. Zum Schutz des Zentralnervensystems werden derart große Unterschiede der auf den Organismus wirkenden Reize untersetzt wahrgenommen.

Aus diesem Grund hat man für den Schallpegel eine logarithmische Skala gewählt, die dimensionslos, also ohne Maßeinheit ist. Die Einheit des Schallpegels ist das Dezibel, auch dB (ein Zehntel Bel) genannt. Beim Vergleich zweier Geräusche ist ein Pegelunterschied von ca. 1 dB gerade wahrnehmbar. Es wird der aktuelle Schalldruck p in Beziehung zum Referenzwert $p_{ref} = 2 \times 10^{-5}$ Pa gesetzt, dem gerade noch bei 1 kHz hörbaren leisesten Schalldruck, also:

$$\text{Schalldruckpegel (dB)} = 20 \times \log(p/p_{ref})$$

Die Definition des Schallintensitätspegels lautet:

$$\text{Schallintensitätspegel (dB)} = 10 \times \log(I/I_{ref})$$

Die unterschiedlichen Beziehungen leiten sich aus der o.g. Proportionalität her. So entspricht jede Verdoppelung des Schalldrucks einer Schallpegelzunahme um 6 dB; eine Verdoppelung der Schallintensität – etwa durch Verdoppelung der Schallquellen – entspricht dagegen einer Schallpegelzunahme um 3 dB. Bei hundertfacher Schallintensität resp. zehnfachem Schalldruck steigt der Schallpegel um 20 dB, was etwa der Vervierfachung der Empfindung der Lautstärke entspricht.

| | Schalldruck | Schallintensität |
|---|---|---|
| **Hörschwelle** | $2 \times 10^{-5}$ Pa | $10^{-12}$ W/m² |
| **Schmerzgrenze** | 20 Pa | 1 W/m² |

Tab. 2: Schalldruck und Schallintensität bei Hörschwelle und Schmerzgrenze.

Im Frequenzbereich um 1.000 Hz beträgt die Dynamik unseres Gehörs ca. 120 dB. Da

- eine Verdoppelung der Schallintensität einer Pegelzunahme um 3 dB und
- eine Verzehnfachung um 10 dB
- sowie die Verdoppelung des Schalldrucks einer Pegelzunahme um 6 dB und
- die Verdreifachung einer Zunahme von 10 (genau 9,5) dB

aufgrund der logarithmischen Beziehungen entsprechen, beträgt das Verhältnis der Schallenergie an der Schmerzschwelle zu der an der Hörschwelle mehr als 1.000.000.000.000 : 1. Eine Schallpegelzunahme von 10 dB wird jedoch nur als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen. Der Hörbereich des menschlichen Ohres ist in Abb. 4 dargestellt:

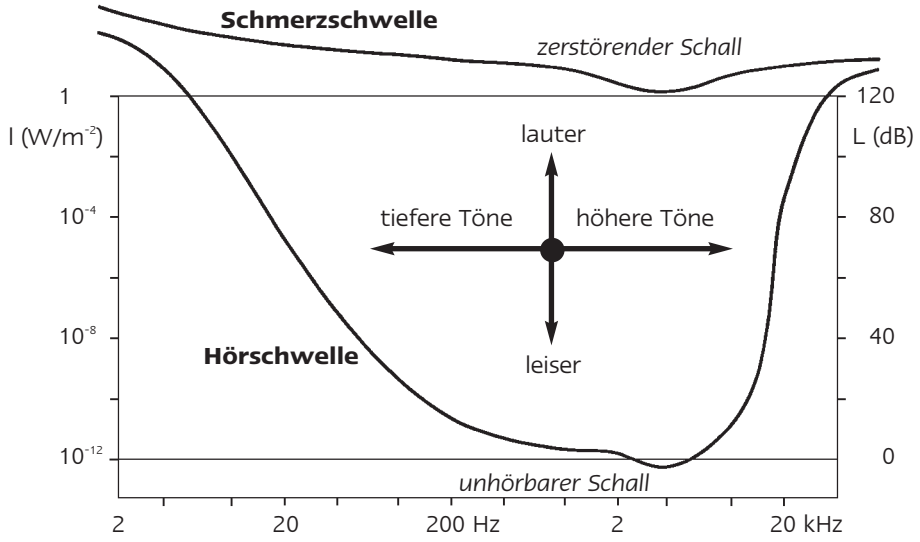



Abb. 4: Hörbereich des gesunden menschlichen Ohres (Schallleistung I in W/m⁻² und Schallpegel L in dB).

Bei gleichem Schallpegel werden insbesondere tiefe, aber auch hohe Töne leiser wahrgenommen als Töne mit Frequenzen um 2.000 Hz. Die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs wird aufgrund internationaler Vereinbarungen überwiegend durch die A-Bewertungskurve berücksichtigt. Der A-bewertete Schallpegel wird in dB (A) angegeben. Durch diese Frequenzbewertung werden tieffrequente Geräuschanteile ähnlich wie bei dem Gehör geringer gewichtet als die Anteile im Bereich um 1.000 Hz (1 kHz). Ein 100-Hz-Ton muss z.B., um gerade wahrgenommen zu werden, 20 dB stärker sein als ein 1.000-Hz-Ton.

Es ist zu beachten, dass der Mensch zum Aufbau einer vollständigen Lautheitsempfindung knapp 200 ms benötigt. Kürzere Schallimpulse werden daher leiser wahrgenommen als es der Schalldruckpegel erwarten ließe. Bei deutlichen Überschreitungen der Schmerzschwelle ist mit direkten mechanischen Innenohrschäden zu rechnen. Bei Impulsschall, bei Geräuschen, die sehr schnell einen hohen Schallpegel erreichen, einen steilen Flankenanstieg haben und extrem kurz sind, wirkt in einem extrem kurzen Zeitraum eine enorme Energie auf das Ohr ein.

Die Zusammenhänge sind etwas kompliziert und wenig übersichtlich:

1. Der Mensch nimmt Schall von 200 ms und länger bei konstantem Pegel unabhängig von der Länge wahr.
2. Bei kürzerem Schall von 100 bis 200 ms Dauer wird die Wahrnehmung des kurzen Zeitraums durch eine verminderte Wahrnehmung der Lautstärke etwas ausgeglichen.
3. Bei Schall unter 100 ms Dauer wird die Lautstärke proportional zur Schallenergie, also Stärke mal Zeit, wahrgenommen, also je kürzer, desto leiser.

Der Knall einer Spielzeugpistole hat eine Dauer von ca. 0,5 ms, 200-mal kürzer als die Schwelle zur proportionalen Wahrnehmung der Lautstärke (s. 3.). Er wird wie ein 23 dB (10 x log 200) leiserer Schall wahrgenommen. Das hat verheerende Folgen, weil die Gefahr für die Ohren deshalb nicht erkannt werden kann. Z.B. wird die 5 cm vom Ohr entfernt abgedrückte Spielzeugpistole nicht mehr als 155, sondern als 132 dB (A) gehört und deshalb in ihrer Gefährlichkeit unterschätzt.

Das gilt natürlich auch für andere Impulsschallereignisse, z.B. Feuerwerkskörper, platzende Luftballons sowie Ohrfeigen ebenso wie für den lieb gemeinten dicken Kuss aufs Ohr. Die so erzeugten einmaligen Vertäubungen können zu lebenslangen Hörschäden führen!

Für die Messung von Schall mit ständig wechselnden Lautstärken und Frequenzen werden spezielle Geräte verwendet, die die „Mittelungspegel“ messen. Der Nachteil dieser Verfahrensweise ist, dass der Mittelungspegel keinen Aufschluss über den Zeitablauf der Schallereignisse gibt (also über den meist vorherrschenden Schallpegel, über die Spitzen und über die Ereignishäufigkeiten) und damit nur begrenzt Hinweise auf das Gefährdungspotenzial liefert.

Bei jahrelanger hoher Schallbelastung besteht die Gefahr schwerhörig zu werden. Der Beginn des Risikos für Lärmschwerhörigkeit liegt bei einer mittleren Belastung mit 85 dB (A) und einer Wochenarbeitszeit von 40 Stunden. Wer 4 Stunden pro Woche in einer mäßig lauten Disco mit 95 dB (A) (10 dB mehr entspricht aufgrund des logarithmischen Maßstabs einer Verzehnfachung der Schallbelastung, s.o.) oder 24 Minuten (4/10 Std. = 24 Min.) in einer lauten Disco mit 105 dB (A) zubringt, erreicht dieselbe Belastung.

Niederfrequenter Schall gefährdet das Gehör deutlich weniger als Geräuschanteile im Frequenzbereich von 1 – 6 kHz. Zur Beurteilung der Gehörgefährdung ist deshalb die A-Bewertung sehr gut geeignet. Dagegen ist die Belästigungswirkung von tieffrequentem Schall besonders im Nachbarschaftsbereich besonders hoch, weil dieser von den Wänden weniger gedämmt wird. Durch Musik mit starken Bässen können buchstäblich „die Wände wackeln“. Die Schallwellen werden übertragen und im benachbarten Raum in deutlich vernehmbarer Lautstärke verbreitet (s.a. im Zusammenhang mit Musik „Nachbarschaftslärm“, S. 125).

Die Stresswirkung niedrigfrequenter Töne wird durch die dB (A)-Bewertung häufig unterschätzt. Tieffrequenter Schall (unter 100 Hz) wirkt belastender auf den Menschen als nach Messung in dB (A) anzunehmen wäre. Für diesen Bereich gibt es eine besondere Messmethode, auf die hier nicht weiter eingegangen wird: DIN 45680 (Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft).

Es wird deutlich, dass bei der Auseinandersetzung über Lärmbelästigungen methodische Fragen eine wichtige Rolle spielen. Die Charakteristik von Geräuschen, die Tonhöhe und die Dynamik sind mit zu berücksichtigen. Neben dem Mittelungspegel sollten, z.B. bei nächtlichen Lärmstörungen, die Maximalpegel und die Pegelhäufigkeit unbedingt angegeben bzw. begrenzt werden, wie es z.B. bei nächtlichem Fluglärm üblich ist.

## 2.2 Hören

Die Ohrmuscheln der Menschen sind für das Richtungshören von Bedeutung (Abb. 5.1). Dafür werden zum einen Laufzeitunterschiede der ersten Wellenfront an den beiden Ohren ausgewertet. Zum anderen wird bei schrägem Schalleinfall der Schallpegel an der der Quelle abgewandten Ohrmuschel frequenzabhängig reduziert. Diese richtungs- und frequenzabhängige Schallpegeldifferenz zwischen den Schallsignalen beider Ohren ist für das Richtungshören besonders wichtig.

Abb. 5: Ohr. Alle Abbildungen entsprechen der natürlichen Lage der Strukturen im Kopf (lagegetreu). In den Abb. 5.1 - 5.6 sind die Ausschnitte zunehmend stärker vergrößert dargestellt.

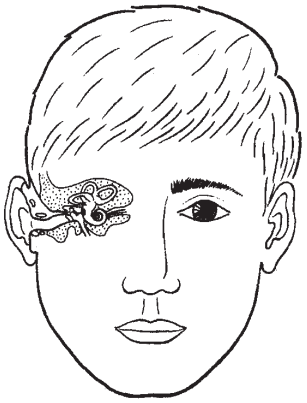


Abb. 5.1: Lage des Ohres im Kopf.

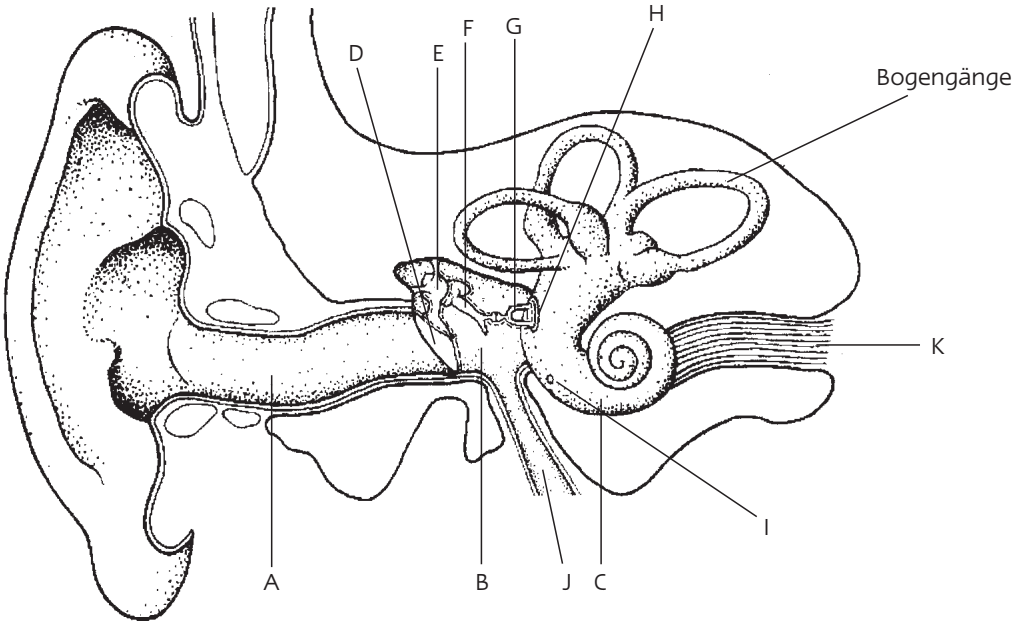



Abb. 5.2: Anatomischer Bau des Ohres.

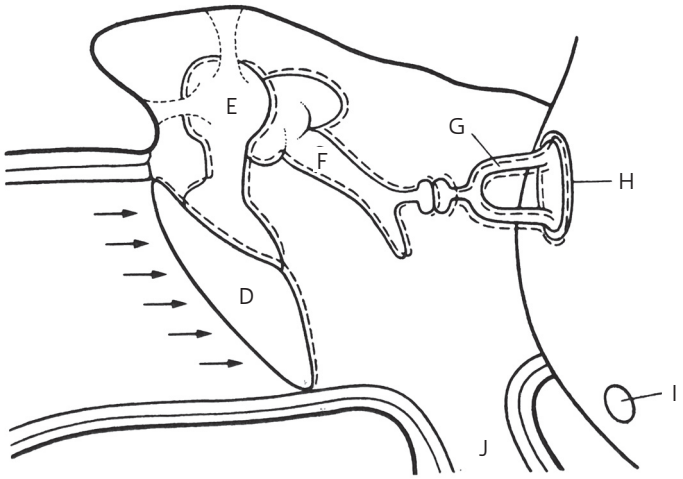



Abb. 5.3: Darstellung der Ohrknöchelchen in Bewegung.

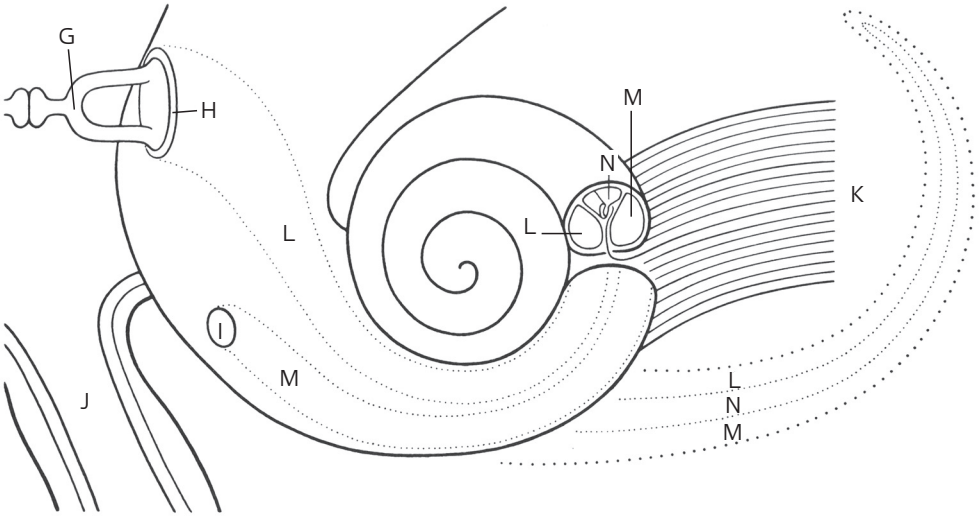



Abb. 5.4: Schnecke in natürlicher Lage und ausgerollt (gestrichelt).

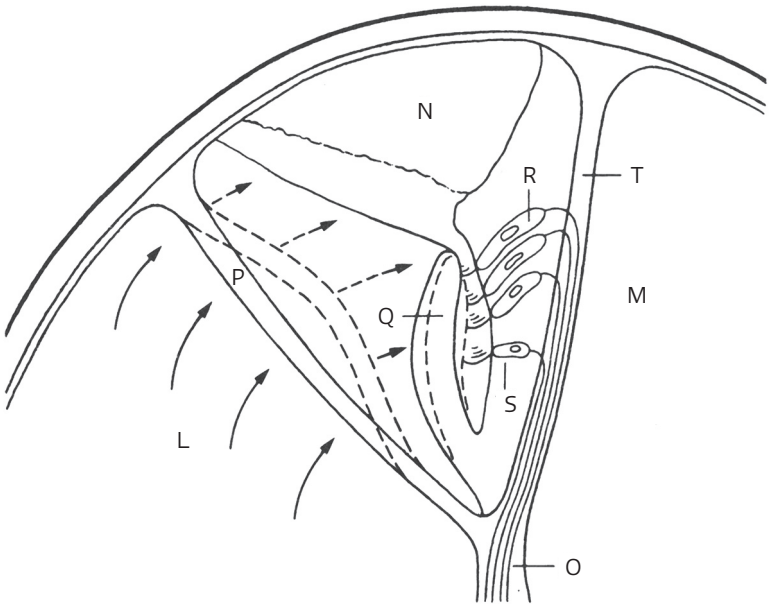



Abb. 5.5: Corti-Organ.

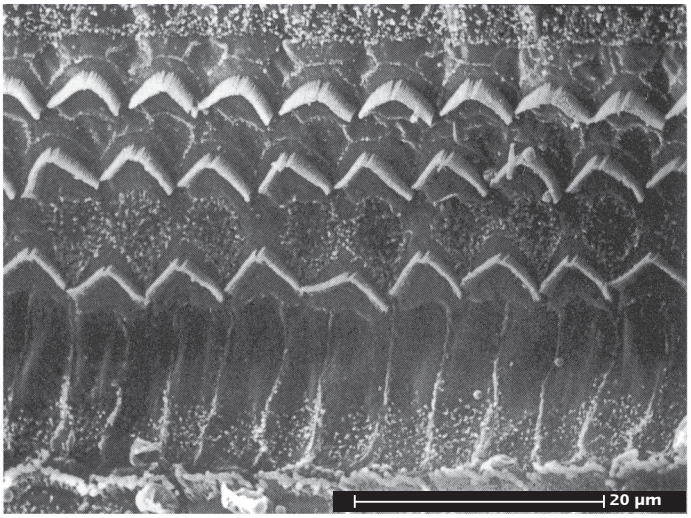



Abb. 5.6: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht.

A Außenohr mit Gehörgang
B Mittelohr
C Innenohr mit Schnecke
D Trommelfell
E Hammer
F Amboß
G Steigbügel
H Ovales Fenster
I Rundes Fenster
J Eustachische Röhre
K Hörnerv
L Vorhoftreppe
M Paukentreppe
N Schneckengang
O Spirallamelle mit Hörnerv
P Reissnersche Membran
Q Deckmembran
R Äußere Haarzellen mit Zilien
S Innere Haarzellen mit Zilien
T Basilarmembran

Durch den Gehörgang gelangen die Schallwellen auf das Trommelfell und über die Gehörknöchelchen im Mittelohr (Hammer, Amboss und Steigbügel) auf das ovale Fenster des Innenohres (s. Abb. 5.2).

Ferner verstärkt der Gehörgang durch seine Resonanz bei ca. 3.000 Hz die Empfindlichkeit.

Das **Mittelohr** steht über die Eustachische Röhre (Abb. 5.2) mit dem Nasen-Rachen-Raum in Verbindung. Ihre Funktion ist der Druckausgleich im Ohr (z.B. „Knacken" bei Fahrstuhlfahrten oder Flugreisen). Bei Erkältungskrankheiten kann diese Röhre durch Schwellung verschlossen sein, was zu verändertem Ohrdruck und Hörstörungen führt. Die besonders von Kindern bekannten Mittelohrentzündungen sind oft Folge von Erkältungskrankheiten. Mittelohrentzündungen können bei unzureichender Behandlung auf benachbarte Organe, z.B. auf das Innenohr, übergreifen.

Die auf das Ohr treffenden Schalldrücke sind sehr gering (s.o.) und daher erklären sich die besonderen Funktionen des Mittelohres:

1. Die Funktion der Gehörknöchelchen ist nicht nur, dass sie schwingend den Schall zum ovalen Fenster weiterleiten, sondern sie ergibt sich auch daraus, dass Schall von einem Medium mit niedrigem (Luft) in ein Medium mit hohem (Innenohrflüssigkeit) Wellenwiderstand weitergeleitet werden muss. Beim Übergang von einem gasförmigen Medium mit hoher Kompressibilität in eine Flüssigkeit mit im Vergleich zur Luft niedrigerer Kompressibilität (in der den Schwingungen aufgrund der geringen Kompressibilität ein etwa 3.000-mal größerer Widerstand entgegensteht) geht der überwiegende Teil der Schallenergie verloren, ca. 99 % werden reflektiert.
   Im Mittelohr wird das Problem gelöst, indem der Schall transformiert wird. Der Druck der Schwingungen wird erhöht, was auf dem Flächenverhältnis des 60 – 90 $mm^2$ großen Trommelfells zu dem wesentlich kleineren, 3 – 3,5 $mm^2$ großen ovalen Fenster beruht. Große Amplituden der Schwingung und geringer Druck werden in kleine Amplituden und großen Druck gewandelt, ein Druckwandler mit einer enormen Effektivität, nur noch 35 % werden reflektiert und 65 % vom Ohr aufgefangen.
   Dieser hohe Wirkungsgrad wird durch eine weitere, quantitativ jedoch geringere Funktion des Mittelohres mitbedingt, der des Kraftwandlers:
2. Hammer und Amboss sind unterschiedlich lang, ersterer ist ca. 1,3-mal länger als der zweite. Hier wirken die Hebelgesetze, die die Amplitude der Schwingung untersetzen und damit die Stärke vergrößern (genau genommen sind es Winkelhebel und die Drehmomente von Hammer und Amboss verhalten sich wie 1,3:1).
3. Eine weitere wichtige Aufgabe des Mittelohres mit seinen Knöchelchen ist seine Schutzfunktion. Bei sehr hohen Schallintensitäten zieht ein kleiner Muskel den Steigbügel in eine Schräglage, sodass nur noch ca. 10 % der Schallenergie ins Innenohr gelangen. Dieser Schutzmechanismus wird „Stapedius-Reflex" genannt (Stapes = Steigbügel). Gleichsinnig wirkt ein Muskel, der am Hammer ansetzt und damit das Trommelfell spannt, sodass das Ausmaß der Schwingungen gemindert wird.
   Ein Beispiel aus der Natur soll die Wirkung des Schutzmechanismus im Mittelohr verdeutlichen: Eine singende Amsel erzeugt an ihren Ohren einen Schallpegel von ca. 120 dB. Da der Schutzmechanismus im Gegensatz zum Menschen nicht kurzfristig ist, sondern beim Singen wirksam bleibt, werden die Ohren der Singvögel vor Überlastung und Schädigung bewahrt.

Während im Mittelohr zu große Schallpegel gemindert werden, werden sehr kleine Schallpegel im Innenohr cochleär verstärkt. Aber auch diese Verstärkung wird bei zu großen Schallpegeln gemindert (s. S. 32), sodass in Summa an zwei Stellen des Ohres Schutzmechanismen vor Überlastung vorhanden sind.

Das **Innenohr** besteht im Wesentlichen aus dem Gleichgewichtsorgan und der Schnecke (Abb. 5.4). Die Schnecke besteht aus einem spiralförmig gewundenen Doppelgang, der ausgestreckt eine Länge von etwa 35 mm hat. In der Schnecke befindet sich das eigentliche Hörorgan, das Corti-Organ (Abb. 5.5), in der der Schall in bioelektrische Signale zur Weiterleitung durch das Nervensystem umgewandelt wird. Zunächst werden die Schallwellen vom Steigbügel über das ovale Fenster in die mit einer Flüssigkeit gefüllte Vorhoftreppe übertragen. Sie windet sich hoch bis zur Spitze und führt als Paukentreppe zurück bis zum runden Fenster. Über dieses erfolgt der Druckausgleich.

Zwischen Vorhof- und Paukentreppe liegen die Reissner`sche und die Basilarmembran (Abb. 5.5). Beide umschließen das auf der Basilarmembran liegende eigentliche Hörorgan, das Corti-Organ. Zum Corti-Organ gehören Sinneszellen, die Haarzellen, die mit sehr feinen Härchen (Zilien) ausgestattet sind (Abb. 5.6).

Sie sind in vier parallelen Reihen auf der elastischen Basilarmembran des Corti-Organs angeordnet. Die Haarzellen der zur Schneckenachse hin innersten Reihe – die inneren Haarzellen – tragen linienförmig angeordnete Sinneshärchen (Zilien); die Härchen der drei Reihen äußerer Haarzellen sind V- oder W-förmig angeordnet (Abb. 5.6). Das Ganze gleicht einer faszinierenden Miniatur: Pro Millimeter trägt die Basilarmembran etwa 100 Viererreihen von Haarzellen mit weit über 10.000 Härchen; die Haarzellen sind pro Millimeter durch etwa 1.000 Nervenfasern mit dem Zentralnervensystem verbunden.

Wird die Basilarmembran durch Schallwellen in Schwingungen versetzt, so verschiebt sich die Deckmembran gegenüber der Basilarmembran, die Zilien werden gebogen. Dadurch wird ein elektrochemischer Prozess in den Sinneszellen ausgelöst, der mit elektrischen Impulsen von den Haarzellen über Nervenzellen an das Hörzentrum im Gehirn führt: Man hört.

**Wanderwelle und cochleäre Verstärkung:** Bei Schallanregung bildet sich auf der Basilarmembran eine „Wanderwelle" aus, die im Falle von hohen Tönen im Bereich der Schneckenbasis ihr Maximum hat. Bei abnehmender Frequenz verschiebt sich das Maximum dieser Wanderwelle zur Schneckenspitze hin. Die Basilarmembran ist an der Schneckenbasis schmal und steif, daher liegt hier die Resonanzfrequenz bei hohen Frequenzen. Mit wachsender Entfernung von der Basis nimmt die Breite zu und die Steife ab. Dadurch nimmt die Resonanzfrequenz kontinuierlich ab. Abb. 6.1 zeigt die Hüllkurve der Wanderwelle sowie zwei momentane Schwingungsformen der Wanderwelle auf einem Schnitt durch die „ausgerollte" Basilarmembran. In Abb. 6.2 ist eine dreidimensionale Momentaufnahme einer schematisierten passiven Wanderwelle auf „ausgerollter" Basilarmembran dargestellt. Békésy untersuchte diese Schwingungsformen der Basilarmembran am Innenohr von Verstorbenen.

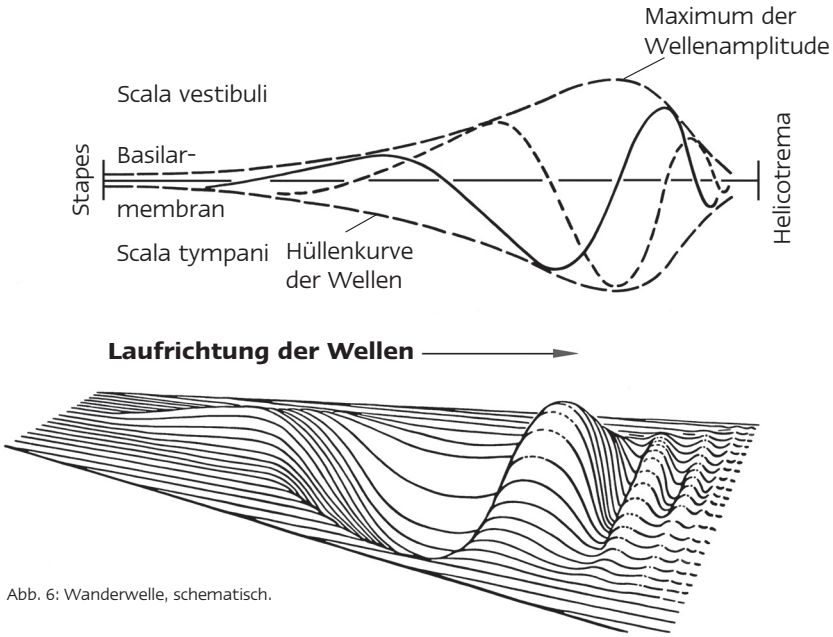



Abb. 6: Wanderwelle, schematisch.

Abb. 6.1 (oben): Schnittbild der „ausgerollten" Basilarmembran mit dem Maximum der Wellenamplitude (Hüllkurve) der Wanderwelle bei tieffrequenter Anregung; innerhalb der Hüllkurve zwei Momentaufnahmen der von links (Stapes = Steigbügel) nach rechts (Helikotrema = Schneckenspitze) laufenden Wanderwelle.

Abb. 6.2 (unten): Dreidimensionale Darstellung einer momentanen Form der Wanderwelle. Am Rande ist die Basilarmembran starr mit dem umgebenden Felsenbein verbunden.

Die passive Wanderwelle führt zu einer recht unscharfen Frequenzabhängigkeit vom Ort auf der Basilarmembran und kann die hohe Frequenzauflösung des menschlichen Ohres nicht erklären. Die gestrichelte Linie in Abb. 7 stellt die Umhüllende dieser passiven Wanderwelle bei Schallerregung mit einem 2.000-Hz-Ton dar. Beim lebenden Ohr bildet sich dagegen ein viel schärferes Schwingungsmaximum auf der Basilarmembran aus (s. durchgezogene Linie in Abb. 7).

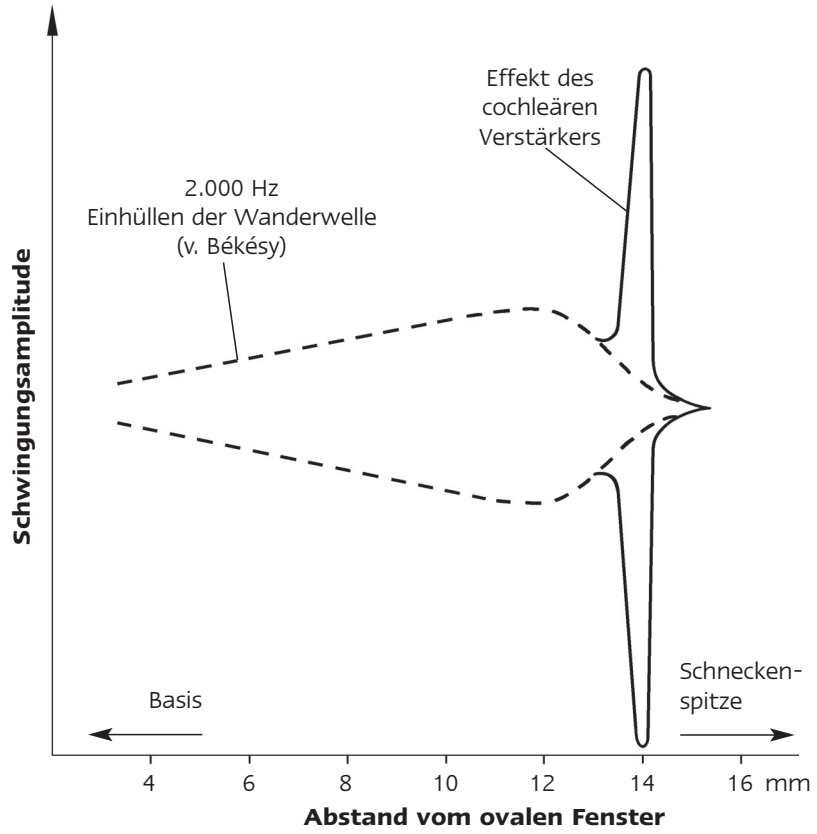



Abb. 7: Einhüllen der Wanderwelle bei 2.000 Hz. Durchgezogene Linie: beim lebenden Innenohr (Schwingung der Basilarmembran mit aktiver Verstärkung). Gestrichelte Linie: beim toten Innenohr (passive Schwingung der Basilarmembran).

Der Unterschied zur passiven Wanderwellenform wird durch eine aktive, hochselektive cochleäre Verstärkung der Basilarmembran-Schwingung mittels der äußeren Haarzellen bewirkt. Die äußeren Haarzellen können aktiv ihre Länge verändern. Wenn sie durch eine Schwingung, die ihrer Eigenfrequenz entspricht, angeregt werden, verstärken sie diese Schwingung aktiv. Auch die Eigenfrequenzen der äußeren Haarzellen steigen von der Schneckenspitze zur Basis hin kontinuierlich an und führen für verschieden hohe Töne zu scharfen Schwingungsmaxima. Dadurch werden pro Millimeter auf der Basilarmembran knapp 30 verschiedene Tonhöhen unterschieden.

Die eigentlichen Schallwandler sind die inneren Haarzellen. Durch Auslenkung ihrer Härchen werden elektrochemische Prozesse in den Haarzellen eingeleitet, die zu Nervenimpulsen führen. Über den Hörnerv werden diese zum Hörzentrum im Gehirn weitergeleitet und analysiert. Ein Rückkopplungskreis über Nervenfasern, der von den inneren Haarzellen zum Gehirn und von dort zu den äußeren Haarzellen verläuft, steuert die Aktivität der äußeren Haarzellen.

Durch die aktive Bewegung der äußeren Haarzellen wird sowohl die große Frequenzauflösung als auch die erstaunliche Empfindlichkeit und Dynamik unseres Gehörs erreicht. Jede einzelne Haarzelle hat eine Dynamik von etwa 40 dB. Erst durch das komplexe Zusammenwirken der äußeren und inneren Haarzellen mit Steuerung über das Gehirn wird die große Dynamik von 120 dB erreicht. Die schon erwähnte Verstärkung der Basilarmembran-Schwingungen durch die äußeren Haarzellen erhöht die Empfindlichkeit des Innenohres und damit auch die Dynamik um 40 bis 50 dB. Bei zunehmendem Schallpegel wird die Verstärkung durch die äußeren Haarzellen verringert (s. S. 29 Schutzmechanismen), und das Schwingungsmaximum auf der Basilarmembran wird breiter. Bei Schallpegeln über 90 bis 100 dB verringern die äußeren Haarzellen, gesteuert über den erwähnten Rückkopplungskreis und das Zentralnervensystem, die Basilarmembran-Schwingung. Dadurch werden die Dynamik des Innenohres auf 120 dB erweitert und gleichzeitig die inneren Haarzellen geschützt.

Der Dynamikbereich des normalen Ohres ist in Abb. 8 als linearisierter Zusammenhang zwischen Schallpegel und Lautstärke dargestellt. Ohne die Funktion der äußeren Haarzellen wäre das Innenohr um 40 bis 50 dB weniger empfindlich (Innenohr-Schwerhörigkeit); gleichzeitig würde die Schmerzschwelle früher erreicht (Hyperakusis). Insgesamt wäre die Dynamik des Innenohres ohne äußere Haarzellen um etwa 60 dB reduziert. Dies ist bei Schwerhörigkeit oftmals gegeben und kann nicht durch Lautstärke, sondern nur durch verbesserte Artikulation kompensiert werden, s. S. 36.

Für die Sprachverständlichkeit in einem Raum – z.B. einem Klassenraum – ist die Nachhallzeit entscheidend wichtig. Jeder hat wohl schon die Erfahrung gemacht, dass man sich in einem halligen Raum schwer verständigen kann. Für einen Klassenraum sollte die Nachhallzeit kleiner als 0,5 Sekunden sein. Bei zu langer Nachhallzeit sollte z.B. ein Teil der Decke mit porösem Material belegt werden. Dadurch wird gleichzeitig das Hintergrundgeräusch im Raum bei gleichbleibender Leistung der Schallquelle (Geräusche der Schulkinder) verringert. Auch dadurch wird die Sprachverständlichkeit im Raum erhöht, die sowohl von der Nachhallzeit als auch vom Verhältnis zwischen Nutzschall (Sprache) und Hintergrundgeräusch abhängt.

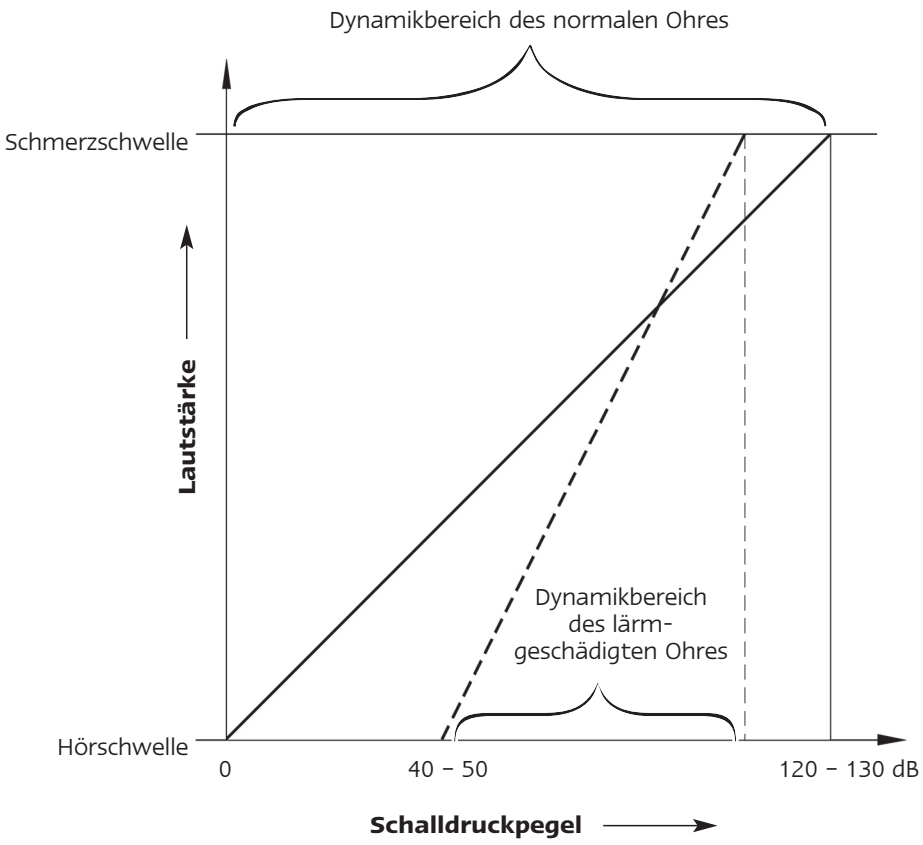



Abb. 8: Linearisierter Zusammenhang zwischen Lautstärke und Schallpegel bei intakten äußeren und inneren Haarzellen und bei Ausfall der äußeren Haarzellen. Schematische Darstellung zur Erklärung des Rekruitment-Phänomens (s. S. 36).

## 2.3 Audiometrie

Beim Audiogramm (s. Abb. 9) werden der zu untersuchenden Person Töne unterschiedlicher Tonhöhe getrennt für jedes Ohr über einen Kopfhörer vorgespielt. Der von ihr gerade noch hörbare Schalldruck wird mit dem von normalhörigen, 15 Jahre alten Menschen wahrgenommenen verglichen und damit das mögliche Ausmaß des Hörverlustes bestimmt, angegeben in dB. 15-jährige Normalhörige haben dabei in der Darstellung keinen Hörverlust, also 0 dB, Hörgeschädigte hören um den gemessenen Betrag weniger. Durch diese Darstellung wird der Hörverlust im Koordinatenkreuz nach unten aufgetragen. Bei 4 kHz treten meist die ersten lärmbedingten Hörschäden auf.

Mithilfe des Interaktiven Bildschirmexperiments „Audiometrie“, S. 83, kann die Aufnahme eines Audiogramms simuliert werden, dabei wird deutlich, wie die Kurven erstellt werden und zu interpretieren sind, s. Baustein „Lärm schädigt das Innenohr“, S. 197.

## 2.4 Gehörschäden durch Schallüberlastung

Bei Schallüberlastung werden im Innenohr zuerst die Zilien der äußeren Haarzellen geschädigt. Bei kurzzeitiger moderater Schallüberlastung werden sie nur vorübergehend beeinträchtigt, was sich in einer zeitweilig wahrnehmbaren Vertäubung äußert. Sie können sich in entsprechend langen Lärmpausen mit Schallpegeln von unter 70 dB (A) regenerieren. Fehlen diese Ruhepausen oder ist die Belastung zu hoch oder zu lange, so werden die Zilien irreparabel geschädigt.

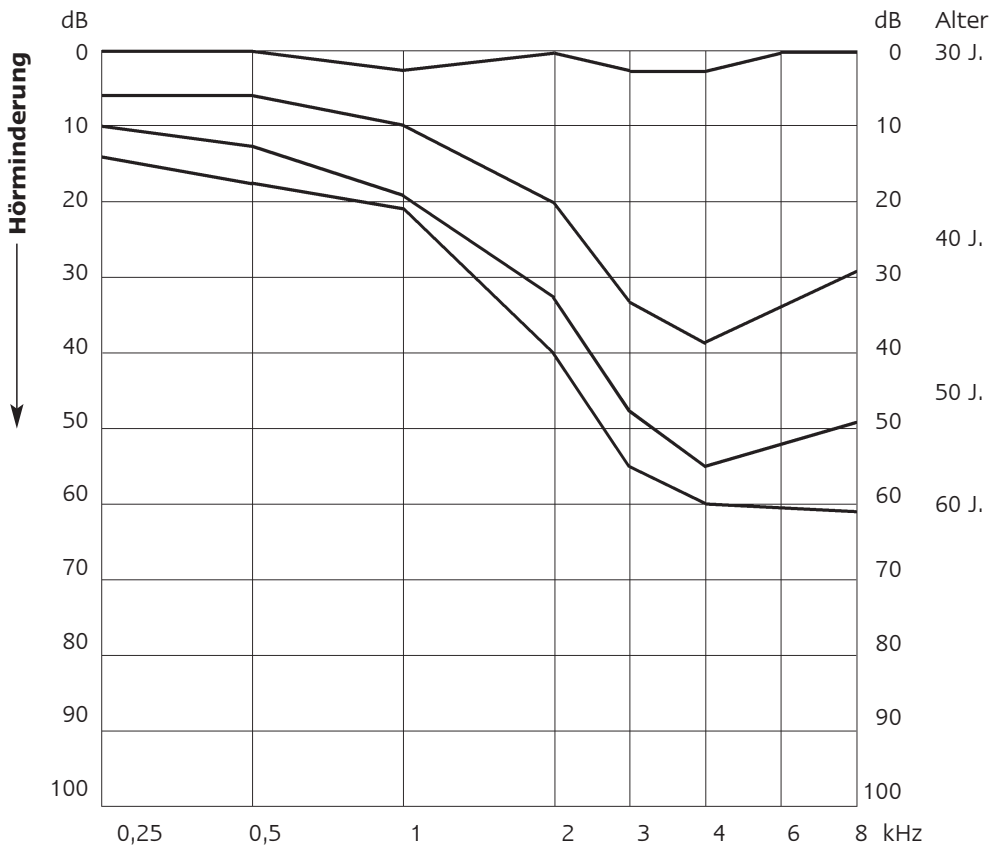



Abb. 9: Audiogramme zur Genese einer Lärmschwerhörigkeit.
Die untersuchte Person arbeitete im Alter von 30 bis 40 Jahren in einem nicht gegen Lärm geschützten Raum nahe einer Flaschenabfüllanlage. In den folgenden 10 Jahren war der Raum schallgedämmt. Danach arbeitete sie an anderer Stelle in der Firma. Auf der Abszisse werden die Frequenzen und auf der Ordinate die Hörminderung aufgetragen. Deutlich erkennbar sind die überdauernden und teilweise erst später auftretenden Schäden früherer Lärmbelastungen.

Bei kurzer extremer Schallüberlastung werden die Zilien mechanisch geschädigt. Da die stärksten Scherkräfte an der äußersten Reihe der äußeren Haarzellen auftreten, sind hier auch die stärksten Schäden zu finden. Abb. 10.2 zeigt einen Ausschnitt von äußeren Haarzellreihen eines Meerschweinchen-Innenohres nach Belastung durch Impulsschall. Einen solchen Schaden kann bereits das Abfeuern einer Zündblättchenpistole direkt am Ohr verursachen. Die Zilien der äußersten Reihe der Haarzellen sind zum Teil abgebrochen. Längere Belastungen mit Schallpegeln zwischen 100 und 120 dB (A) führen zu einer energetischen Erschöpfung der Haarzellen (Abb. 10.3). In diesem Fall sind die Zilien der innersten Reihe der äußeren Haarzellen am stärksten geschädigt. Diese Haarzellen haben bei der aktiven Schwingungsdämpfung zum Schutz der inneren Haarzellen die höchste Belastung und geraten daher am schnellsten in einen Zustand der energetischen Erschöpfung.

Bei breitbandigen Schallereignissen, also bei Geräuschen, die viele Frequenzen beinhalten, werden im Vergleich zu schmalbandigen Schallereignissen deutlich mehr Zilien gereizt. Bei gleichem Schalldruck bedeutet dies bei schmalbandigen Geräuschen, dass wenige Zilien mit dem gleichen Druck erregt werden wie sonst viele Zilien bei breitbandigen Geräuschen. Somit ist der schmalbandige Lärm besonders gefährlich. Bei derartigen Geräuschen, die meist im gewerblichen Bereich auftreten, bedarf es deshalb besonderer Schutzmaßnahmen.

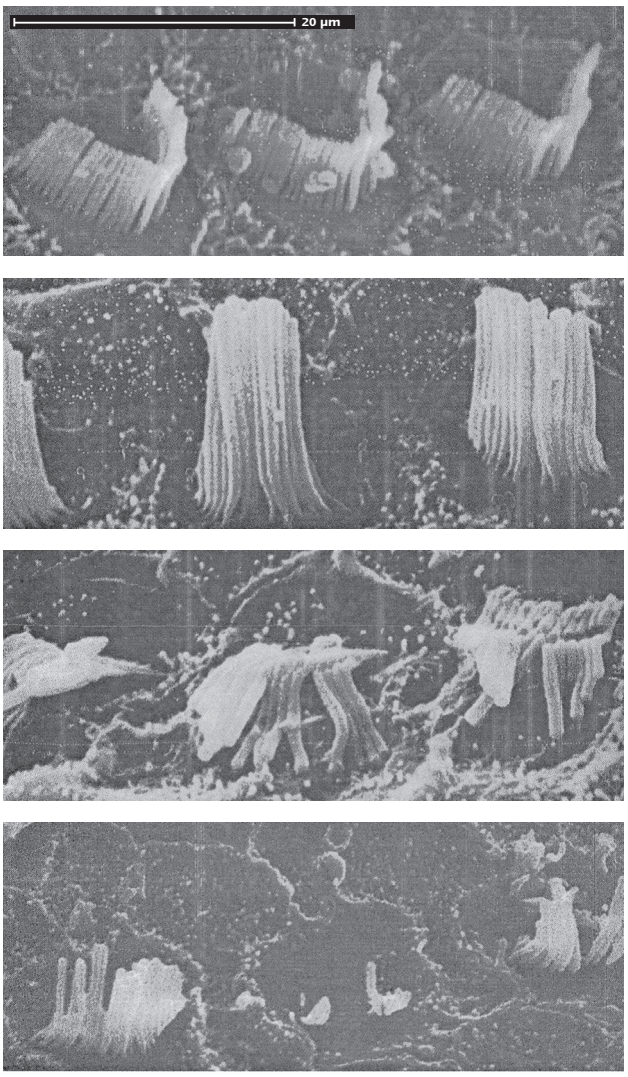



Abb. 10.1 – 10.4: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von intakten (oben), aufgrund von energetischer Erschöpfung metabolisch geschädigten, verklebten (2. Bild) und Steifeverlust zeigenden (3. Bild) sowie mechanisch geschädigten, abgebrochenen Zilien (unten).

Diese Schäden wirken sich erst dann in Form einer messbaren Hörschwellenverschiebung aus, wenn bereits eine erhebliche Anzahl von Zilien funktionsunfähig geworden ist. Jede Zilienschädigung macht aber das Innenohr bei späterer Schallüberlastung leichter verletzlich, d.h., bei fortgesetzter hoher Schallbelastung entsteht im Fall einer Vorschädigung in verkürzter Zeitdauer eine Innenohrschwerhörigkeit. Außerdem wächst das Risiko für chronische Ohrgeräusche (Tinnitus), an denen bereits bis zu 10 Millionen Menschen in Deutschland leiden.

Der Entstehungsmechanismus ist ähnlich dem der Phantomschmerzen nach Amputation eines Gliedes; der Verlust von taktilen bzw. auditiven Rezeptoren führt im Gehirn zu phantomartigen Sinneseindrücken in Form von Schmerzen bzw. Schallwahrnehmungen. Die Störgeräusche können weit mehr als Sausen sein. Pfeifen, Dröhnen, hubschrauberartiges Knattern, Brummen wie ein Schiffsmotor etc. werden gehört. Ihre Entstehung ist wohl multifaktoriell und von Persönlichkeitseigenschaften bestimmt. Die Krankheit tritt besonders häufig in Deutschland auf. Diese quälenden Ohrengeräusche (CD, Audio-Datei Nr. 13, S. 67) belasten die Betroffenen häufig noch stärker als die Schwerhörigkeit. Berufsunfähigkeit, Vereinsamung, Depression und Suizidfälle sind die Folgen dieser Krankheit.

Die Ursachen des Tinnitus und das Krankheitsgeschehen sind sehr vielfältig und in weiten Bereichen noch unbekannt. Nur bei einem Drittel der Erkrankten kann die Ursache festgestellt werden. Bei ihnen ging der Erkrankung meistens großer Lärm voraus. Besonders gefährdet sind „Workaholics“ und Patienten nach einem Hörsturz, der zunehmend häufiger auch bei jungen Menschen auftritt.

Der Erfolg einer Heilung hängt wesentlich davon ab, dass der Tinnitus unverzüglich behandelt wird, weshalb man bereits nach wenigen Stunden Ohrensausen einen HNO-Arzt aufsuchen soll. Die anfängliche Behandlung zielt u.a. auf eine verstärkte Sauerstoffversorgung der Haarzellen. Bei chronisch andauerndem Tinnitus werden Patienten z.B. mit Geräten ausgestattet, die ständig die Geräusche und Tonlagen ihres Tinnitus produzieren.

Bei Schäden durch Schallüberlastung des Innenohres wird die Hörschwelle bei höheren Frequenzen angehoben (Abb. 11). Nach Überschreiten der erhöhten Hörschwelle wird subjektiv ein steilerer Anstieg der Lautstärke wahrgenommen (Rekruitment) (vgl. Abb. 8, S. 33). Außerdem wird die Schmerzschwelle abgesenkt (Hyperakusis), wie die folgende Abbildung zeigt.

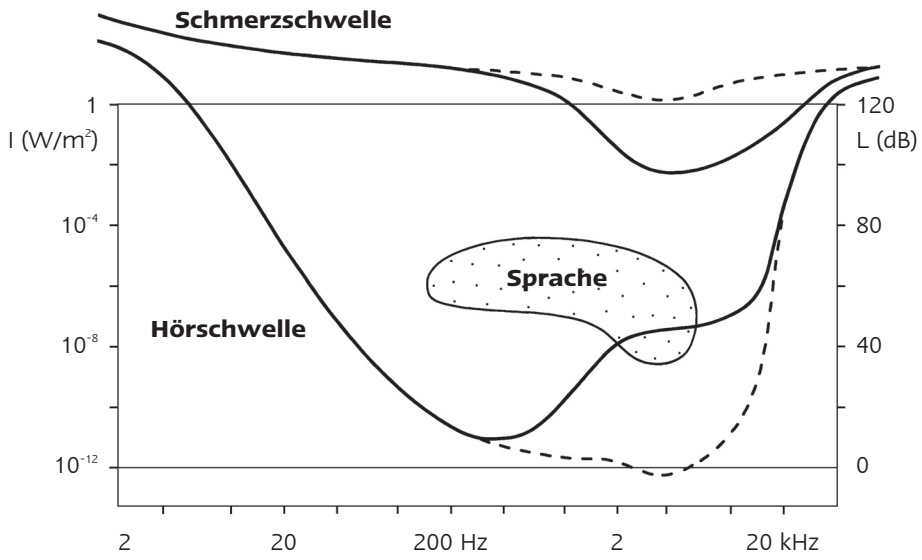



Abb. 11: Lärmbedingte Innenohrschwerhörigkeit führt zu Einschränkungen des Hörbereiches bei hohen Frequenzen – der normale Hörbereich ist gestrichelt (vgl. Abb. 4, S. 24).

Insgesamt wird bei lärmbedingter Innenohrschwerhörigkeit die Dynamik des Innenohres erheblich verringert sowie das Sprachhörvermögen beeinträchtigt. Die stark verringerte Analysenleistung des Innenohres wirkt sich besonders hinderlich bei Kommunikation mit Hintergrundgeräuschen aus.

Aus diesem Grund ist es kontraproduktiv lauter zu reden, wenn in einer Runde einige – oft Ältere – nicht alles verstehen, sondern hilfreich ist es, die oder den anderen anzusehen und artikuliert zu sprechen. Das „Brüllen“, z.B. bei Gesprächen mit Großeltern, ruft bei diesen nur Unwillen hervor, denn zum einen verstehen sie dann immer noch nicht mehr und zum anderen ist die große Lautstärke aufgrund der herabgesetzten Schmerzschwelle äußerst unangenehm und wirkt aggressiv.

Lärmquellen sind neben lauter Musik jeder Musikrichtung häufig Geräusche am Arbeitsplatz. Ferner ist auf Impulsschall hinzuweisen, der oftmals unterschätzt wird, s. S. 23, Feuerwerkskörper und leider viel Spielzeug kommen hier als Geräuschquelle infrage.

Auch im Laufe des Alterungsprozesses nimmt die Leistungsfähigkeit des Innenohres ab. Diese altersbegleitende Hörminderung (Presbyakusis) beginnt im höchsten Frequenzbereich und beeinträchtigt mit der Zeit auch mittlere Frequenzen. Die Gehörschädigung durch Schallüberlastung wirkt sich ganz ähnlich aus und kann deshalb als beschleunigte Alterung des Innenohres bezeichnet werden.

Schwerhörigkeit ist nicht nur unheilbar, sondern kann mit Hörgeräten nur sehr unvollkommen in ihren Wirkungen gemildert werden. Die feine Orientierung und das exakte Sprachverstehen bei Hintergrundgeräuschen ist auch bei den besten Geräten nicht möglich. So können Schwerhörige gerade in fröhlicher Runde dem Gespräch nicht folgen. Das kennt man von alten Menschen, die oft nicht verstehen, worüber gerade gesprochen wird. Das sind nicht Desinteresse, Altersstarrsinn oder Ahnungslosigkeit, sondern ist oft die durch die Schwerhörigkeit eingeschränkte Kommunikationsfähigkeit. Soziale Isolation kann Auswirkung dieser Krankheit sein, wenn man den Menschen nicht entgegenkommt. Hörgeräte sind keine Brillen, im Gegensatz zum Sehvermögen des Brillenträgers, das zu einem sehr großen Teil wiederhergestellt wird, kann der Schwerhörige nie mehr richtig hören.

Nur wenigen ist bewusst, dass z.B. die Berufswahl durch Schwerhörigkeit eingeschränkt ist. Nicht nur Traumberufe, wie Pilot oder Kameramann, sondern Tätigkeiten am Schalter oder Berufe mit hoher Lärmbelastung, wie Automechaniker, Schreiner, Schlosser, Textilarbeiter, kommen nicht infrage. Firmen und Berufsgenossenschaften wollen nicht bereits mit Lärmschäden vorbelastete Menschen einstellen, die dann später lärmschwerhörig eine vorzeitige Rente wegen Berufsunfähigkeit erhalten.

## 2.5 Lärm und Krankheit, extraaural

Wissenschaftliche Untersuchungen über Lärmwirkungen auf die Gesundheit werden bereits seit einigen Jahrzehnten durchgeführt. Früher wurde jedoch nur der Innenohrschaden als lärmbedingter Gesundheitsschaden anerkannt, während Wirkungen auf die Gesundheit außerhalb des Ohres (extraaural) eher kontrovers beurteilt wurden.

### Verkehrslärm

Verkehrslärm stellt insgesamt die größte Quelle aller umweltbedingten Belästigungen dar. Zwei Drittel der Bevölkerung fühlen sich durch Straßenlärm, knapp die Hälfte der Bevölkerung durch Fluglärm und ein Viertel der Bevölkerung durch Schienenlärm erheblich belästigt. Es gibt keinen Hinweis auf eine Gewöhnung an Lärm. Bleibt eine hohe Belästigung über längere Zeit bestehen, ist diese Beanspruchung aus der Sicht des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen als negativer Stress (Disstress) einzustufen.

Zur Gesundheitsbeeinträchtigung durch umweltbedingten Lärm nahm der Sachverständigenrat in seinem Sondergutachten zu Umwelt und Gesundheit wie folgt Stellung: „Lärm wirkt als Stressfaktor und kann als solcher Erkrankungen begünstigen, die durch Stress mit verursacht werden.“

Während des Schlafs können Geräusche, die mit Gefahren assoziiert sind (z.B. Lkw-Geräusche), auch bei niedrigen Pegeln Stressreaktionen – z.B. Cortisolerhöhung – auslösen. Für die schnelle Auslösung von Schutzreaktionen (Kampf-, Flucht- bzw. Niederlagereaktion) ist hierbei der mit den Geräuschen verbundene Informationsgehalt wichtiger als der Schallpegel. Das Gehör ist zusammen mit einem Bereich des Gehirns als wichtigstes Warnsystem auch im Schlaf aktiv. Die Signalerkennung dauert noch nicht einmal 10 ms.

Diese extrem schnelle Signalerkennung erfolgt in einem subkortikalen Bereich – dem Mandelkern (Amygdala) im Limbischen System –, der bei Gefahren für die Bahnung schneller, reflexartiger, endokriner und motorischer Reaktionen verantwortlich ist. Geräusche, die als Gefahrensignale eingestuft werden, werden mit der Freisetzung von Stresshormonen, insbesondere Cortisol, beantwortet. So erfolgt die Störung des Schlafs, z.B. durch Überflug- oder Lkw-Geräusche, nicht nur durch laute Geräusche, die zum Aufwachen führen, sondern auch ohne Aufwachreaktion durch Auslösen von Stressreaktionen. Die Permanenz dieser Reaktion ist ein nicht unwesentlicher Risikofaktor sowohl für Herz-Kreislauf- als auch für Atemwegserkrankungen.

Es werden zunächst die Mechanismen betrachtet, über die solche nicht-auditiven Lärmwirkungen ausgelöst werden, und zwar zunächst direkte Lärmwirkungen, wie sie unter Laborbedingungen beobachtet werden (Abb. 12).

Eine Schallexposition mit Maximalpegeln von mehr als 90 dB (A) stimuliert das sympathische Nervensystem u.a. mit der Folge einer vermehrten Freisetzung von Adrenalin und Noradrenalin aus dem Nebennierenmark. Diese Überaktivierung des sympathischen und des hormonellen Systems ist verbunden mit ungünstigen physiologischen und metabolischen Funktionsänderungen des Organismus, wie Erhöhung des Blutdrucks, der Blutfette und anderer Faktoren in Übereinstimmung mit den allgemeinen Stresswirkungen.

Was geschieht aber, wenn eine entsprechende Untersuchung bei mittleren Lärmpegeln von beispielsweise 60 dB (A) vorgenommen wird? Die Antwort lautet ganz einfach: nichts. Muss aber während der Untersuchung eine Konzentrationsleistung erbracht werden, so sind bereits bei Belastung mit niedrigen Schallpegeln die erwähnten Stressreaktionen bei einem Teil der Probanden zu beobachten, wie folgendes Beispiel zeigt:

Während einer Seminarveranstaltung wurden die Reaktionen von 42 Männern auf Belastungen mit Straßenlärm untersucht. Die Ergebnisse eines Untersuchungstages mit einer in den Seminarraum eingespielten mittleren Straßenverkehrslärmexposition von $L_{Am}$ = 60 dB (L: Pegel, A: A-Frequenzbewertung, m: Mittelwert) wurden mit den Ergebnissen eines Tages ohne diesen zusätzlichen Lärm verglichen.

Die Lärmexposition bewirkte eine Abnahme der Silbenverständlichkeit ohne die Satzverständlichkeit zu verringern, was allerdings eine erhöhte Konzentration erforderte. Dadurch wurden etwa bei der Hälfte der Probanden folgende Stresswirkungen ausgelöst:

- Zunahme der psychischen Anspannung,
- Anstieg des Stresshormons Noradrenalin,
- Änderungen des Blutdrucks – und zwar wurden sowohl Blutdruckanstiege als auch Blutdruckabfälle beobachtet.

Diese Ergebnisse sollen anhand des Lärmwirkungsschemas (Abb. 12) diskutiert werden:

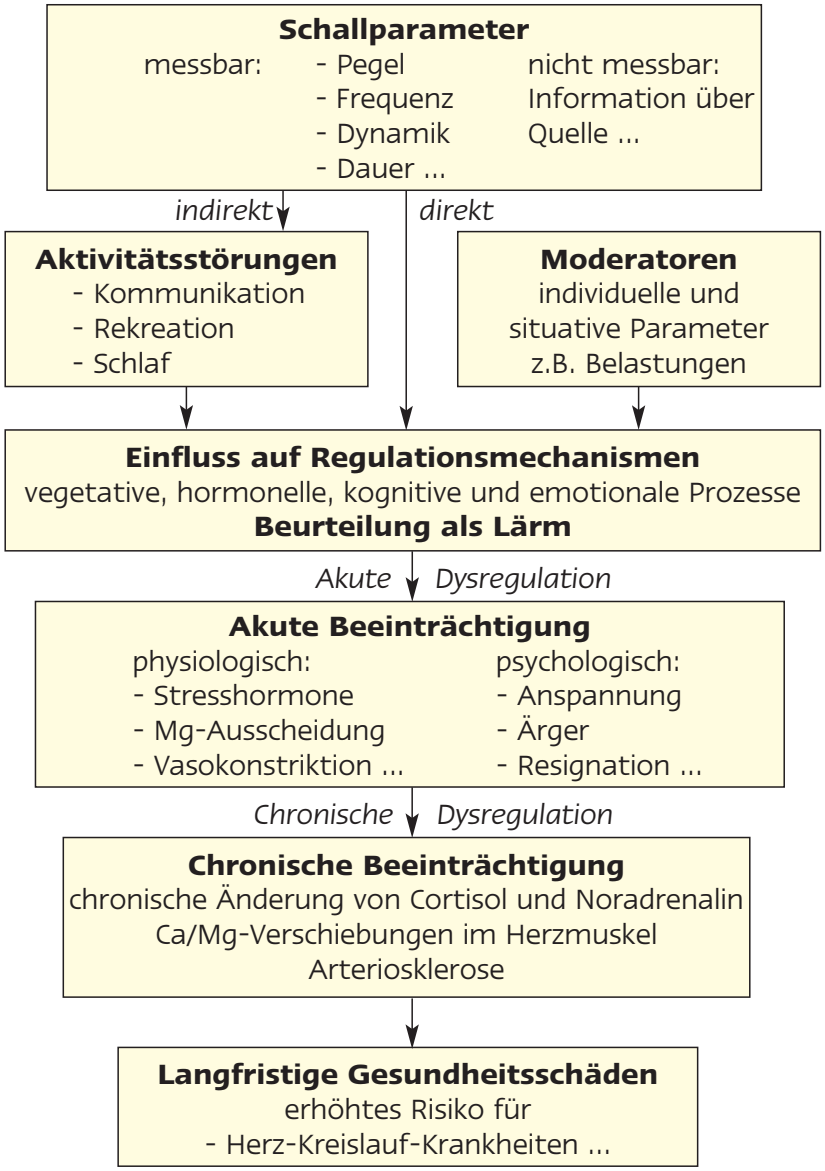



Abb. 12: Lärmwirkungsschema.

Schallpegel > 90 dB (A) führen auf direktem Weg zu verschiedenen Stressreaktionen; bei niedrigen Pegeln kann Lärm auf indirektem Weg ähnliche Reaktionen auslösen. Langfristig wirkender Lärmstress erhöht das Risiko für verschiedene Krankheiten.

Der Verkehrslärm minderte die Silbenverständlichkeit, was von etwa 50 % der untersuchten Personen problemlos bewältigt wurde. Sie nahmen nach einer kurzen Eingewöhnungszeit die Beschallung nicht einmal mehr als störendes Geräusch wahr.

Die andere Hälfte empfand die Beschallung als Lärm, reagierte mit psychischer Anspannung, einige von ihnen sogar mit ausgesprochener Verärgerung. Parallel dazu änderte sich bei einem Teil der Personen der Blutdruck.

In einer Felduntersuchung an lärmbelasteten Patienten wurden die unterschiedlichen Blutdruckänderungen näher untersucht. Patienten mit erblicher Veran-

lagung zu hohem Blutdruck reagierten bei stundenlanger Verkehrslärmbelastung mit Blutdruckanstiegen. Die anderen tendierten besonders dann zu Blutdruckabfällen, wenn ihr Allgemeinzustand schlecht war und/oder sie unter Schmerzen litten.

Solche unterschiedlichen Reaktionstypen wurden auch bei lärmbedingten Änderungen von Stresshormonen beobachtet. Die Teilnehmer eines Feldexperimentes wurden sechs Wochen lang in ihren Schlafzimmern mit nächtlichem Fluglärm – $L_{Am}$ = 65 dB (A) – belastet und die Ausscheidungsmengen der Stresshormone Adrenalin, Noradrenalin und Cortisol gemessen. Nach anfänglichen Reaktionen bei Adrenalin und etwas später bei Cortisol normalisierten sich die Hormonausscheidungen nach wenigen Nächten.

Ab etwa der vierten Belastungswoche zeigten sich dann aber bei einem Teil der Personen deutliche Stressreaktionen, die sich signifikant von der anfänglichen Ausscheidung unterschieden:

- Bei etwa einem Drittel der Gruppe blieb Cortisol konstant,
- bei einem Drittel stieg die Ausscheidung teilweise sogar über den Normalbereich an und
- bei einem Drittel fiel die Cortisolausscheidung deutlich ab.

Beim Vergleich der Reaktionen von wachen und schlafenden Personen auf Lärmbelastungen zeigte sich, dass der Organismus im Schlaf deutlich empfindlicher reagiert und zwar etwa so wie bei 10 – 15 dB (A) höherer Belastung im Wachzustand.

Der Schlaf ist in einen 24-Stunden-Rhythmus eingebettet und läuft selbst zyklisch ab; die Verweildauer in den tiefen Schlafstadien (S3 und S4) nimmt mit der Schlafzeit ab, die Verweildauer im REM-Schlaf mit der Schlafzeit zu. Diese Rhythmen sind bei den Hormonen besonders deutlich.

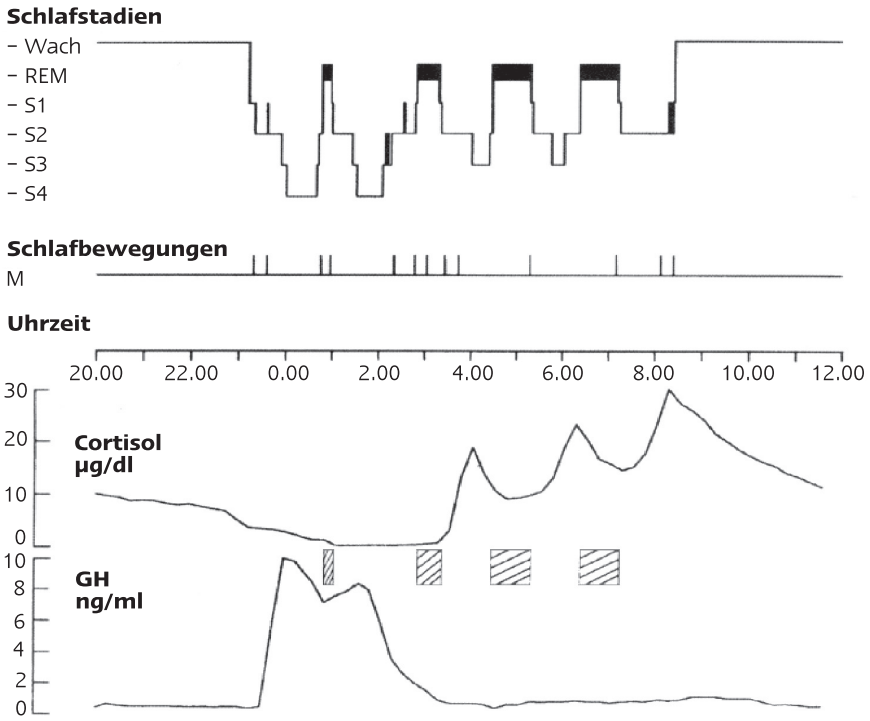



Abb. 13: Typisches Schlafzyklogramm eines jungen, gesunden Schläfers und nächtlicher Verlauf der Konzentration von Cortisol sowie der Wachstumshormone (GH). Die gestrichelten Kästchen und die schwarzen Balken markieren die REM-Schlafzeiten.

Die Cortisolkonzentration erreicht im ungestörten Schlaf in den frühen Nachtstunden ein Minimum und steigt in der zweiten Hälfte der Nacht stark an. Der Cortisoltiefpunkt fällt mit dem Auftreten von Tiefschlaf (S3 und S4) zusammen. Die Tiefschlafphasen während der frühen Nacht sind nicht nur mit einer minimalen Cortisolfreisetzung verbunden, sondern auch mit der höchsten Sekretion von Wachstumshormonen.

Ein typisches Schlafzyklogramm eines jungen, gesunden Schläfers bei Fluglärmbelastung ist in Abb. 14 dargestellt.

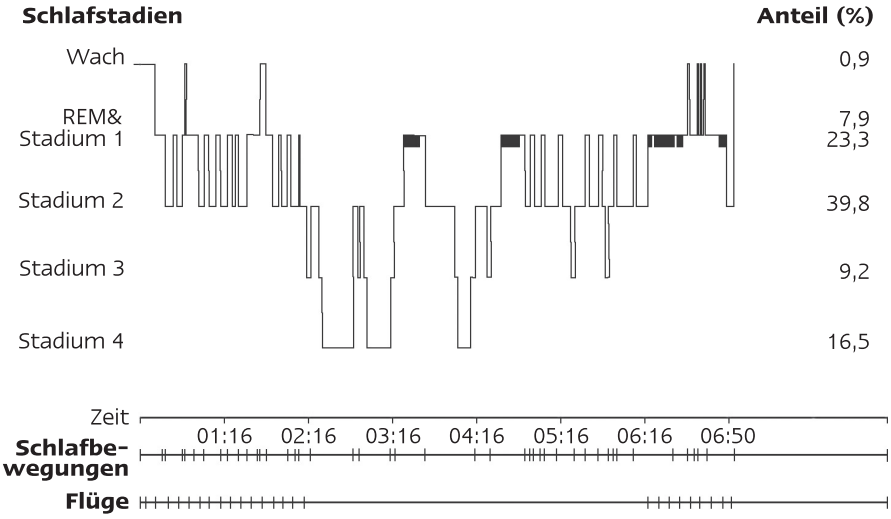



Abb. 14: Typisches Schlafzyklogramm bei nächtlicher Fluglärmbelastung. Die Überfluggeräusche wurden in den beiden ersten und in der letzten Stunde der Nachtruhe des Probanden elektronisch in den Schlafraum eingespielt. Die schwarzen Balken markieren die REM-Schlafzeiten.

Vergleicht man das Schlafzyklogramm des in Ruhe Schlafenden (Abb. 13) mit dem Schlafzyklogramm der durch Fluglärm gestörten Person (Abb. 14), so ist sowohl eine Reduzierung der Tief- und REM-Schlafphasen zu verzeichnen als auch eine Zerstückelung der Schlafzyklen. Die schallbedingte Aktivierung kann bis hin zum Erwachen führen.

Cortisol hat eine entzündungshemmende Wirkung und wird deswegen zur Therapie chronisch entzündlicher Prozesse verwendet. Eine der Nebenwirkungen dieser Therapie ist die Arteriosklerose, die u.a. zum Herzinfarkt führen kann. Eine deutliche Verminderung der Freisetzung von körpereigenem Cortisol erhöht dagegen das Risiko für entzündliche Prozesse, die zur Bildung von Ulcera oder auch chronischer Bronchitis führen können. Bisher sind allerdings vor allem Studien über den Zusammenhang von Verkehrslärmbelastung und Herz-Kreislauferkrankungen durchgeführt worden.

Wie in Abb. 12 vermerkt führt chronische Verkehrslärmbelastung auch zu einer vermehrten Ausscheidung von Magnesium und damit zu einem erhöhten Risiko für latenten oder sogar manifesten Magnesiummangel. Dadurch wird im zellulären Bereich Kalzium (Ca) erhöht und Magnesium (Mg) vermindert, was zu verstärkten Kontraktionen der Gefäßmuskulatur bei Einwirkung von Stresshormonen führt. Hierdurch wird u.a. das Risiko für Hypertonie, Gefäßspasmen und Angina pectoris vergrößert.

Diese biochemischen Mechanismen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Chronischer Lärmstress führt zu beschleunigter Alterung des Herz-Kreislauf-Systems und damit zu einem Anstieg der Risiken für Hypertonie, Herzinfarkt u.a..
- Ca/Mg-Verschiebungen spielen bei der biologischen Alterung eine wesentliche Rolle.

In der bisher größten Studie zum Zusammenhang von chronischer Belastung durch Straßenverkehrslärm und Herzinfarkt wurden die Daten von insgesamt 4.115 Patienten ausgewertet. In der Teilstichprobe von Männern, die 10 Jahre lang nicht umgezogen waren, ergab sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Risiko für Herzinfarkt und der Straßenverkehrslärmbelastung. (Bei der Berechnung wurden folgende Kontrollvariablen im Modell berücksichtigt: Diabetes mellitus, Hypertonie, erbliche Infarktbelastung, Rauchen, Body-Mass-Index, Familienstatus, Schichtarbeit, Schulausbildung, Lärmempfindlichkeit.). Nach dieser Studie beginnt bei Tages-Mittelungspegeln größer 60-65 dB (A) bzw. nächtlichen Mittelungspegeln von 50–55 dB (A) das Risiko trendmäßig anzusteigen. Die lärmbedingte Zunahme des Risikos für Herzinfarkt wird oberhalb 70 dB (A) deutlich (Abb. 15).

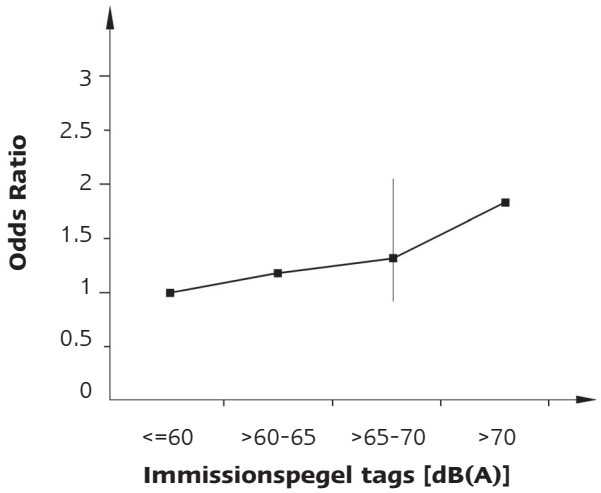



Abb. 15: Relatives Risiko für Herzinfarkt in Abhängigkeit vom Straßenverkehrslärm-Immissionspegel in der Teilstichprobe der Männer mit Wohndauer ≥10 Jahre (ist die Odds Ratio = 2, ist die Chance für einen Herzinfarkt doppelt so groß wie in der Vergleichsgruppe).

Eine Hochrechnung auf der Grundlage der vorliegenden Studien führt zu dem Ergebnis, dass in Deutschland jährlich ca. 27.000 Fälle von ischämischen Herzerkrankungen dem Straßenverkehrslärm zuzurechnen sind.

Einige Studienergebnisse zeigen, dass die nächtliche Lärmbelastung und die damit verbundenen Schlafstörungen einen engeren Zusammenhang mit den Herz-Kreislauf-Wirkungen zeigen als die Lärmbelastung am Tage. So konnte gezeigt werden, dass die Behandlungen von Hypertonie dosisabhängig und signifikant mit der nächtlichen Verkehrslärmbelastung anstiegen (Abb. 16), während kein solcher Zusammenhang mit der Lärmbelastung am Tage vorlag.

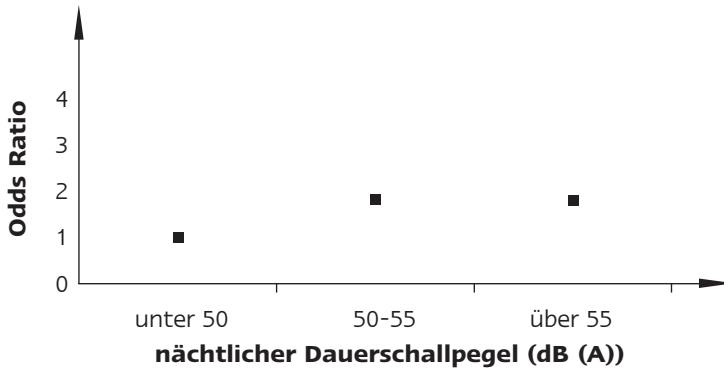



Abb. 16: Relatives Risiko für Hypertonie (Odds Ratios) in Abhängigkeit vom Dauerschallpegel durch Straßenverkehr in der Nacht bei einer Gesamtstichprobe, N = 1.351 (ist die Odds Ratio = 2, ist die Chance für einen Herzinfarkt doppelt so groß wie in der Vergleichsgruppe).

Nach einer Studie der WHO war bei ca. 4.200 erwachsenen Personen, welche angeben durch Verkehrslärm in den letzten 12 Monaten stark belästigt gewesen zu sein, (nach Adjustierung für Alter, Geschlecht, Sozialstatus, Alkohol, Rauchen, Sport, Body-Mass-Index, Stadtgröße, Probleme mit der Wohnumgebung etc.) das relative Risiko für Asthma, Bronchitis und Bluthochdruck signifikant erhöht. Für Bronchitis war das relative Risiko bereits bei mäßiger Belästigung signifikant größer.

In einer Studie an über 800.000 Versicherten in der Umgebung des Flughafens Frankfurt wurde nachgewiesen, dass die Häufigkeit und Menge der verordneten Arzneimittel zur Behandlung von erhöhtem Blutdruck sowie von Herz- und Kreislauferkrankungen mit der Fluglärmbelastung – besonders in der Nacht – deutlich zunahm.

Bei 1.200 Kindern ergab sich ein signifikanter Zusammenhang von Lärmbelästigung und ärztlich diagnostizierter Bronchitis. Bei Kindern mit lärmbedingten Schlafstörungen war der Zusammenhang stärker als bei Lärmbelästigung am Tage ausgeprägt. Nach einer Studie an 400 Kindern hängt die Ausprägung von chronischen Atemwegserkrankungen neben der Belastung durch Luftschadstoffe wesentlich von der Höhe der nächtlichen Verkehrslärmbelastung ab.

Die Ergebnisse der genannten Studien zeigen:

- Stundenlange Verkehrslärmbelastungen führen zu akuten und chronischen Veränderungen von Stresshormonen, sofern sie langfristig wiederholt werden und bei den belasteten Personen die individuelle Toleranzgrenze übersteigen.
- Lärm mit starken Anteilen im Frequenzbereich unter 100 Hz verursacht stärkere Stör- und Stresswirkungen als Lärm mit ausgeglichenem Frequenzspektrum, auch wenn in beiden Fällen die Pegel in dB (A) gleich hoch sind.
- Lärmbedingte Stressreaktionen sind bei schlafenden Personen stärker ausgeprägt als bei wachen Personen.
- Für die gesunde Entwicklung von Kindern ist ein ungestörter Schlaf in den frühen Nachtstunden besonders wichtig. Kinder unterliegen daher nicht nur der üblichen Gefährdung durch nächtlichen Lärm, sondern auch noch der zusätzlichen Gefährdung, die in ihrem Wachstum und der dafür benötigten Ruhe begründet ist.
- Unter langfristig wiederholter Nachtlärmbelastung treten je nach Veranlagung sowohl chronische Erhöhungen als auch Erniedrigungen von Cortisol auf.

Es ist seit langer Zeit bekannt, dass Lärm mit starken Anteilen im Frequenzbereich unter 100 Hz stärkere Stör- und Stresswirkungen verursacht als Lärm mit ausgeglichenem Frequenzspektrum, auch wenn in beiden Fällen die Pegel in dB (A) gleich hoch sind. Aus diesem Grund wurde für tieffrequente Lärmbelastungen die Norm DIN 45680 (1997) „Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft" erarbeitet. Da diese Norm aber für die Beurteilung von kontinuierlichen Industriegeräuschen gedacht ist, eignet sie sich nicht zur Beurteilung des stark fluktuierenden Lkw- oder Fluglärms. In Räume mit geschlossenen Fenstern, insbesondere mit Schallschutzfenstern, dringen die tieffrequenten Geräuschanteile wesentlich stärker ein als höherfrequente Anteile.

**Arbeitslärm**

Neben Beleuchtung und Raumklimabedingungen kann auch Lärm zum Stress beitragen. Hohe Luftverschmutzung, hohe Raumtemperatur und Lärmpegel am Arbeitsplatz zwischen 40 und 75 dB (A) verursachen ein Gefühl der Unbehaglichkeit.

Die folgenden Bedingungen verstärken die mit Lärm verbundenen Risiken für Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems:

- Zeitdruck
- Schichtarbeit
- Nachtarbeit
- starke Konzentration bei der Arbeit
- Monotonie bei der Arbeit
- gefährliche Arbeitsstoffe
- Vibrationen am Arbeitsplatz
- Zwangshaltungen des Körpers
- durch Straßenverkehr gestörter Schlaf

Verschiedene epidemiologische Studien hatten folgende Ergebnisse:
Bei Weberinnen wurde eine Zunahme des Risikos für Bluthochdruck und damit auch für weitere Erkrankungen des Herz-Kreislauf-Systems festgestellt:

| 70 dB (A) | Bezugswert |
|---|---|
| 80 dB (A) | + 36 % |
| 90 dB (A) | + 90 % |
| 100 dB (A) | + 150 % |

Tab. 3: Zunahme des Bluthochdrucks bei Weberinnen unter Lärmbelastung.

In der Textilindustrie wurden bei lärmbelasteten Arbeitern vermehrt Magen-Darm-Störungen und bei Werftarbeitern Magengeschwüre beobachtet.

Auch die krankheitsbedingten Fehltagen nehmen bei Lärm am Arbeitsplatz zu:

| Häufigkeit des Lärms | Zunahme von Krankheitstagen |
|---|---|
| extrem selten | 0 % |
| manchmal | + 13 % |
| häufig | + 25 % |
| sehr häufig | + 34 % |

Tab. 4: Zunahme von Krankheitstagen in Relation zu Lärm am Arbeitsplatz.

Für gesundheitsfördernde Maßnahmen sind Leistungssteigerungen und Verringerungen von Fehlern bei der Arbeit bei Schallpegelsenkungen am Arbeitsplatz interessant:

| Arbeitsbereich | Lärmminderung dB (A) | Leistungssteigerung % |
|---|---|---|
| Bagger | 10 | 12 |
| Maschinenfabrik | 7 | 5 |
| Konfektion | 10 | 13 |
| Büromaschinenmontage | 12 | 13 |
| Fernmeldeamt | 9 | 17 |
| Büro | 10 | 12 |
| Versicherung | 4 | 9 |
| Schreibmaschine | 10 | 24 |

Tab. 5: Lärmminderung und Leistungssteigerung in verschiedenen Arbeitsbereichen.

Ferner kommt es zur Abnahme von Erkrankungen, wie die Zusammenstellung der Ergebnisse mehrerer Veröffentlichungen in Tab. 6 zeigt:

| Arbeitsbereich | Lärmsituation ursprünglich | Lärmsituation gemindert | Abnahme des Gesundheitsrisikos |
|---|---|---|---|
| Maschinenfabrik | 90 - 95 dB (A) | 10 dB (A) | 1 Krankheitstag/Jahr |
| Textilfabrik | 90 - 100 dB (A) | | Häufigkeit von Bluthochdruck geringer um: |
| | | 5 dB (A) | 14 % |
| | | 10 dB (A) | 26 % |
| | | 20 dB (A) | 46 % |
| Büro | Straßenverkehrslärm hörbar | | Anzahl von Krankheitstagen geringer um |
| | manchmal | selten | 12 % |
| | sehr häufig | selten | 25 % |
| unspezifizierte Arbeit | subjektive Lärmstörungen während der Arbeit | | Häufigkeit von Herzinfarkten geringer um |
| | häufig | selten | 50 % |

Tab. 6: Lärmminderung und Abnahme des Gesundheitsrisikos in verschiedenen Arbeitsbereichen.

## 2.6 Musikhörgewohnheiten bei Jugendlichen und ihre Folgen

Musikhörgewohnheiten bei Jugendlichen sind bedeutende Risikofaktoren für das Gehör. Sie werden erst hier referiert, weil es in den Sachinformationen zunächst darauf ankam zu zeigen, in welchem Ausmaß die Gesellschaft, in der die Jugendlichen groß werden, selbst lautstark ist und so die Jugendlichen auch konditioniert.

Veränderungen der Hörgewohnheiten heißt, Lebensstil und Lebensgewohnheiten müssen verändert werden. Aus der Marketing- und der Lebensstil-Forschung ist bekannt, wie vielfältig die Wirkmechanismen sind und wie vielfältig regulierende Strategien sein müssen. Bei der Lärmprävention bieten sich Interventionsfelder an, die nicht additiv oder seriell, sondern gleichzeitig und interaktiv genutzt werden sollten:

- Ein längerfristig wichtiges Interventionsfeld sind Unterricht und Bildung. So ist auch der Beitrag dieser Materialien zu verstehen.

- Grundlage für Lebensstil verändernde Vorhaben müssen staatliche, aber auch private Maßnahmen zur Lärmprävention sein. Zu ihnen gehören z.B. rechtliche Maßnahmen bei der Einschränkung öffentlicher Beschallung, Auflagen für Anbieter von Musikveranstaltungen im Freien oder in geschlossenen Räumen.
- Über die Kooperation mit der Wirtschaft ist dafür Sorge zu tragen, dass keine Geräte, z.B. tragbare CD- und MP3-Player, mit zu hohen Schallpegeln mehr auf den Markt kommen. Die diesbezügliche Normierung wird angestrebt.

Durch entsprechende Bemühungen wird man Wege finden müssen hier weiter voranzukommen. So etwas dauert bekanntlich lange. In diesem Zusammenhang sei an die jeweils Jahrzehnte dauernden Debatten über die Anschnallpflicht im Auto, Nikotinprävention und Bio-Nahrungsmittel erinnert, die jeweils lange währten und schließlich erfolgreich mit entsprechenden Gesetzesänderungen beendet wurden, sowie an die daraufhin in der Bevölkerung beobachtbaren Verhaltensmodifikationen.

Von den Situationen, bei denen Jugendliche Musik hören, sind die höchsten Pegel bei musikalischen Großveranstaltungen festgestellt worden. In der Nähe der Lautsprecher wurden bis zu 135 dB (A) gemessen. Da nahm sich die Love Parade der Techno-Musik in Berlin – trotz der leider dort anzutreffenden jungen Eltern mit Kleinkindern – mit maximal 105 dB (A) (gemessen an der Bordsteinkante) vergleichsweise bescheiden aus.

Aus der Arbeitsmedizin ist bekannt, dass eine jahrelange Schallbelastung mit Mittelungspegeln von mehr als 85 dB (A) (bezogen auf 40 Stunden pro Woche) das Risiko für Lärmschwerhörigkeit erhöht, weshalb Gehörschutz dann anzulegen ist. Im Vergleich zu diesen arbeitsschutzrechtlichen Regelungen, die Gehörschutz bei 85 dB (A) verlangen, wären gesetzlich vorgeschriebene Begrenzungen für die Discotheken bei 90 – 95 dB (A) wünschenswert. Neben der Lautstärke sind natürlich auch Häufigkeit und Dauer des Besuchs von Discotheken für Gefährdung und Schädigung des Gehörs bedeutsam. Bei den jüngeren Besuchern überwiegen die weiblichen, ab 17 Jahre die männlichen Besucher. Die folgende Tabelle zeigt die mit Discothekenbesuchen verbundenen Risiken:

| **Schallpegel in db (A)** | **Risiko für Hörminderung in % bei** | | | | **Außmaß der Hörminderung** |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | |
| | Stunden Aufenthalt pro Woche | | | | |
| 120 | 94 | 95 | 95 | 95 | |
| 110 | 92 | 94 | 95 | 95 | |
| 100 | 60 | 75 | 95 | 96 | 10 dB und mehr |
| 90 | 0 | 0 | 2 | 12 | |
| 120 | 78 | 82 | 84 | 85 | |
| 110 | 37 | 55 | 60 | 65 | 30 dB und mehr |
| 100 | 0 | 0 | 2 | 5 | |

Tab. 7: Risiko für 16-jährige Jugendliche für eine Hörminderung (bei 4 kHz gemessen) nach 5 Jahren bei häufigeren und zu lauten Diskothekenbesuch.

Zum besseren Verständnis der Tab. 7 sei folgendes Beispiel gegeben: Bei einem 10-stündigen Besuch pro Woche in einer Discothek mit Musik von 110 dB (A) haben nach 5 Jahren 92 % der Jugendlichen eine Hörminderung von mindestens 10 dB. Unter ihnen sind 37 % der Jugendlichen, die sogar eine Hörminderung von 30 dB und mehr haben. Für 8 % der Jugendlichen liegen die Hörminderungen unter 10 dB.

Was interessant und Hoffnung spendend ist, ist die Akzeptanz zur Begrenzung der Lautstärken von Musik: Von 370 befragten Discobesuchern waren 46 % die Musiklautstärke zu hoch und nur 6 % zu niedrig. Von 272 befragten Schülerinnen und Schülern waren 48 % die Lautstärke in der Disco zu hoch und 94 % (!) wären mit einer Begrenzung der Lautstärke einverstanden.

In einer Studie wurde der Musikpegel zwischen 85, 95 und 105 dB (A) variiert und die Zustimmung der Besucher erfragt. 85 dB (A) war den meisten Jugendlichen zu leise. Bei 95 dB (A) war ein höherer Anteil zufrieden als bei 105 dB (A). Trotzdem beschwerte sich bei 105 dB (A) niemand, dass es ihm zu laut war.

Im Freizeitbereich stellt das Musikhören nach einer repräsentativen Befragung junger Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland die wichtigste Schallbelastung dar. In Discotheken und bei großen Musikveranstaltungen werden Gehör gefährdende Schallbelastungen erreicht.

Beim Musikhören mit Kopfhörern wird aus verschiedenen Gründen ein höherer Pegel eingestellt als bei Lautsprecherbeschallung. In einem Experiment wurden 421 Personen im Alter von 16 bis 24 Jahren getestet, indem sie bei einem auf 90 dB (A) begrenzten Player ihre Lieblingslautstärke einstellen sollten. Danach wurden sie zum Gerät befragt, ob es laut genug sei. Nur 2,4 % der Frauen und 6,3 % der Männer verneinten dies. Schallpegelmessungen an Kopfhörern beim Musikhören ergaben für 13 – 16-Jährige Mittelwerte von über 90 dB (A) (bezogen auf 40 h/Woche). Die Auswertung von Schallpegeln und Hördauer bei 681 Schülerinnen und Schülern im Alter zwischen 10 und 19 Jahren ergab bei den am stärksten Exponierten 10 % der Gesamtgruppe folgende Expositionspegel (bezogen auf 40 h/Woche):

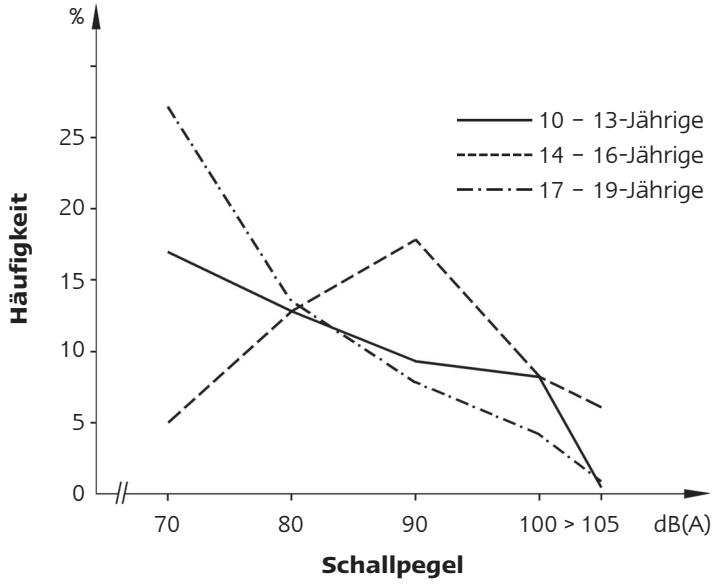



Abb. 17: Eingestellte Schallpegel bei „Walkman“ in unterschiedlichen Altersgruppen.

Im Mittel ist damit zu rechnen, dass ca. ein Viertel der Jugendlichen und jungen Erwachsenen über einen Zeitraum von 5 – 10 Jahren Gehör gefährdenden Musikbelastungen mit Mittelungspegeln von 90 – 95 dB (A) ausgesetzt sind. Daraus folgt nach dem Gehörgefährdungsmodell aus der Arbeitsmedizin, dass bei ca. 10 % der jungen Erwachsenen mit musikbedingten bleibenden Hörverlusten von mindestens 10 dB bei 3 kHz zu rechnen ist. Bei einem solchen Hörverlust ist zwar noch keine Beeinträchtigung der Sprachhörfähigkeit zu bemerken, aber von

den äußeren Haarzellen ist in diesem Frequenzbereich schon ein so hoher Prozentsatz funktionsunfähig, dass die Fähigkeit zur Gegenregulation bei hohen Schallpegeln stark eingeschränkt ist. Dadurch wird bei weiterer intensiver Schallbelastung die Entwicklung einer Lärmschwerhörigkeit beschleunigt und das Tragen von Hörgeräten schon während der Erwerbszeit notwendig. Ein Hörgerät kann allerdings einen Innenohrschaden nur sehr mangelhaft ausgleichen, weil die beeinträchtigte Analysenschärfe des Corti-Organs (S. 30) nicht durch elektronische Verstärkung kompensiert werden kann.

Die oben erwähnte zeitweilige Vertäubung stellt einen wichtigen Schutz gegen schädliche Überlastung der Ohren dar. Bei hoher Schallbelastung erschlaffen die Zilien eines Teils der inneren Haarzellen und werden zeitweilig in ihrer Funktion eingeschränkt. Das ist ein Warnzeichen dafür, dass die Ohren jetzt Zeit zur Erholung brauchen. Allerdings ergaben einige Studien über Musikhörgewohnheiten von Jugendlichen, dass zum Teil der Musikpegel erhöht wird um die zeitweilige Vertäubung zu kompensieren. Jugendliche, die bei längerem Musikhören über Kopfhörer häufig den Pegel erhöhten, hatten eine signifikant schlechtere Hörfähigkeit als die anderen. In einer Discothek wurden nachts Musikpegel von 105 dB (A) auf der Tanzfläche gemessen. Am Tage wurde der Discjockey gebeten, den höchsten Musikpegel einzustellen, der ihm für gute Stimmung notwendig erschien. Er stellte 95 dB (A) ein – allerdings mit unvertäubten Ohren!

Tragbare CD- und MP3-Player erreichen Pegel von bis zu 100 dB (A). Es müssen Regelungen getroffen werden, nach denen derartige tragbare Abspielgeräte ähnliche Grenzwerte bis 90 dB aufweisen, wie die bei den Discotheken erwähnten. Dies ist auch deshalb erforderlich, weil bei Schallpegeln ab 90 dB (A) die zeitweilige Vertäubung zur weiteren Erhöhung der Musikpegel führt.

Musik ist ein sehr schönes Erlebnis, das durch Rundfunk allen Menschen zugänglich und mittels der neuen HiFi-, Dolby-, Sourround-Techniken sowie den neuen Schallträgern CD und DVD in Konzertqualität zu Hause zur Verfügung steht. Wo immer man sich befindet und was immer man tut, man kann Musik hören. Die Schallträger sind zur Massenware geworden, Musik ist nicht mehr Privileg weniger und die Schallträger können von jedermann erworben werden, unabhängig davon, welche Art von Musik gewünscht ist.

Ich kann Musik in großen Mengen mit meinem MP3-Player herumtragen, ich vermag Wartezeiten zu verschönen (und nicht zu lesen), ich kann die Störungen und vor allem den Lärm rund um mich herum übertönen. Ich kann mir eine schöne Stimmung machen oder mich trösten, ich kann in mich gekehrt sein oder im Tagtraum tanzen. Musik und Innerlichkeit kann ich jederzeit haben. Ich bin hinter meiner eigenen, ganz privaten Schallmauer.

Ich habe aber dann auch weniger Äußerlichkeit und bekomme von meinen Mitmenschen weniger mit, vielleicht wollte ich das auch. Manche teilen sich die Ohrstöpsel und hören zu zweit von den anderen Menschen abgeschirmt. In den Unterrichtspausen hören manche Musik, vielleicht eine Erholung oder gedankliche Flucht aus der Schule. Manche Schulen haben darauf – nicht sehr sinnvoll – reagiert und beschallen Schulhof und Klassenräume während der Pausen mit Musik eines Schulradios. Auch lieb gewonnene Musik und bevorzugte Orte verhindern nicht die Einschränkung der Kommunikation durch zu laute Musik. Deshalb werden in Discotheken ruhigere Bereiche regelrecht eingeplant, zur Förderung der Kommunikation und des damit verbundenen größeren Getränkeumsatzes.

Ich vermag nicht mehr die Natur um mich herum zu hören. Mit dem Ohrstöpsel im Freien wird der Frühling stumm, ich höre die Vögel nicht mehr, kein Rauschen der Blätter und nicht mehr den Wind. Mit der musikalisch begleiteten Reise in die Innerlichkeit bringe ich mich – im Übermaß getan – um akustisch vermittelte Erkenntnisse, Erlebnisse und Begegnungen mit meiner Um- und Mitwelt. Diese Umwelt auszublenden ist eine Geschmackssache, eine Frage des Lebensstils. Eine Überlebensfrage wird es, wenn ich mich mit Ohrstöpseln im Straßenverkehr bewege, insbesondere mit Fahrrad oder als Skater.

Kinder spiegeln ihre Lebenserfahrung – uns – die Erwachsenen. Die vorliegenden Materialien sind auch eine Frage an „uns", wie „wir" mit Musik und Lärm umgehen, wie „wir" Hintergrundgeräusche hinnehmen oder gar selber verursachen.

In frühem Kindesalter fängt die Gewöhnung an ununterbrochenen Genuss von Hintergrundmusik und -geräusche an. Können Kinder auch ohne laufende Märchenkassette einschlafen? Beim Spielen muss weder eine Kassette noch ein Fernseher im Hintergrund laufen. Ruhe zu genießen, sich nicht immer berieseln lassen zu wollen, will gelernt sein. Ein Lernen, das früh beginnt, wo jetzt noch die Grundlage dafür gelegt werden kann, dass sich die Schülerinnen und Schüler später nicht durch unverhältnismäßigen Musikgenuss mit Rekordern, CD- und MP3-Playern und HiFi-Anlagen sowie in Discotheken selbst beschädigen.

Die Eltern sollten darauf achten, dass bei Unterhaltungen nicht der Fernseher oder das Radio ständig im Hintergrund läuft. Denn dann müssen sie lauter reden, woraufhin der Fernseher oft lauter gedreht wird und man dann noch lauter reden muss, eine nicht enden wollende Spirale. Das gilt auch, wenn mehrere Personen im Raum sind, einige sich unterhalten und andere fernsehen oder Radio hören wollen. All das zu berücksichtigen ist nicht selbstverständlich, in vielen Familien geht man darüber hinweg, weil man es nicht anders gewohnt ist und nicht besser weiß. In einigen, häufiger in ausländischen, Familien gehört es „zum guten Ton", die Geräte, in deren Besitz man ist, laufen zu lassen und diese dem Gast nicht vorzuenthalten – gut gemeint, doch nicht gut für die Ohren und die Psyche.

Wer begriffen hat, dass Schallüberlastung zu beschleunigter Alterung der Innenohren führt, wird auch den Mut aufbringen sich über zu laute Musik zu beschweren. Eine Beschwerde über Tabakrauch war vor einer Generation undenkbar, nicht aber heute. Wenn eine entsprechende Wende bei der Toleranz gegenüber Gehör gefährdender Musik erreicht ist, brauchen wir uns um die Hörfähigkeit junger Leute erheblich weniger Sorgen mehr zu machen als heute.

## 2.7 Lärmschutzrecht

### Rechtliche Grundlagen

Lärmschutzrecht ist Bestandteil des Umweltrechts. Zum Umweltrecht gehören alle Rechtsvorschriften, die dem Schutz der Umwelt dienen. Das Umweltrecht umfasst das Umweltprivatrecht (Zivilrecht), das öffentliche Umweltrecht (Verwaltungsrecht) und das Umweltstrafrecht. Eine immer größere Rolle spielt auch das gemeinschaftliche Umweltrecht der Europäischen Union. Darunter fallen insbesondere

- das Primärrecht (bestehend aus den EU-Verträgen),
- das Sekundärrecht (das von den Organen der EU erlassene Folgerecht, insbesondere Verordnungen und Richtlinien) und
- umweltpolitische Aktionspläne.

Während das Primärrecht und die erlassenen Verordnungen unmittelbare Wirkung in den Mitgliedstaaten entfalten, sind bei Richtlinien noch Umsetzungsakte in das nationale Recht erforderlich. Werden jedoch die Fristen dafür von den Mitgliedstaaten nicht eingehalten, entfalten auch Richtlinien unter bestimmten Voraussetzungen unmittelbare Wirkung.

Im Lärmschutzrecht ist zwischen Emissionen und Immissionen zu unterscheiden. Beide betreffen Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Erscheinungen.

- Sie werden als Emissionen bezeichnet, wenn sie die Quelle (z.B. einen Fabrikschornstein oder den Auspuff eines Autos) verlassen,
- als Immissionen zu dem Zeitpunkt, in dem sie auf bestimmte Schutzgüter (z.B. den Menschen, die Tiere oder den Boden) einwirken.

Die Unterscheidung ist deshalb wichtig, weil einige Gesetze emissionsbezogen, andere immissionsbezogen sind.

Zivilrechtliche Regelungen betreffen das Verhältnis der Bürger untereinander und können z.B. Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche begründen.

Zum Umweltprivatrecht gehört insbesondere der Beseitigungs- und Unterlassungsanspruch eines Eigentümers oder Besitzers von Grundstücken bei Beeinträchtigungen des Eigentums oder Besitzes durch Einwirkungen von einem Nachbargrundstück, zu denen auch Lärmimmissionen gehören (§§ 1004, 862 BGB). Die Beeinträchtigung anderer Rechtsgüter, wie insbesondere der Gesundheit, begründet zivilrechtliche Beseitigungs- und Unterlassungsansprüche (§ 823 Abs. 1 BGB).

Zum Umweltprivatrecht gehören ferner die Rechte von Mietern auf störungsfreie Nutzung von Mietwohnungen. Mieter können nicht nur gegen den Verursacher von Lärm zivilrechtlich vorgehen, sondern auch gegen den Vermieter als ihren Vertragspartner. Der Vermieter ist verpflichtet, Störungen durch andere Mieter zu unterbinden. Notfalls muss er sogar kündigen. Unzumutbare Lärmbeeinträchtigungen durch andere Mieter oder aus der Umgebung einer Wohnung können u.U. zur Mietminderung berechtigen. Dabei sind jedoch u.a. die Ortsüblichkeit und Zumutbarkeit der Lärmbeeinträchtigung zu berücksichtigen. Schul- und sonstiger Kinderlärm ist daher beispielsweise eher hinzunehmen als Baustellenlärm.

Verwaltungsrechtliche Vorschriften regeln das Verhältnis von Bürgern (und Unternehmen) zur Verwaltung und begründen Rechte und Pflichten zur Aufrechterhaltung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung. Z.B. werden bestimmte Tätigkeiten (etwa das Betreiben industrieller Anlagen oder von Gaststätten) von einer behördlichen Genehmigung abhängig gemacht oder der behördlichen Kontrolle unterstellt.

Zum öffentlichen Lärmschutzrecht gehört vor allem das Immissionsschutzrecht. Das Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bezweckt insbesondere den Menschen vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen (§ 1 BImSchG). Schädliche Umwelteinwirkungen sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen (§ 3 Abs. 1 BImSchG). Zu den Immissionen gehören namentlich Umwelteinwirkungen durch Geräusche (§ 3 Abs. 2 BImSchG). Das BImSchG begründet Genehmigungs-

erfordernisse und Rechtspflichten für die Betreiber von gewerblichen Anlagen. Das BImSchG und die Lärmschutzregelungen der Länder enthalten Regelungen, die die Verletzungen von Vorschriften als Ordnungswidrigkeiten einstufen, die mit Geldbußen geahndet werden können.

Das Strafrecht (und das Recht der Ordnungswidrigkeiten) begründet gesetzliche Verbote, deren Verletzung bei Straftaten Geld- oder Freiheitsstrafen und bei Ordnungswidrigkeiten die Verhängung von Bußgeldern zur Folge haben kann.

**Handlungsmöglichkeiten der Betroffenen**

Bei der Beeinträchtigung durch Lärm haben die Betroffenen verschiedene Handlungsmöglichkeiten, je nachdem, ob Vorschriften des Umweltprivatrechts, des öffentlichen Umweltrechts oder des Umweltstrafrechts verletzt sind:

a) Zivilrechtliche Beseitigungs-, Unterlassungs- und Schadensersatzansprüche wegen Lärmbeeinträchtigungen sind vor den Zivilgerichten geltend zu machen. Bei besonders einschneidenden Beeinträchtigungen und Eilbedürftigkeit kann der Erlass einer einstweiligen Verfügung beantragt werden.

b) Bei der Verletzung verwaltungsrechtlicher Vorschriften können sich die Betroffenen an die zuständigen Immissionsschutzbehörden (Umweltämter) oder bei Eilbedürftigkeit (z.B. bei nächtlichem Lärm) auch an die Polizei wenden. Bleibt die Behörde untätig, kann sie beim Verwaltungsgericht mit dem Ziel verklagt werden, zu einem Einschreiten gegen den Verursacher der Lärmbeeinträchtigungen verurteilt zu werden. Bei Eilbedürftigkeit kann beim Verwaltungsgericht eine einstweilige Anordnung gegen die Behörde beantragt werden. Erteilt die zuständige Behörde eine Genehmigung (z.B. für eine gewerbliche Anlage oder eine Gaststätte oder für Musikveranstaltungen) ohne dem Lärmschutz ausreichend Rechnung zu tragen, können die betroffenen Anwohner gegen die Genehmigung Widerspruch einlegen und gegen die Zurückweisung eines Widerspruchs beim Verwaltungsgericht Klage erheben.

c) Begründen Lärmbeeinträchtigungen den Verdacht von Ordnungswidrigkeiten oder Straftaten, ist eine Anzeige bei der zuständigen Behörde (bei Ordnungswidrigkeiten) bzw. bei der Polizei oder Staatsanwaltschaft (bei Straftaten) möglich.

d) Zum Erlangen von Informationen über Geräuschemissionen hat nach dem Umweltinformationsgesetz (UIG) nunmehr jedermann einen Anspruch auf freien Zugang zu den bei den Behörden vorhandenen Informationen.

e) Bei der Planung von bedeutenden Infrastrukturprojekten wie Flughäfen und Autobahnen muss vor deren Genehmigung ein formalisiertes Planfeststellungsverfahren durchgeführt werden. Dabei werden die Projektpläne öffentlich bekannt gemacht und jeder, dessen Belange durch das Vorhaben berührt werden (z.B. durch zu erwartende Lärmbeeinträchtigungen), kann Einwendungen dagegen vorbringen. Diese werden in der anschließenden Abwägung berücksichtigt. Die Erhebung von Einwendungen ist jedoch nur innerhalb der sogenannten Einwendungsfrist möglich. Von diesen Möglichkeiten sollten die Betroffenen unbedingt Gebrauch machen, wenn sie Beeinträchtigungen durch das Vorhaben befürchten, da sie ansonsten nicht gegen die Genehmigung klagen können.

Im Folgenden werden einige verbreitete Lärmbeeinträchtigungen und die dazugehörigen Regelungen gesondert erläutert.

**Verkehrslärm**

Rechtliche Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Reduzierung des Verkehrslärms sind einerseits Schallschutzmaßnahmen bei neuen und bestehenden Straßen (dazu unter 1.), andererseits straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zur Verkehrsbeschränkung und -beruhigung (2.) und zum Dritten Vorgaben für das Emissionsverhalten von Fahrzeugen (3.):

1. Bei der Planung neuer Verkehrswege und bei der Trassenführung ist zu berücksichtigen, dass schädliche Umwelteinwirkungen auf die ausschließlich oder überwiegend dem Wohnen dienenden Gebiete sowie auf sonstige schutzbedürftige Gebiete soweit wie möglich vermieden werden (§ 50 BImSchG). Die Verkehrslärmschutzverordnung (16. BImSchV) sieht für den Bau neuer Straßen und für wesentliche Änderungen bestehender Straßen folgende verbindliche Immissionsgrenzwerte vor:

| **Siedlungsgebiet** | **Grenzwert db (A)** | |
|---|---|---|
| | **tags** | **nachts** |
| Krankenhäuser, Schulen, Kurheime, Altersheime | 57 | 47 |
| reines und allgemeines Wohngebiet, Kleinsiedlergebiet | 59 | 49 |
| Kern-, Dorf- und Mischgebiet | 64 | 54 |
| Gewerbegebiet | 69 | 59 |

Tab. 8: Lärmgrenzwerte nach der Verkehrsschutzverordnung für verschiedene Siedlungsgebiete.

Die Einhaltung dieser Immissionsgrenzwerte ist in erster Linie durch aktive Schallschutzmaßnahmen (z.B. Lärmschutzwälle oder -wände) zu gewährleisten. Sind diese nicht ausreichend oder unverhältnismäßig, kommen daneben passive Schallschutzmaßnahmen (Lärmschutzfenster) in Betracht. Die Verkehrslärmschutzverordnung ist keine rechtliche Grundlage für die Lärmsanierung bei bestehenden Straßen. Hierfür gibt es zur Zeit keine gesetzliche Grundlage. Die Rechtsprechung hat jedoch einen Anspruch auf Lärmsanierung anerkannt, wenn die Immissionswerte 70 dB (A) am Tag und 60 dB (A) in der Nacht überschreiten. Allerdings steht dieser Anspruch unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln zur Sanierung. Hierzu sind vom Verkehrsministerium die Verkehrslärmschutzrichtlinien erlassen worden.

2. Durch straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen, wie z.B. Geschwindigkeitsbeschränkungen oder die Einrichtung verkehrsberuhigter Bereiche, kann der Verkehrslärm insbesondere in Wohngebieten vermindert werden. Geschwindigkeitsbeschränkungen im Straßenverkehr von 50 km/h auf 30 km/h können eine Lärmminderung von 2,5 dB (A) bewirken. Mit Geschwindigkeitsbeschränkungen und Nachtfahrverboten wurden auf kommunaler Ebene 5 dB (A) Lärmentlastung erreicht. Für den Gesundheitsschutz sind solche Maßnahmen entscheidend wichtig, da lärmbedingte Schlafstörungen von Häufigkeit und Höhe der Maximalpegel abhängen.

3. Lkws sind im Mittel 10 dB lauter als Pkws. Wenn sie mehr als 5 % des Verkehrsaufkommens ausmachen, bestimmen sie die Größe des Gesamtpegels des Straßenlärms. Anfang der 80er-Jahre wurde daher die Entwicklung lärmarmer Lkws gefördert und Grenzwerte in die Anlage zur StVZO aufgenommen.

Die häufigste Quelle für Lärmbelästigungen ist der Straßenverkehr. An zweiter Stelle der Lärmbelästigungen steht der Fluglärm. Er weist Schallpegel von über 75 bis 120 dB (A) auf. Bei Flughäfen sind Lärmschutzbereiche festzulegen, in denen Schallschutzmaßnahmen durchzuführen sind.

Einen besonderen Schutz der Nachtruhe fordert das Bundesverwaltungsgericht in seiner Pressemitteilung vom 16. März 2006 zum Rechtsstreit um den Bau des Airport Berlin Brandenburg International mit folgenden Worten: „So hat das Gericht die Planfeststellungsbehörde insbesondere verpflichtet, ein weitgehendes Nachtflugverbot in der nächtlichen Kernzeit von 0 Uhr bis 5 Uhr anzuordnen ... Auch in der Zeit von 22 Uhr bis 24 Uhr und von 5 bis 6 Uhr ist nur der Flugbetrieb unbedenklich, der sich aus nachvollziehbaren Gründen nicht innerhalb des Tagzeitraumes abwickeln lässt."

**Lärm am Arbeitsplatz**

Lärmschutz am Arbeitsplatz hat große Bedeutung für die Prävention lärmbedingter Erkrankungen, besonders des Innenohres und des Herz-Kreislauf-Systems. Nach der 2004 geänderten Arbeitsstättenverordnung wird der Unternehmer verpflichtet den Schallpegel in Arbeitsräumen so niedrig zu halten, wie es nach Art des Betriebes möglich ist. Maximal darf der Beurteilungspegel am Arbeitsplatz 85 dB (A) betragen. Soweit dieser Wert nach der betrieblich möglichen Lärmminderung nicht einzuhalten ist, darf er bis zu 5 dB (A) überschritten werden. Nach der (rechtlich unverbindlichen) Richtlinie des Vereins deutscher Ingenieure (VDI) „Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeiten" wird hingegen empfohlen, folgende Beurteilungspegel nicht zu überschreiten.

| Art der Tätigkeit | Max. Schallpegel |
|---|---|
| Überwiegend geistige Tätigkeit | 55 db (A) |
| Einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeit und vergleichbare Arbeit | 70 db (A) |
| Alle sonstigen Tätigkeiten | 85 db (A) |

Tab. 9: VDI-Richtlinie 2058, Blatt 3.

Die Unfallverhütungsvorschrift Lärm sieht bei einer 40-Stunden-Woche 85 dB (A) als zulässiges Maximum an. Ab 85 dB (A) ist Gehörschutz kostenlos den Arbeitnehmern zur Verfügung zu stellen und ab 90 dB (A) ist das Anlegen Pflicht. Die Vorschriften setzen grundsätzlich eine Erholungsphase mit Schallpegeln unter 70 dB (A) außerhalb der Arbeitszeit zu Hause voraus. Aus diesem Grund ist vor lauten Freizeitaktivitäten zu warnen.

Verstößt der Arbeitgeber gegen die Lärmschutzvorschriften, kann der Arbeitnehmer berechtigt sein seine Leistung – ohne Verlust des Lohnanspruchs – so lange zu verweigern, wie die Arbeitsbedingungen nicht den gesetzlichen Anforderungen entsprechen (sog. Zurückbehaltungsrecht).

**Lärm von gewerblichen Anlagen**

Bei der Genehmigung von gewerblichen Anlagen wird je nach Ausmaß ihrer potenziellen Schädlichkeit und der zu erwartenden Belästigungen unterschieden, ob sie lediglich eine Baugenehmigung bzw. eine Gewerbeanzeige benötigen oder ob ein Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG stattfinden muss. Letzteres stellt ein formalisiertes Verfahren ähnlich dem Planfeststellungsverfahren dar. Das bedeutet, dass auch hier jeder, der vom Vorhaben betroffen sein kann, Einwendungen vorbringen und dabei insbesondere auch auf die Erfordernisse des Lärmschutzes hinweisen kann. Auch hier ist nach Ablauf der Einwendungsfrist die Geltendmachung von Einwendungen ausgeschlossen. Betroffene Nachbarn, die nicht rechtzeitig Einwendungen erhoben haben, können gegen die immissionsschutzrechtliche Genehmigung dann nicht mehr mit Erfolg klagen. Die zulässigen Immissionsgrenzwerte sind abhängig von der generellen Schutz-

bedürftigkeit des Gebietes, in der die Anlage betrieben werden soll. Diese sind in der (von der Rechtsprechung ausnahmsweise als verbindlich angesehenen) Verwaltungsvorschrift TA Lärm festgelegt:

Es gelten folgende Grenzwerte:

| Gebiet/Bereich | Immissionsgrenzwerte dB (A) tags | nachts |
|---|---|---|
| Industriegebiet | 70 | 70 |
| vorwiegendes Gewerbegebiet | 65 | 50 |
| Mischgebiet | 60 | 45 |
| vorwiegendes Wohngebiet | 55 | 40 |
| reines Wohngebiet | 50 | 35 |
| Kurgebiete, Krankenhäuser, Pflegeanstalten | 45 | 35 |
| und für den Innenraumlärm sieht die TA Lärm gebietsunabhängig vor | 35 | 25 |

Tab. 10: Immissionsgrenzwerte nach der TA Lärm für Gebiete unterschiedlicher Nutzung.

Die verschiedenen Grenzwerte sind jedoch umstritten. Kritik erfolgt vor allem von Medizinern, Betroffenen und Interessenverbänden. Der Deutsche Arbeitsring für Lärmbekämpfung (DAL) hat gesundheitsverträglichere Richtwerte vorgeschlagen, die jedoch mangels Autorität nicht verbindlich sind, auf deren Einhaltung die Bürger also keinen Anspruch haben.

| Räume/Tätigkeiten | Richtwerte |
|---|---|
| Umweltgeräusche in Wohnungen – Nacht | 25-30 dB (A) |
| Umweltgeräusche in Wohnungen – Tag | 30-35 dB (A) |

Tab. 11: Lärmrichtwerte der DAL für Räume unterschiedlicher Nutzung.

Aber auch ohne ein förmliches Genehmigungsverfahren besteht für Bürger die Möglichkeit gegen störende Anlagen vorzugehen. Wenn eine Anlage (vermeintlich) zu laut ist, kann man beim zuständigen Umweltamt beantragen, dass es gegen den Lärm vorgeht. Das Amt muss dann prüfen, ob die Anlage die gesetzlichen Vorgaben einhält, und kann, wenn dies nicht der Fall ist, entsprechende Maßnahmen ergreifen (vgl. b), S. 51).

**Sportlärm**

Neben dem Verkehrslärm und dem Lärm von gewerblichen Anlagen spielt im Alltag aber auch der durch menschliches Verhalten verursachte Freizeitlärm eine große Rolle und bietet häufig Anlass zu Streitigkeiten. So werden Lärmbeeinträchtigungen, z.B. durch Sport, vielfach als lästiger empfunden als der allgegenwärtige Verkehrslärm. Bei der Nutzung von Sportanlagen werden Werte von 60 bis 70 dB (A) gemessen und Spitzenwerte von 120 dB (A) erreicht. Tennis, Fußball und Freibäder verursachen den meisten Sportbegleitlärm. Motorboote können Lärm von 60 bis 90 dB (A) verursachen.

Sportlärm weist einige Besonderheiten auf. So tritt er insbesondere gerade zu solchen Zeiten auf, in denen ein Teil der Bevölkerung ein besonderes Ruhebedürfnis hat (z.B. abends oder an Wochenenden), er enthält häufig auffällige Pegeländerungen und tritt teilweise – regelmäßig oder unregelmäßig – nur an wenigen Tagen des Jahres auf. Um diesen Besonderheiten gerecht zu werden, wurde die 18. Verordnung zum BImSchG, die sog. Sportanlagenlärmschutzverordnung, erlassen.

Auch sie legt Immissionsgrenzwerte fest, unterscheidet dabei jedoch nicht nur unterschiedlich schutzwürdige Gebiete (z.B. Wohngebiete, Gewerbegebiete etc.), sondern auch unterschiedlich schutzbedürftige Zeiten (z.B. werktags, feiertags und dort jeweilige besonders schutzbedürftige Ruhe- und Nachtzeiten). Darüber hinaus legt sie fest, wie hoch einzelne kurzzeitige Geräuschspitzen sein dürfen.

Die Verordnung enthält Hinweise auf technische Maßnahmen, die der Betreiber der Sportanlage zu treffen hat um die Grenzwerte einzuhalten. So können etwa die notwendigen Informationen über mehrere dezentrale Lautsprecheranlagen vermittelt, lärmmindernde Ballfangzäune oder Bodenbeläge verwendet und die Zuschauer daran gehindert werden lärmerzeugende Geräte zu betreiben.

Es gibt allerdings auch Sonderregelungen, um Großveranstaltungen und Turnierwettkämpfe zu ermöglichen. Solche wesentlich lärmintensiveren Veranstaltungen haben höhere Grenzwerte, wenn sie selten, d. h. an bis zu 18 Tagen des Jahres, stattfinden.

**Sonstiger Freizeitlärm**

Neben Sportlärm wird sonstiger Freizeitlärm insbesondere durch Gaststätten, Musikveranstaltungen oder private Feiern ausgelöst. Von der Rechtsprechung ist anerkannt, dass der Lärm, den die Gäste einer Gaststätte auf der Straße in unmittelbarer Umgebung einer Gaststätte verursachen (Autotüren zuschlagen, An- und Abfahrten, Gelächter und Unterhaltungen), dem Gaststättenbetrieb zuzurechnen ist und entsprechende Auflagen rechtfertigen kann.

Regelungen zum Schutz vor verhaltensbedingtem Lärm sind in Landesgesetzen und Landesverordnungen enthalten. Danach ist es beispielsweise verboten, während der Nachtzeit von 22 bis 6 Uhr Lärm zu verursachen, durch den andere Personen in ihrer Nachtruhe gestört werden können.

Tonwiedergabegeräte und Musikinstrumente dürfen nicht in einer Lautstärke benutzt werden, die geeignet ist unbeteiligte Personen objektiv unzumutbar zu stören. Danach sind z.B. Fernseher und Stereoanlagen in Zimmerlautstärke zu betreiben.

Es gibt eine Vielzahl von weiteren Einzelregelungen, wie z.B. die Rasenmäher-Lärmverordnung (8. BlmSchV), nach der Rasenmäher an Sonn- und Feiertagen überhaupt nicht und an Werktagen in der Zeit von 19 bis 7 Uhr nicht betrieben werden dürfen. Ausgenommen sind besonders leise Geräte, die auch an Werktagen in der Zeit von 19 bis 22 Uhr betrieben werden können.

Die (vorübergehende) Verursachung von Lärm durch Veranstaltungen oder Ereignisse, die der Landessitte entsprechen (z.B. Karnevalsumzüge), muss aber als „sozial üblich“ hingenommen werden.

**Umgebungslärm**

Während die bisher erlassenen nationalen und EU-Rechtsvorschriften zum Lärm entweder bestimmte Emissionen betrafen (z.B. den Lärm, der von einzelnen Produkten wie etwa Pkws verursacht werden darf) oder auf Immissionen abstellten, die bei bestimmten Tätigkeiten nicht überschritten werden durften (z.B. die Werte der 16. BlmSchV beim Bau neuer Straßen), verfolgt die EU-Umgebungslärmrichtlinie aus dem Jahr 2002 erstmals ein Gesamtkonzept zur Lärmbekämpfung in der EU. Denn unter Umgebungslärm fallen alle unerwünschten oder gesundheitsschädlichen Geräusche im Freien, die durch Aktivitäten von

Menschen verursacht werden, einschließlich des Lärms, der von Verkehrsmitteln, Straßenverkehr, Eisenbahnverkehr, Flugverkehr und Geländen für industrielle Tätigkeit ausgeht. Ziel der Richtlinie ist es, schädliche Auswirkungen oder Belästigungen von Umgebungslärm zu verhindern, ihnen vorzubeugen oder sie zu vermindern. Die Umsetzung in das nationale Recht erfolgte im Juni 2005 durch Änderung des BImSchG.

Da die Regelung von Lärmproblemen nur möglich ist, wenn Klarheit über die jeweilige Lärmsituation besteht, waren bis Juni 2005 Lärmkarten zunächst für bestimmte Gebiete in Ballungsräumen, an Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken und an Großflughäfen zu erstellen, mit denen die Belastung der Bevölkerung durch Umgebungslärm dargestellt wird. Auf dieser Grundlage waren in dem folgenden Jahr unter Beteiligung der Öffentlichkeit Lärmaktionspläne aufzustellen, mit denen die Lärmprobleme und Lärmauswirkungen durch konkrete Maßnahmen geregelt werden sollen.

Die Umgebungslärm-Richtlinie enthält jedoch selbst keine Grenz-, Richt- oder Orientierungswerte. Sie rückt durch die nunmehr vorgeschriebenen Bestandsaufnahmen und Verfahren die Lärmproblematik zwar in das politische Feld, sieht aber keine in einer bestimmten Zeit von den Mitgliedstaaten vorzunehmende Lärmreduzierung vor. Die Bestimmung der Lärmgrenzwerte liegt weiterhin in der Zuständigkeit der Mitgliedstaaten.

Mit der Umsetzung der Umgebungslärm-Richtlinie wird durch die umfangreichen Informations- und Meldepflichten sowie die Bewältigung der riesigen Datenflut ein hoher personeller und technischer Aufwand entstehen. Bereits die bloße Lärmkartierung wird einen erheblichen Arbeitsaufwand mit sich bringen. Diesen Aufwand auch zu nutzen ist Sache der Verantwortlichen vor Ort. Sie müssen dafür sorgen, dass die Umgebungslärm-Richtlinie auch zu einem verbesserten Lärmschutz für die Betroffenen führt.

**Fazit**

Das deutsche Lärmschutzrecht ist geprägt von einer Vielzahl von Regelungswerken, die für verschiedene Lärmquellen unterschiedliche Berechnungsverfahren mit teilweise unterschiedlichen Grenz-, Richt- und Orientierungswerten vorsehen. Obwohl durch die Vielzahl im Laufe der vergangenen Jahre erlassenen Regelungswerke das Lärmschutzniveau insgesamt verbessert worden ist, wäre eine inhaltliche Vereinheitlichung sinnvoll.

Hinzu kommt, dass die Grenzwerte – insbesondere für Verkehrslärm – nach wie vor von Wissenschaftlern, insbesondere Medizinern, als zu hoch angesehen werden. Mit einer Änderung der gesetzlichen Grenzwerte ist jedoch in absehbarer Zeit nicht zu rechnen, nicht nur, weil niedrigere Grenzwerte für die Industrie und Verbraucher erhebliche Zusatzaufwendungen erfordern würden, sondern vermutlich auch, weil z.B. im Bereich des Verkehrslärmschutzes angesichts der erheblichen Verkehrsfrequenzen tatsächlich die Reduzierung der Emissionen nur schwer möglich wäre. Deshalb sollte zum Schutz der Gesundheit wenigstens die Nachtruhe durch entsprechende Nachtfahrverbote – wie z.B. in Kurgebieten üblich – gewährleistet werden.

## 2.8 Lärm in der Schule

Dass die Schule nicht nur ein Ort des Lernens und der Ruhe ist, ist nicht nur bekannt, sondern darum ranken sich viele Geschichten. Jugendliche Aufbruchstimmung und nicht ausgelebte Impulse schaffen Unruhe. Neu ist aber das Ausmaß des Aufbruchs und oft auch der enthaltenden Destruktion, ein Ausmaß, das nicht selten die Grenze des Erträglichen überschreitet. Und so ist das Thema Lärm nicht nur in der Gesellschaft wegen des zunehmenden Verkehrslärms und des übermäßigen Musikgenusses sowie den daraus resultierenden gesundheitlichen Folgen, sondern auch ganz besonders in der Schule im vergangenen Jahrzehnt thematisiert worden, verstärkt durch die überalterten Kollegien.

Weltweit betrachtet ist mit Ausnahme der USA die Akustik in den Schulen ein Stiefkind. Die Eltern werden an ihren Arbeitsplätzen geschützt, nicht jedoch ihre Kinder und deren Lehrkräfte. Für letztere gilt seit 1996 auf der Grundlage der europäischen gesetzlichen Regelungen das Arbeitsschutzgesetz, mit 55 dB (A) für geistige Tätigkeiten und 85 dB (A) für Unterricht in Werkstätten und Turnhallen als Obergrenze.

Als Ort des Lernens wird der Schule häufig geistige Tätigkeit attestiert und auf die Arbeitsstättenverordnung aus dem Jahr 2004 hingewiesen, nach der dann 55 dB Schallpegel nicht überschritten werden dürfen, das ist logisch, jedoch rechtlich nicht bestandskräftig. Der Wert gilt als Durchschnitt für eine 40-Stunden-Woche (Zeitstunden), so dass für die Schule 58 dB zu veranschlagen wären, s. S. 49. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der zweitlauteste Raum in der Schule das Lehrerzimmer während der Pausen ist. Doch auch die 58 dB werden i.d.R. weit überschritten und liegen nicht selten zwischen 60 und 75 dB. So bleiben die Fragen: Warum ist es so schrecklich laut? Was kann man dagegen tun? Und was ist in Zeiten knapper Kassen tatsächlich zu realisieren?

Genauere Untersuchungen zeigen, dass der Unterricht im Klassenraum leiser ist als in Werkstätten für Unterricht in Arbeitslehre und dass es in den Sporthallen am lautesten zugeht. Im Verlauf des Tages werden die Schülerinnen und Schüler lauter, manchmal in der letzten Stunde dann leiser.

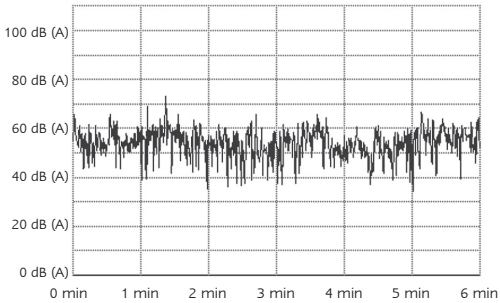
Interessanterweise ist es bei verschiedenen Lehrkräften in derselben Klasse häufig ähnlich laut. Besonders laut ist es in den ersten beiden und den 7. und 8. Klassen. Es wurde gemessen und beobachtet, dass im Verlauf der Unterrichtsstunden der Hintergrundlärm derart laut war, dass mit erhobener Stimme gesprochen werden musste, was wiederum zu einem weiteren Anstieg des Mittelungspegels führte. Laute Unterrichtssituationen können zu erhöhten Pegeln in den Folgestunden führen.

In einem Modellversuch Anfang der 90er-Jahre wurden folgende Werte ermittelt:

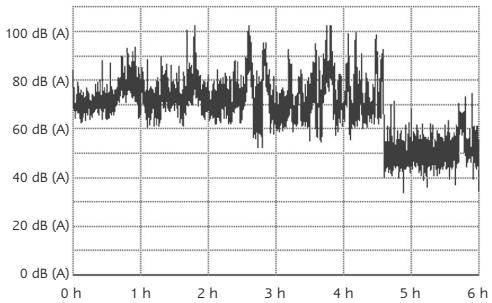
| Schallpegel in dB (A) | Tätigkeit zweier 7. Klassen |
|---|---|
| 45 | Klassenarbeit |
| 40 – 50 | Vorsagen während der Klassenarbeit |
| 60 | Ruhige Klasse |
| 55 – 65 | Schülerantworten |
| 65 – 80 | Normal sprechende Lehrkraft |
| 80 | Hof während der Pause |
| 90 | Klasse vor Eintreffen der Lehrkraft |
| 100 | Lauteste Lehrer |

Tab. 12: In der Kieler Humboldt-Schule gemessene Schallpegel.

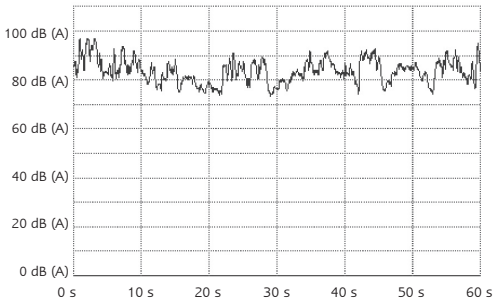
Wird die Lärmbelastung auf eine 40-Stunden-Woche bezogen, ergeben die so ermittelten Beurteilungspegel, dass mit Ausnahme von Stillarbeitsphasen im Unterricht die nach der UVV vorgeschriebenen 55 dB (A) überschritten werden und damit die Gesundheit u.U. gefährdet wird, nicht jedoch das Gehör. Das gilt auch für den Unterricht in Sport und Arbeitslehre, wo in Anlehnung an die UVV 85 dB (A) zulässig sind.



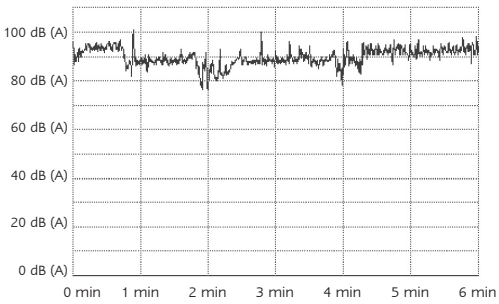

a) In der Schule hört man ständig Geräusche, selbst während einer Rechenarbeit,




b) bei einem ganz normalen Schultag wird es manchmal sehr laut, bis zum Mittag,




c) besonders beim Sportunterricht in der Halle




d) und bei einer Schulfete anlässlich Halloween.

Abb. 18: Pegeldiagramme: Lärm in der Schule – ein Ort zum Lernen?

Generalisierend kann man konstatieren, in Schulen herrscht ein Grundgeräusch von bis zu 40 dB und im Unterricht werden während der Stillarbeit gut 50 dB und beim Klassengespräch durchaus 75 dB und in Einzelfällen 80 dB erreicht, ein Wert der zur Mittagszeit hin zunimmt. Wieso?

Die Lautstärke ergibt sich natürlich aus der Geräuschquelle, aber auch aus den Echoeigenschaften des Raums. In einem Klassenraum durchschnittlicher Größe – 9 m lang und 250 $m^3$ – findet man meist Nachhallzeiten von 0,8 s und mehr. Für Klassenzimmer empfohlen sind jedoch 0,3 – 0,5 s. Der lange Nachhall mindert die Verständlichkeit. Die eingeschränkte Verständlichkeit wird üblicherweise mit Anheben der Stimme kompensiert, der Nachhall wird lauter und im Laufe des Tages nimmt so die allgemeine Lautstärke zu (Lombard-Effekt).

Diese Einschränkungen sind besonders für junge Schülerinnen und Schüler und für den Sprachunterricht von äußerst negativen Auswirkungen. Wie jeder weiß, kann man auch bei großer Lautstärke ein A oder O jemandem zurufen, aber keine Konsonanten. Konsonanten sind es jedoch, die für das inhaltliche Verständnis des Gehörten wichtig sind, ein Vokal kann ruhig mal verschluckt werden. Kinder können sehr gut hören, aber sie können das Gehörte noch nicht so gut verstehen, das müssen sie im Laufe der Jahre erst lernen. Wenn eine Lehrkraft hinten in der Klasse steht und die anderen Schülerinnen und Schüler versteht, heißt das noch lange nicht, dass diese sich untereinander ebenso gut verstehen. Bis zum 13. Lebensjahr benötigen die Jugendlichen eine um ca. 5 dB

größere Differenz als Erwachsene zwischen den Störgeräuschen und der Sprache (Signal-Rausch-Abstand). Als allgemeiner Richtwert der notwendigen Differenz sieht die WHO 10 dB vor, ein Wert der zu verdoppeln ist, wenn es sich um die Bearbeitung schwieriger oder fremdsprachlicher Texte handelt.

Was heißt das für den Sprechenden? Mit 50 bis 60 dB wird über eine Entfernung von 1 m gesprochen, vorgetragen wird mit angehobener Sprache und 65 dB, 70 bis 80 dB gelten als laute Vortragssprache, Werte die zu erreichen sind, wenn in einer relativ ruhigen Klasse schwierige Texte besprochen werden. Was in lauten Klassen geschieht und in Gruppen mit sozialer Devianz bei einem Pegel mit 74 dB um über eine Strecke von 3 m verstanden zu werden, vermag man sich leicht vorzustellen, man muss schreien. Stimm- und Kehlkopferkrankungen, Tinnitus, all das sind sich häufende Krankheitsbilder von Lehrkräften und nur 5 % der Lehrkräfte haben nie unter derartigen Krankheiten gelitten. Die Hälfte der Lehrkräfte klagt darüber, dass sie der Lärm der Schülerinnen und Schüler belastet, und drei Viertel der Lehrkräfte, dass es ihnen zunehmend schwerfällt diesen Lärm zu ertragen.

Die Auswirkungen des Lärms gehen weit über das Nichtverstehen hinaus. Er vermindert die Aufmerksamkeit und verengt dadurch die Breite des Wahrgenommenen. Variabler Lärm kann die gesamte Aufmerksamkeit absorbieren. So werden die Lernstrategien gewechselt und die Schülerinnen und Schüler bevorzugen verstärkt die gewohnten Gedankengänge und Lösungswege. Nicht verwunderlich ist es, dass in diesem Kontext gerade Kinder mit Lernschwierigkeiten besonders gestört werden. Lärm maskiert das Gehörte und stört die Rückkoppelung über das innere Sprechen (phonologischer Speicher), was die Differenzierung der Sprache mindert.

Die erhöhte Konzentration führt zu experimentell nachgewiesenen Konzentrationsstörungen, eingeschränkter Aufnahmefähigkeit des Kurzzeitgedächtnisses, Anstieg der Fehlerquotienten, besonders bei komplexen Aufgaben, vegetativen Reaktionen, wie abnehmende Hautdurchblutung, steigendem Muskeltonus und Stoffwechselreaktionen.

Ein deutlicher Signal-Rausch-Abstand ist von großer Wichtigkeit. Ist der Abstand nicht gegeben, müssen sich die Kinder besonders anstrengen und konzentrieren um Lehrkräfte, Mitschülerinnen und Mitschüler zu verstehen. Besonders anfällig für Lärmstörungen ist das sprachliche Kurzzeitgedächtnis, bedeutsam für das Lernen der Mutter-, Schrift- und Zweitsprache, ein weiteres Handicap für Schülerinnen und Schüler mit nicht deutscher Herkunft.

So sucht man nach schallmindernden Maßnahmen, wobei man zunächst an die Dämpfung denkt. Ein Vorhang reflektiert 94 % des Schalls und ist ähnlich ungeeignet wie ein Teppich. Geeignet sind durchlöcherte Gipskartonplatten und vor allem Mineralfasern (25 €/m$^2$), sie reflektieren ≤ 60 resp. ≤ 50 % des Schalls. Eine Akustikdecke (die durchaus 100 €/m$^2$ kosten kann) und diesbezüglich ausgestattete Rückwand (oder zwei aneinanderliegende Wände, jedoch nicht die Tafelwand) erzielen Nachhallzeiten von < 0,45 s; aber Achtung: Derartige Decken und Wände dürfen bei eigeninitiativen Renovierungen nicht überstrichen werden und sie sollten auch nicht zu sehr mit Bildern und Postern zugehängt werden.

Das Erstaunliche derartiger Lärmsanierungen ist jedoch ein zunächst widersprüchliches psychoakustisches Ergebnis: Eine derartige Halbierung des Schalls entspricht einer Minderung um 3 dB, s. S. 24, gemessen wurden jedoch mehr als doppelt so große Minderungen von bis zu 10 dB:

| **Akustikdecke** | | **ohne** | **mit** |
|---|---|---|---|
| Pegel (db (A)) | Leerer Raum | 44,7 | 40,1 |
| | Ruhige Schülerinnen und Schüler | 55,5 | 46,5 |
| | Sprechende Schülerinnen und Schüler | 77,3 | 70,1 |
| Nachhall (s) | Leerer Raum | 0,7 | 0,4 |
| | Besetzter Raum | 0,6 | 0,4 |

Tab. 13: Schallpegel (dB (A)) und Nachhallzeiten (s) in Klassenräumen, vor und nach einer Lärmsanierung.

Offenkundig ist genau das Umgekehrte des oben beschriebenen Lombard-Effekts geschehen: Mit dem Absenken des Schallpegels wurden die Schülerinnen und Schüler selber etwas ruhiger und senkten damit den Pegel noch einmal. (Diese Fähigkeit zur Selbstregulation – Homöostasie in der Biologie genannt – ist eine grundlegende Fähigkeit von Organismen, deren Mangel oft Ursache von Störungen in der Natur und sogenannter Zivilisationskrankheiten beim Menschen ist und die es zu fördern gilt.)

Zunehmend häufiger werden im Rahmen von Einführungsveranstaltungen für die neuen Schülerinnen und Schüler und im Rahmen von Gesundheitsprojekten Übungen zu einem ruhigeren Umgang miteinander durchgeführt. Dabei rufen die beobachteten Schallpegel immer wieder großes Erstaunen bei den Kindern und Jugendlichen hervor, die sich davon – und leider auch beim Musikgenuss – keine Vorstellungen machen, was sie sich und ihren Ohren zumuten. Die Lautstärken können auf zwei Wegen demonstriert werden:

1. Will man lediglich die Lautstärke über einen längeren Zeitraum im Klassenraum allen zugänglich demonstrieren, empfehlen sich Ampelsysteme.

2. Wenn man jedoch das Gerät auch zu Messungen und zur Speicherung von Messwerten und deren spätere Auswertung über einen Computer nutzen möchte, s. S. 62, empfehlen sich hierfür geeignete Geräte, bei denen dann auch online über einen Monitor oder einen Beamer der Klasse sekundengenau die aktuelle Lautstärke angezeigt wird. Mit diesen Geräten kann auch der Nachhall erfasst werden.

Obgleich die Schalldämpfung von Teppichen gering ist, ist der Geräuschpegel in Klassen mit weichem Bodenbelag oft leiser als in Klassen mit Holzböden, wo jedes Rutschen eines Stuhls bereits den Schallpegel anhebt. Und genau das ist es, nicht der Schall wird absorbiert, sondern es entstehen weniger Geräusche. Mit Gleitern unter Tischen und Stühlen lässt sich leicht und kostengünstig Abhilfe schaffen. Der Teppichboden mindert dann noch den Trittschall, der während des Unterrichts aber von geringerer Bedeutung ist, und hochfrequenten Schall > 2 kHz. Das Grundrauschen ist also gemindert, jedoch nicht der spezifische Schall der redenden Menschen, alles in allem ein nicht überzeugendes Ergebnis und so sind raumakustische Verbesserungen an Decke und Wänden weitaus empfehlenswerter als das Verlegen der schlecht zu reinigenden Teppichböden.

Die bisher referierten Werte gelten für Unterrichtsformen, gemäß denen auch Schulbauten meist geplant werden: Vorne steht der Sender und entlang dem Raum sitzen die Empfänger. Moderne und differenzierte Unterrichtsformen, offener Unterricht, Freiarbeit etc. stellen natürlich andere Ansprüche an die Raumakustik. In ihnen ist es notwendig, dass die Schallpegel nicht derart hochgehen. Dabei sind geringe Nachhallzeiten von großem Vorteil, ein Raum mit einer Nachhallzeit von 0,4 s ist für einen Sprecher schwer, der Raumklang ist trocken, für Gespräche in Kleingruppen aber ausgezeichnet. In derart gut ausgestatteten Räumen ist der Schallpegel während differenzierter Unterrichtsformen bis zu 13 dB (!) niedriger als beim üblichen Frontalunterricht in den vorherrschenden Schultypen.

**Einsatz von „Lärmampeln“**

„Lärmampeln“ sind große Schallpegelmesser meist mit einem ampelähnlichem Design. Sie können sichtbar in der Klasse aufgehängt oder aufgestellt werden. Ihr Einsatz wird im Zusammenhang mit Unterrichtseinheiten empfohlen, die eine Senkung des in der Klasse vorherrschenden Lärmpegels zum Ziel haben. Sie kosten zwischen 85 und 900 €. Es spricht nichts gegen die preiswerten Geräte, s. www.umweltbildung-berlin.de/laerm.

Die Ampeln müssen nicht unbedingt im Zusammenhang mit einem Unterrichtsprojekt verwandt werden. Sie sind hilfreich, wenn Übereinstimmung darin besteht, dass es gelegentlich zu laut ist und man sich stört. Dann zeigt die Ampel an, dass es wieder einmal zu laut wird. Dies ist eine Situation, die immer dann eintritt, wenn mit Wochenplan- oder Freiarbeit die Schülerinnen und Schüler beschäftigt sind und dabei ohne störende Absicht einfach aufgrund ihres Engagements zu laut werden. Klassen mit älteren Schülerinnen und Schülern, die Freiarbeit gewohnt sind, achten manchmal auf den Lärmpegel, aber eben nicht alle Klassen. Von daher gibt es auseinandergehende Beobachtungen, ob nach dem 3. Schuljahr diese Ampeln erfolgreich eingesetzt werden können. Die Ampeln verleiten nämlich auch zum „sportlichen Ehrgeiz“ mit großer Lautstärke sie auf ständige Rotanzeige zu schalten.

Es hat sich gezeigt, dass Lärmampeln dann erfolgreich eingesetzt werden können, wenn in der Klasse vereinbart wird, dass man den Lärmpegel senken möchte, weil dieser nervt. Die Vereinbarung kann auch beinhalten, dass bei längeren Zeiträumen mit grüner Ampel der Klasse Punkte gutgeschrieben werden und bei einer entsprechenden Punktzahl eine Belohnung erfolgt, vom gemeinsamen Eisessen bis zur Klassenfete.

Der Einsatz von Lärmampeln kann dahin gehend erweitert werden, dass nach ihrer Einführung rote, gelbe und grüne Schablonen gebastelt werden. Diese Schablonen werden dann bei den entsprechenden Arbeitsvorhaben hochgehalten und zeigen an, wie laut es werden darf, z.B. bei Stille-Arbeit leiser als bei Partnerarbeit.

Lärmampeln sollten für einen bestimmten, vereinbarten und begrenzten Zeitraum oder während eines Projektes aufgehängt werden, sodass eine Schule mit 1 bis 3 Ampeln gut auskommt. Sie dauernd aufzuhängen ist eher kontraproduktiv.

## 2.9 Schallpegelmessungen

Schallpegelmessinstrumente der Güte Class 2 (was für den Schulgebrauch wirklich ausreicht) gibt es zum Preis von 25 bis zu 900 €.

Die einfacheren Geräte ermöglichen lediglich das Messen des momentanen Schallpegels, preisgünstig sind Geräte mit analoger Anzeige. Die analoge Anzeige ist didaktisch weitaus besser als die digitale, da sie ein Gefühl für den Zahlenraum und die logarithmische Skala vermittelt.

Möchte man ein Gerät haben, das darüber hinaus noch das jeweilige gemessene Maximum und Minimum anzeigt, muss man ca. 150 € zahlen. Derartige Geräte haben digitale Anzeige.

Schließlich gibt es Geräte, die die gemessenen Werte speichern und auf einen Computer übertragen, sie sind 100 € teurer als die vorher genannten. Damit können dann aber statistische Auswertungen vorgenommen und grafische Darstellungen ausgedruckt werden, die den zeitlichen Verlauf des Schallpegels dokumentieren. So erhält man neben Schallpegelverlaufskurven Angaben zum Maximum, Minimum und Mittelwert.

Meist ist das sehr wichtig und aufschlussreich:

- Wenn beispielsweise der Lärm in der Schule gemessen wird, ist der aktuelle Schallpegel zwar sehr interessant, für Fragen der Verständlichkeit ist aber der Nachhall – der in den meisten Schulen viel zu groß ist – ebenso bedeutsam und er ist nur im zeitlichen Verlauf einer derartigen Messung erkenn- und erfassbar.
- Messungen zum Verkehrslärm müssen über die Zeit gemittelt werden. Jede andere Messung ist vom Zufall des gerade vorbeifahrenden Fahrzeuges abhängig.

Sollte in den verschiedenen Sammlungen einer Schule kein derartiges Gerät vorhanden sein, empfiehlt sich eine Rückfrage bei einer benachbarten Schule. In allen Bundesländern gibt es Zentren und Beratungsstellen der Umweltschutzorganisationen und der Verbraucherverbände, bei denen Ausleihmöglichkeiten von Lärmpegelmessgeräten erfragt werden können. Ferner gibt es in einigen Bundesländern spezielle Umweltberatungseinrichtungen für die Schulen.

Auf der Website der Beratungsstelle für Umweltbildung beim Naturschutzzentrum Ökowerk Berlin: www.umweltbildung-berlin.de/laerm sind Hinweise für Geräte und eine ausführliche Anleitung für das Schallpegelmessgerät 322 Datalog (mit der Interfacesoftware TestLink SE-322) steht dort zum Download bereit. Bei der Beratungsstelle kann man auch Geräte mit 0,5 und 1 Zoll großen Mikrofonen (gegen Erstattung der Zustellgebühr) kostenfrei kalibrieren lassen (sollte jährlich erfolgen).

Einen guten Einblick in die Methodik der Schallpegelmessungen und die Wiedergabe von Schallpegelmessungen in typischen Alltagssituationen gibt das Interaktive Bildschirmexperiment „Schallpegelmessung“, S. 81.

# 3.
# CD und DVD

## M1 CD:

Die mit „BG“, „BGS“ und „DAK & BUND“ bezeichneten Aufnahmen stammen von folgenden Tonträgern:

BG: CD „Gehörschutz – Das Gehör schützen“ des „Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften“

BGS: CD „Lärm und Gehörschutz“ des „Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften“

DAK & BUND: Kassette „Rund um die Uhr geöffnet“ zum Thema „Lärm und Ruhe“ der „Deutschen Angestellten Krankenkasse“ und des „Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland“

Die Ziffer hinter der Angabe des Tonträgers bezeichnet das Stück auf dem jeweiligen Tonträger.

Audio-Datei Nr.:

| | |
|---|---|
| 1 | Rosa Rauschen, BGS 16 |
| 2 | Zerreißen einer Zeitung, DAK & BUND 2 |
| 3 | Abhängigkeit des subjektiven Hörempfindens vom Pegel, BG 10 |
| 4 | Wahrnehmbarkeit von Pegelsprüngen, BG 11 |
| 5 | Abhängigkeit des Hörempfindens von der Frequenz, BG 12 |
| 6 | Hörtest, BGS 10 |
| 7 + 8 | Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit, BG 5 |
| 9 + 10 | Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen, BG 6 |
| 11 – 13 | Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden und mit Tinnitus wahrnimmt |
| 14 + 15 | Hörgeräte sind kein Allheilmittel, BG 7 |
| 16 | Trompetenübung; Trompete: Pete Hanna (†) |

| | |
|---|---|
| 17 | Übung mit dem Kornett; Kornett: Pete Hanna (†) |
| 18 | Gesangsübung; Solistin: Ina Brox |
| 19 | Arie der Li`ú aus Turandot; Solisitin: Ina Brox, Klavier: Dr. Gene Strasbaugh |
| 20 | Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) professionell gespielt; Klavier: Markus Wenz |
| 21 | Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) von einer (fortgeschrittenen) Schülerin gespielt; Klavier: Annekatrin Scharfe |
| 22 + 23 | Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand, DAK & BUND 21 und 22 |
| 24 | Lärm am Arbeitsplatz, BG 2 |
| 25 + 26 | Kompressor ohne und mit Schallschutz, BGS 11 |
| 27 + 28 | Freistehende Presse und Presse mit Einhausung, BGS 11 |
| 29 + 30 | Werkhalle ohne und mit Reflexionsschutz an Decken und Wänden, BGS 11 |
| 31 + 32 | Wirkung von Gehörschutz, BGS 12 |
| 33 + 34 | Richtige und falsche Anwendung von Gehörschutz, BGS 13 |
| 35 – 37 | Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz, BGS 14 |
| 38 | Kompressor, BGS 17 |
| 39 | Schmiedehammer mit Stanze, BGS 18 |
| 40 | Plastzerkleinerungsmaschine, BGS 19 |
| 41 | Kantenfräse, BGS 20 |
| 42 | Flaschenabfüllanlage, BGS 21 |
| 43 | Dive; Michael Hackenberger |
| 44 | Yantra; Olaf Rabe |
| 45 | Yantra; Olaf Rabe mit Text |
| 46 | Asana; Olaf Rabe |

# DVD:

**Video**

| | |
|---|---|
| M 2 | Video: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte“ |

**Interaktive Bildschirmexperimente**

| | |
|---|---|
| M 3 | Schallschwingungen |
| M 4 | Amplitude und Frequenz |
| M 5 | Longitudinal- und |
| M 6 | Transversalwellenmodell |
| M 7 | Schallpegelmessung |
| M 8 | Audiometrie |

**Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen**

| | |
|---|---|
| M 9 | SOUNDS |

**Abbildungen und Texte**

## 3.1 Hinweise zur Verwendung der Audio-Dateien auf der CD

Einige der Aufnahmen können bei hoch eingestellter Lautstärke die Lautsprecher gefährden. Die Hinweise zur Einstellung bzw. Kalibrierung der Anlage sind zu beachten.

### Kalibrieren (richtiges Einstellen) der Anlage

Bei den Aufnahmen 1 und 2 sind das unterschiedliche Übertragungsverhalten verschiedener Wiedergabeanlagen und die Position des Messenden zur Schallquelle zu berücksichtigen. Zunächst wird das Wiedergabegerät auf normale Klangwiedergabe eingestellt, ohne dass Bässe oder Höhen besonders hervorgehoben werden.

**1 Rosa Rauschen**

Zum Kalibrieren (richtigen Einstellen) sollte das Rosa Rauschen verwendet werden. Rosa Rauschen ist dadurch gekennzeichnet, dass es bei unterschiedlichen Tonhöhen – in jeder Terz – denselben Pegel aufweist. Damit eignet es sich zum Kalibrieren der elektroakustischen Anlage zur pegelrichtigen Wiedergabe der Aufnahmen. Wenn man das „Rosa Rauschen" am Messplatz auf einen Pegel von 80 dB einstellt, weisen alle Messbeispiele der CD unter diesen Wiedergabebedingungen ihre Originalpegel auf. Erfolgt das Kalibrieren vor dem Unterricht, ist unbedingt zu beachten, dass die jeweilige Einstellung des Lautstärkereglers nicht mehr zu verändern ist oder sonst markiert wird. Das Kalibrieren hat an dem Ort zu erfolgen, an dem die Aufnahmen der CD gehört werden. Hierfür benötigt man ein Schallpegelmessgerät. Oftmals fehlen den Schulen derartige Geräte, dann sollte z.B. in einer benachbarten Schule nachgefragt werden. Wird der Kauf eines Gerätes beabsichtigt, so sei auf die Hinweise auf S. 62 verwiesen.

**2 Zerreißen einer Zeitung**

Eine nicht ganz so exakte, jedoch einfache Alternative ist die folgende: mit ausgestreckten Armen wird wiederholt eine Zeitung zerrissen. Dabei wird das Wiedergabegerät so lange lauter gestellt, bis das beim Zerreißen der Zeitung erzeugte Geräusch gleich laut ist wie das von der Audio-CD wiedergegebene.

**Die folgenden Audio-Dateien 3 bis 5 zeigen den Zusammenhang zwischen dem subjektiven Hörempfinden und akustischen Kenngrößen.**

In der Regel wird die Zunahme von Pegelsprüngen und die Abhängigkeit der Wahrnehmung von der Frequenz deutlich unterschätzt. Zur Verdeutlichung der Effekte können die Schülerinnen und Schüler zunächst einzeln schätzen (notieren), in welchem Ausmaß sie den Wechsel der Lautstärke wahrgenommen haben. Diese Aufnahmen sind deshalb besonders dann von Nutzen, wenn danach auf die Hörschädigung eingegangen wird.

**3 Abhängigkeit des subjektiven Hörempfindens vom Pegel**

Eine Pegeländerung um 10 dB entspricht einer Verzehnfachung resp. einem Zehntel der Schallleistung und wird etwa als Verdoppelung resp. Halbierung der Lautstärke wahrgenommen.

Klangbeispiele: C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 80 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 90 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 80 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 70 dB (A)

### 4 Wahrnehmbarkeit von Pegelsprüngen

Eine Verdoppelung (bzw. Halbierung) der Schallleistung bewirkt einen Pegelunterschied von drei dB. Das ist etwa die Differenz, die das menschliche Ohr gerade so wahrnehmen kann.

Klangbeispiele: C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 89 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 86 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 83 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 80 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 77 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 74 dB (A)
C-Dur-Akkord mit einem Pegel von 71 dB (A)

### 5 Abhängigkeit des Hörempfindens von der Frequenz

Der Mensch kann im Allgemeinen Frequenzen zwischen 16 Hz und 16.000 Hz (16 kHz) wahrnehmen. Der Abstand einer Oktave im Frequenzband bedeutet eine Verdoppelung der Schwingungen pro Zeiteinheit. Bei gleichem Pegel werden die Akkorde verschiedener Frequenzen unterschiedlich laut empfunden.

Klangbeispiele: C2-Akkord 80 dB (A)
C1-Akkord 80 dB (A)
C-Akkord 80 dB (A)
C'-Akkord 80 dB (A)
C''-Akkord 80 dB (A)

**Die Audio-Dateien 6 bis 15 dienen der Demonstration der Leistungen des Gehörs sowie der Auswirkungen bei Schädigungen.**

Die Beispiele 7 bis 15 mögen trivial erscheinen, zumal die Wahrnehmung des Tinnitus simuliert wird; es hat sich jedoch gezeigt, dass gerade diese Aufnahmen immer wieder großes Erstaunen auslösen und einige Zeit später Schülerinnen und Schüler wiederholt darauf zurückkommen und die Beispiele mehrfach hören wollen.

### 6 Hörtest

Dieser Hörtest ist nur zu einer groben Bestimmung des Hörvermögens geeignet. Signalisiert er aber eventuelle Schwierigkeiten die dargebotenen Töne zu hören, sollte vom Arzt oder Hörgeräteakustiker das Gehör geprüft werden.

Die Töne haben die richtige Lautstärke, wenn das Rosa Rauschen am Abhörplatz einen Pegel von 80 dB (A) aufweist (s. Audio-Datei Nr. 1). Man kann auch den Pegel des ersten Tones des Hörtests am Abhörplatz auf 70 dB einstellen.

Während des Tests muss absolute Ruhe im Raum herrschen. Der Test wird für beide Ohren getrennt durchgeführt, währenddessen das andere Ohr mit der Hand gut abgedeckt ist. Prüftöne in 4 verschiedenen Tonhöhen mit jeweils 1 Sekunde Länge werden vorgespielt. Es ist zu notieren, wie oft die Töne – wenn auch unterschiedlich laut – zu hören waren. Bei guten Gehör müssen insgesamt 18 bis 19 Töne festzustellen sein.

Weitere Anweisungen erfolgen auf der CD.

**7 + 8 Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit**
Es wird Musik vorgespielt, wie sie Menschen ohne Hörschaden (7) und wie sie Menschen mit Hörschaden (8) wahrnehmen. Die Wahrnehmung bei Schädigung ist eine Computersimulation. Es wurde dabei das Ausmaß einer Schädigung simuliert, das einer Erwerbsminderung von 20 % entspricht (siehe auch Audio-Datei Nr. 15).

**9 + 10 Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen**
Die Audio-Datei Nr. 9 gibt das Gespräch einer Frau bei Verkehrslärm wieder. Die Audio-Datei Nr. 10 ist die Computersimulation derselben Aussagen, wie sie von einem Gehörgeschädigten wahrgenommen werden.

**11 – 13 Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden und mit Tinnitus wahrnimmt**
Schülerinnen und ein Schüler diskutieren die Frage, ob es koedukativen Sportunterricht geben soll. Zunächst wird die Diskussion so wiedergegeben, wie ein Mensch ohne Hörschaden sie wahrnimmt (11). Die anschließenden Computersimulationen zeigen, wie die Diskussion von einem Menschen wahrgenommen wird, der unter Tinnitus leidet (13), und wie sie von einem Schwerhörigen wahrgenommen wird (12), der bei 4 kHz eine mittlere Hörschädigung hat.

Dabei tritt folgender Effekt auf: Leise Töne werden schlecht wahrgenommen, laute Töne jedoch z.T. hervorragend gehört (Rekruitment-Effekt, s. S. 36). Treffen aber mehrere laute Töne aufeinander, wie es für die Diskussion zeitweilig zutrifft, so verschmelzen diese Töne zu einem „quakenden" Tongemisch und sind nicht mehr als Sprache zu verstehen. Es zeigt sich, wie wenig den sich wechselseitig in das Wort fallenden Diskutantinnen und Diskutanten gefolgt werden kann, wenn man wie eine Schwerhörige oder ein Schwerhöriger nicht die Richtung des Gehörten orten kann.

**14 + 15 Hörgeräte sind kein Allheilmittel**
Dass Hörgeräte nicht wie Brillen den Schaden voll ausgleichen können, zeigt die Computersimulation (15), wie ein Hörgeschädigter (gleiche Hörschädigung wie bei 8) mit Hörgerät die Musik (14) wahrnimmt, es handelt sich um die gleiche Aufnahme wie bei 7.

**Audio-Dateien 16 bis 21 zu Störungen durch musizierende Mitmenschen** (s. Baustein: „Musiklärm und Recht", S. 137)

**16 Trompetenübungen**

**17 Übungen mit dem Kornett**

**18 Gesangsübung**

**19 Arie der Li`ú aus Turandot**

**20 Klaviersonate professionell gespielt**
Diese oder andere E-Musik kann als störende Hintergrundmusik für die Lernexperimente (Baustein: „Lärm stört", S. 183) verwandt werden.

**21 Klaviersonate von einer Schülerin gespielt**

**Audio-Dateien zum Verkehrslärm**

**22 + 23 Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand**
Um die Situation der Anwohner entlang von Hauptverkehrsstraßen zu verbessern, werden Lärmschutzwände gebaut. Deren Wirkung wird allerdings stark überschätzt. Dies zeigen die beiden mit identischen Geräten erfolgten Aufnahmen. Der Lärm wurde jeweils in 30 m Entfernung von der Autobahn aufgenommen, zum einen ohne dazwischenliegendem Hindernis (22) und zum anderen hinter einer Lärmschutzwand (23). Es ist zwar leiser, aber keinesfalls ruhig. Misst man in größerer Entfernung von der Autobahn, nimmt die Wirksamkeit der Lärmschutzwand ab.

**Audio-Dateien 24 bis 42 zum Lärm am Arbeitsplatz**
Zu diesen Audio-Dateien ist das Wiedergabegerät zu kalibrieren (s. Audio-Datei Nr. 1 und Nr. 2)

**24 Lärm am Arbeitsplatz**

| Arbeitsplatz | mittlerer Schallpegel (Lm) | Beurteilungspegel | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 3 h | 5 h | 8 h |
| Schreibmaschine, Hahn, Kuckucksuhr (Geräusche zum Vergleich) | 86-88 dB (A) | – | – | – |
| Stanze zur Metallbearbeitung | 98 dB (A) | 94 dB (A) | 96 dB (A) | 98 dB (A) |
| Pendelsäge | 95 dB (A) | 90 dB (A) | 93 dB (A) | 95 dB (A) |
| Webmaschine | 97 dB (A) | 93 dB (A) | 95 dB (A) | 97 dB (A) |
| Abbauhammer im Straßenbau | 101 dB (A) | 97 dB (A) | 99 dB (A) | 101 dB (A) |
| Richtarbeiten | 108 dB (A) | 104 dB (A) | 106 dB (A) | 108 dB (A) |
| Schreibmaschine, Hahn, Kuckucksuhr (erneut Referenzgeräusche) | 86-88 dB (A) | | | |

Tab. 14: Die Beispiele werden zum Schutz des Gehörs und des Wiedergabegerätes nicht mit vollem Schalldruckpegel wiedergegeben. Der Beurteilungspegel ist der gemittelte Schallpegel über eine achtstündige Arbeitszeit (s. 2.1: „Schall", S. 21).

**Audio-Dateien 25 – 42 zum technischen Schallschutz:**

**25 + 26 Kompressor ohne und mit Schallschutz**

**27 + 28 Freistehende Presse und Presse mit Einhausung**

**29 + 30 Werkhalle ohne und mit Reflexionsschutz an Decken und Wänden**

**31 + 32 Wirkung von Gehörschutz**
Wenn weder beim Verursacher noch auf dem Ausbreitungsweg des Schalls Schalldämmung möglich ist, muss Gehörschutz getragen werden. Der Schallpegel und die Frequenzen des Lärms sind für die Art des Schutzes bestimmend, zugleich müssen Warnsignale verständlich sein: Flaschenabfüllanlage ohne (31) und mit (32) Gehörschützern.

**33 + 34 Richtige und falsche Anwendung von Gehörschutz**
Richtig sowie lose und zu weit eingesetzter Hörschutzstöpsel.

**35 – 37 Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz**

Warnsignal mit Gehörstöpsel (35), Kapselgehörschutz (36) und mit pegelabhängigem Gehörschutz (37), der schwache Signale verstärkt. Bei steigenden Pegeln wird dabei die Verstärkung geringer, so dass lauter Arbeitslärm etwas unterdrückt wird, während leisere, aber wichtigere Geräusche gehört werden können.

**38 Kompressor**

Konstanter Arbeitslärm.

**39 Schmiedehammer mit Stanze**

Arbeitslärm mit Impulslärm.

**40 Plastzerkleinerungsmaschine**

Regellos schwankender Arbeitslärm.

**41 Kantenfräse**

Schwankender Arbeitslärm.

**42 Flaschenabfüllanlage**

Bedeutung der Frequenz beim Arbeitslärm.

**Die Audio-Dateien 43 bis 46 sind für die „Übungen zum Ruhe-Finden" bestimmt:**

Die auf der beigelegten CD aufgenommene Entspannungsmusik oder solche auf anderen, im Handel erhältlichen CDs lassen sich vielfältig im Unterrichtsalltag einsetzen. Als angenehm werden z.B. kurze Stille-Übungen vor und nach Klassenarbeiten oder nach Pausen empfunden um die etwaige Aufregung etwas einzudämmen und um sich zu sammeln.

Kurze Entspannungsphasen können 2 – 5 Minuten dauern. Die Musik ist angenehm leise zu hören, die Schülerinnen und Schüler sitzen entspannt auf ihren Plätzen, lehnen sich zurück oder legen die Arme auf den Tisch und ihren Kopf darauf.

Die Reaktionen der Schülerinnen und Schüler sind jedoch uneinheitlich, es sind auch gelegentlich ausgesprochen aversive und aggressive Reaktionen auf die als synthetisch empfundene Musik erfolgt.

Hintergrundmusik während ruhiger Arbeitsphasen schafft häufig eine angenehme Atmosphäre.

Da die Auswahl der Musik letztendlich eine Frage des Geschmacks und Temperaments ist, kann das Angebot der Audio-CD durch im Handel angebotene „Musik zur Entspannung" ergänzt oder ersetzt werden. Jede Lehrkraft und jede Klasse kann versuchen ihre Lieblingsmusik zu finden und mit unterschiedlicher Musik zu experimentieren.

Die drei auf der Audio-CD mitgelieferten Stücke sind drei Möglichkeiten. Wer eine andere Musik bevorzugt, mag diese nehmen. Sie wird bestimmt nicht den Erfolg der Stille-Übungen negativ beeinflussen.

(Weitere Angaben und Anleitungen unter Baustein 17: „Übungen zum Ruhe-Finden", S. 208).

**43 Meditation Dive**

**44 Meditation Yantra**

**45 Wie 44 mit Anleitung**

Dieses Musikstück ist mit der Anleitung zu einer Traumreise (s. M 40: „Traumreise" – Anleitung für eine Entspannungsübung, S. 217) besprochen.

**46. Meditation Asana**

## Copyright und Dank

Eine Reihe von Aufnahmen wurde seitens des „Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften" und seitens der „Deutschen Angestellten Krankenkasse" in Zusammenarbeit mit dem „Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V." dankenswerterweise zur Verfügung gestellt.

**Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG)**
Alte Heerstraße 111, Postfach 20 52, 53754 Sankt Augustin

- Verantwortlich CD „Gehörschutz – Das Gehör schützen": Dr.-Ing. Hans-Dieter Kuhn, Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, und Rudolf Dertinger, HVBG
- Verantwortlich CD „Lärm und Gehörschutz": Rudolf Dertinger, HVBG, und Dipl.-Phys. Peter Sickert, Süddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft
- Produktion: Dipl.-Ing. Ulf Krüger und Jennifer Löbert, Firma Hamann Consult, Dresden, im Tonstudio New Art, Medingen
- Toningenieur: Omar Samhounl
- Sprecherin: Gloria Nowack
- Gehörschadensimulation: Prof. Manfred Spreng, Universität Erlangen, Institut für Physiologie und Biokybernetik
- Die Klangbilder „Projektil-Webmaschine", „Abbauhammer im Straßenbau" und „Notstromaggregat" sowie der Gehörtest wurden zur Verfügung gestellt von Herrn Dr. Hohmann, Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, Sektion Akustik.
- Daneben gilt unser Dank den nachfolgenden Firmen für die Mitwirkung bei der Aufnahme der Arbeitsgeräusche:
  Brüel und Kjaer GmbH, Zweigstelle Dresden,
  Tischlerei Schultheiß, Dresden,
  Dresdner Tief- und Straßenbau GmbH,
  Stahlbau und Demontagen GbR, Dresden,
  Fa. Alfred Kallich, Dresden,
  Schmiede Friedrich, Dresden,
  Industriesiebe Dresden,
  Rhenus Sero Recycling GmbH, Großräschen,
  Dampfkesselbau Dresden-Übigau,
  Deutsche Bahn AG Dresden,
  Pumpspeicherwerk Hohenwarte,
  Hermetikmotoren Dresden,
  Kroll GmbH, Dresden,
  Keulahütte Krauschwitz,
  Güntzclub Dresden,
  Gartensparte „Sternhäuser", Dresden.

**Deutsche Angestellten Krankenkasse (DAK)**
Öffentlichkeitsarbeit, Postfach 10 14 44, 20009 Hamburg

**Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND)**
Im Rheingarten 7, 53225 Bonn
Konzeption und Text: Prof. Dr. G. Fleischer, Universitätsklinikum Gießen
Schallaufnahmen: Dipl.-Ing. H. Petrasch
Akustische Messtechnik: Dipl.-Ing. R. Müller
Bearbeitung im Studio Kommunikationswissenschaft der TU-Berlin

## 3.2 Video

Das Video M 2: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte" zeigt die im Baustein „Geräuschpegelmessung im Straßenraum", S.104, referierte Verkehrssituation. Es werden die Verkehrssituationen und die Messung des Schallpegels gezeigt, die in diesem Baustein wiedergegeben sind.

Das Video liegt für jeden Messpunkt (MP) in drei Versionen vor: mit Projektoren für Windows als .exe-Datei und für MacintoshOS als .app-Datei sowie als swf-Dateien für einen Flash-Player. Letztere wird mittels des Browsers gestartet. Sollte dabei die Datei nicht gestartet werden, ist auf die Anzeigen des Browsers zu achten. Es kann sein, dass ein ActiveX-Steuerelement zugelassen oder dass ein Plug-In für den Flash-Player bei www.adobe.com/de heruntergeladen werden muss. Eine dieser drei Möglichkeiten geht auf jedem Rechner.

Die Dateien SkinOverPlaySeekMute.swf und .flv enthalten wichtige Informationen für die Videos, sind aber nicht zu starten. Wenn das Video auf die Festplatte kopiert wird, müssen alle Dateien zusammenbleiben und gemeinsam wie auf der DVD in einem Ordner abgelegt werden!

## 3.3 Anleitungen für die Interaktiven Bildschirmexperimente

Die Interaktiven Bildschirmexperimente (M 3 – 8) liegen auf der DVD im Ordner „Interaktive Bildschirmexperimente". Sie sind Simulationen realer physikalischer Experimente und Nachbauten tatsächlicher Experimente. Sie ersetzen keinen experimentellen Unterricht, sondern ergänzen diesen. Teure und empfindliche Geräte werden simuliert, sie können nicht kaputtgehen und die Schüler können mit den Simulationen experimentieren. So können komplizierte oder sehr schnell ablaufende Experimente sowie komplexe und nicht schnell zu verstehende Zusammenhänge dargestellt werden.

Das Interaktive Bildschirmexperiment bietet die Chance durch ständiges Wiederholen und ggf. langsames Betrachten Erkenntnisse zu gewinnen, die sonst schwer zu vermitteln sind. Da – wie gesagt – kein Schaden entstehen kann, sollten die Schülerinnen und Schüler anfangs nur sehr offene Arbeitsaufträge erhalten, auf dass sie losexperimentieren und selber Zusammenhänge entdecken. Später können mit detaillierteren Arbeitsaufträgen die weiteren Beobachtungen eingegrenzt und systematisiert werden, z.B. beim Interaktiven Bildschirmexperiment „Schallschwingungen" nur noch mit der Stimmgabel experimentiert und dabei die Höhe und Breite der Schwingungen auf dem Display beobachtet werden.

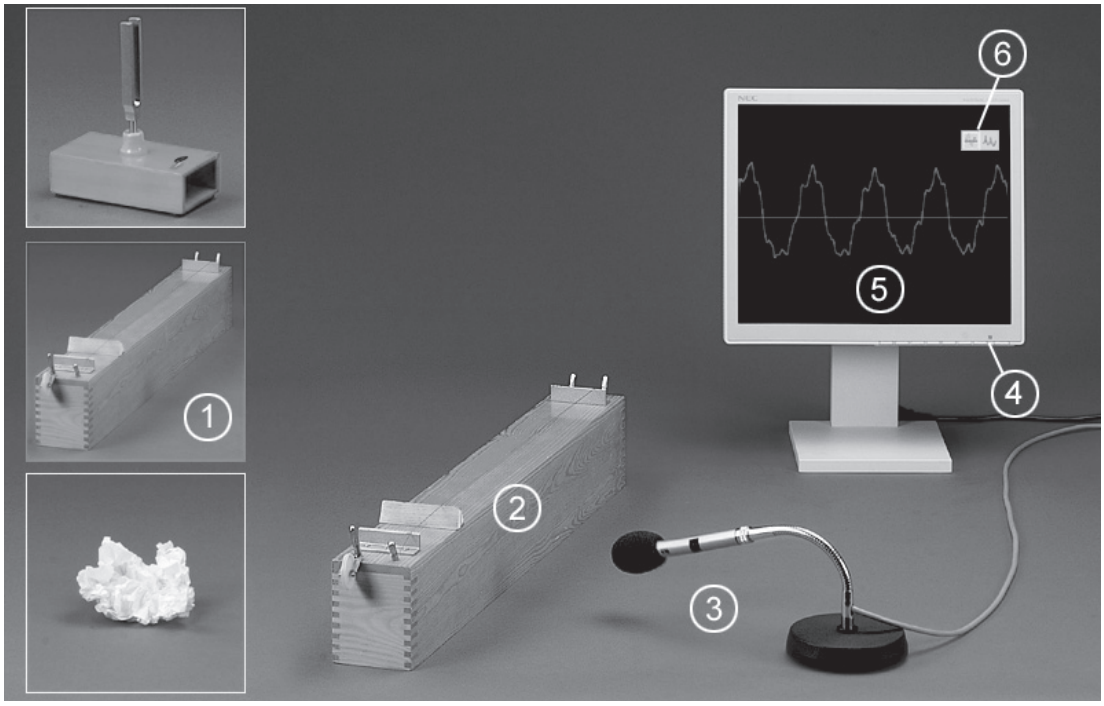
Die Interaktiven Bildschirmexperimente sind deshalb keine eigenen Unterrichtseinheiten, sondern Bestandteile der danach vorgestellten Bausteine zu verschiedenen Themen der Akustik und Lärmprävention. Sie sind leicht zu bedienen und setzen keine besonderen Computerkenntnisse voraus. Sie können in sehr unterschiedlichen Bausteinen eingesetzt werden und z.B. in biologischen Bausteinen eine Hilfe sein schnell die Akustik zu wiederholen, so dass man bald die weiteren biologischen Themen behandeln kann.

Fünf Experimente sind auf dieser DVD: Schallschwingungen, Amplitude und Frequenz, Longitudinal- und Transversalwellenmodell, Schallpegelmessung und Audiometrie.

Die interaktiven Bildschirmexperimente laufen auch auf alten und kleinen PCs sowie in Rechnern in gesicherten Schulnetzen. Sie liegen deshalb jeweils in drei Versionen vor: mit Projektoren für Windows als .exe-Dateien und für Macintosh OS als .app-Dateien sowie als swf-Dateien für einen Flash-Player. Letztere werden mittels des Browsers gestartet. Sollte dabei eine Datei nicht gestartet werden, ist auf die Anzeigen des Browsers zu achten. Es kann sein, dass ein ActiveX-Steuerelement zugelassen oder dass ein Plug-In für den Flash-Player bei www.adobe.com/de heruntergeladen werden muss. Eine dieser drei Möglichkeiten geht auf jedem Rechner.

# Schallschwingungen

Worin unterscheiden sich die Schwingungen verschiedener Schallquellen?

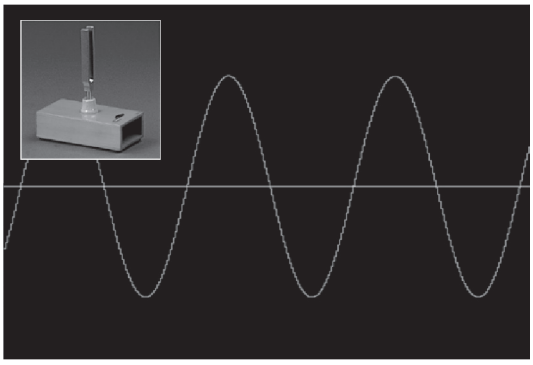



**Beschreibung**
Bei diesem Experiment werden die Schallamplituden dreier Schallquellen (Stimmgabel, Monochord, Zusammenknüllen von Papier) über der Zeit oder Frequenz dargestellt (Ton, Klang, Geräusch).

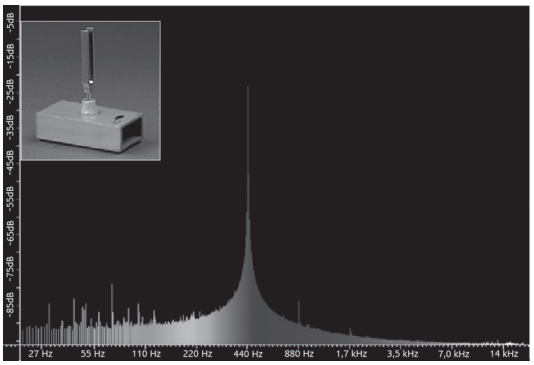
Der von der Schallquelle (2) abgestrahlte Schall wird vom Mikrofon (3) in eine Wechselspannung umgewandelt. Diese Spannung wird über die Soundkarte des Computers (im Aufbau nicht sichtbar) digitalisiert, aufgezeichnet und analysiert. Auf dem Bildschirm (5) lässt sich der zeitliche Verlauf der Schallschwingung als auch die in ihr enthaltenen Frequenzen darstellen. Die Schallquelle ist ebenfalls über die Soundkarte nach Anklicken hörbar.

**Hintergrund**
Worin unterscheiden sich die Schwingungen verschiedener Schallquellen?

Die Stimmgabel ist eine sehr überschaubare Schallquelle. Sie führt eine Schwingung bei einer festen Frequenz aus. Dieser **Ton** (zur physikalischen Definition s. S. 19) lässt sich mit Mikrofon und Computer sichtbar darstellen. In der folgenden Darstellung ist vertikal der vom Mikrofon aufgenommene Luftwechseldruck in der Schallwelle und horizontal die Zeit aufgetragen:

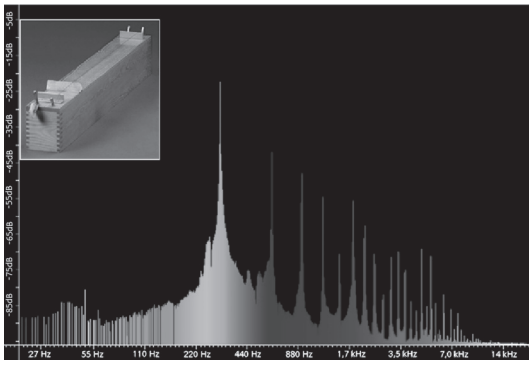


Das Computerprogramm für die Soundanalyse, s. S. 85, zeigt auf Wunsch auch die Frequenz dieser Schwingung in einem Schallspektrum an. Statt der Zeit wird in dieser Darstellung auf der horizontalen Achse die Frequenz angegeben. Dieses Schallspektrum ist ein wichtiges Hilfsmittel für die Analyse von komplexen Schwingungsvorgängen von Schallquellen, wie sie häufig anzutreffen sind.



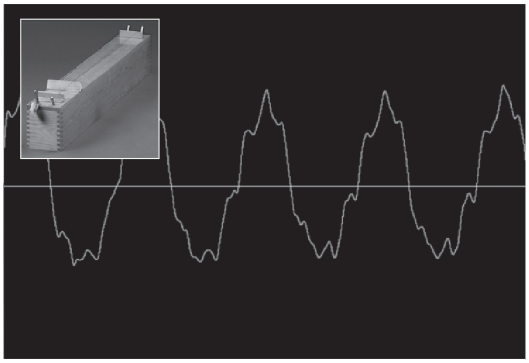

Die Frequenz des von der Stimmgabel abgestrahlten Schalls – und damit die Tonhöhe – lässt sich aus dem gemessenen Schallspektrum mit 440 Hz angeben.

Schon bei der schwingenden Saite des Monochords sind die Verhältnisse komplizierter, wie das folgende Spektrum zeigt:

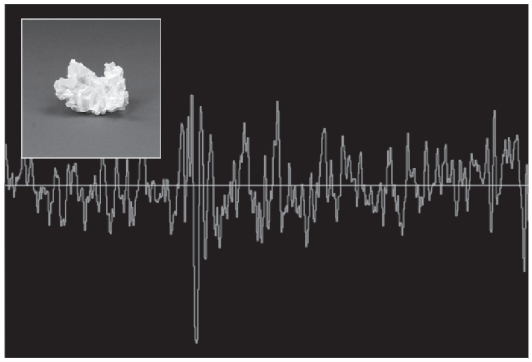



Hier treten offenbar mehrere Schwingungen auf. Neben einer Grundschwingung der Saite (mit kleinerer Frequenz als bei der Stimmgabel) erkennt man mehrere höhere Oberschwingungen. In der Zeitdarstellung wird die Überlagerung dieser vielen Schwingungen zu einem **Klang** durch ein komplexes Muster der Schwingungskurve sichtbar.

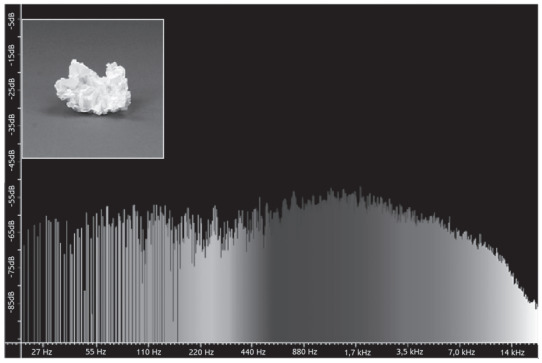
Das in der Schwingungskurve des Monochords erkennbare Muster wiederholt sich mit der im Spektrum erkennbaren Frequenz der Grundschwingung. Der typische Klang des Monochords entsteht durch das Hinzufügen der verschiedenen **Obertöne**.



So besitzt jede Schallquelle einen typischen „Fingerabdruck“ im Schallspektrum. Auch beim Zerknüllen eines Papierstücks wird Schall erzeugt, den man nicht nur hören, sondern auch wieder analysieren kann:



Bei dieser Schallquelle ist kein Muster in der Schwingungskurve mehr erkennbar. Das Papier erzeugt ein **Geräusch**, das aus einer Mischung sehr vieler verschiedener Frequenzen besteht, wie im Schallspektrum sichtbar wird:




**Bemerkungen**

Die Messzeit wird so kurz gewählt, dass die Abnahme der Amplitude vernachlässigbar ist. Der Start der Messung wird durch das Mikrofonsignal getriggert, das Messergebnis wird auf dem Monitor sofort nach dem Anklicken der Schallquelle als Standbild sichtbar.

So schlicht dies aussieht, in der Regel stößt die Darstellung der unterschiedlichen Kurvenbilder auf großes Interesse. Aus diesem Grund sollten nicht vorschnell Antworten angeboten, sondern sehr genau Stimmgabel und Monochord verglichen werdem, hierbei ist die Frequenzdarstellung von Vorteil, sie zeigt, dass in bestimmten Abständen Frequenzen verstärkt auftreten.

**Anleitung**

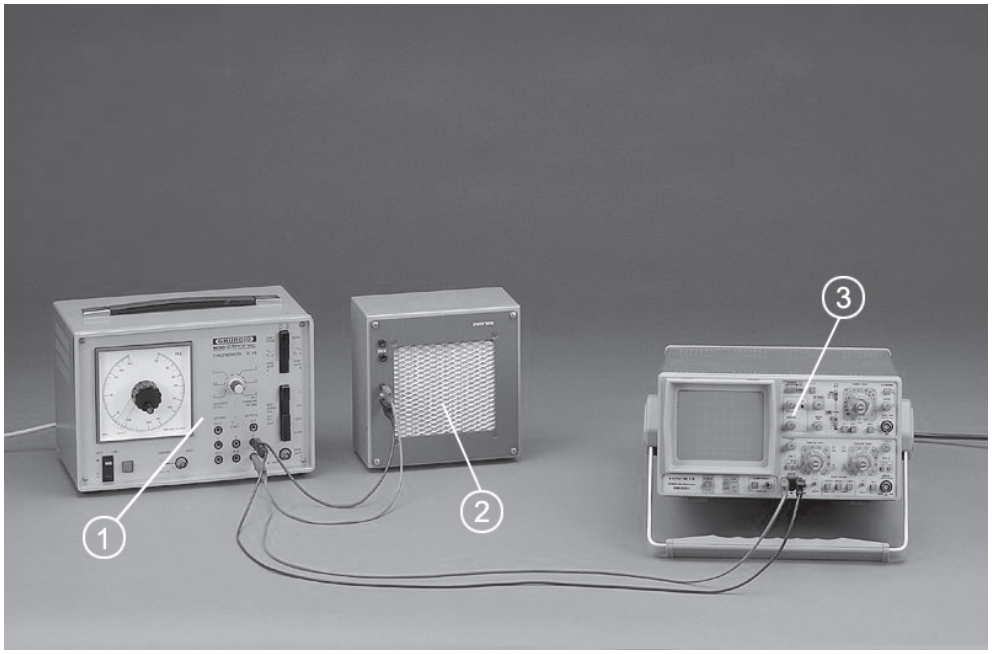
1. Wähle durch Klicken auf eine der drei linken Tasten (1) eine Schallquelle aus. Nach dem Klick wird die jeweils ausgewählte Schallquelle neben dem Mikrofon (3) im Versuchsaufbau gezeigt.
2. Klicken auf die Schallquelle (2) macht das jeweilige Schallereignis hörbar.
3. Schalte den Bildschirm mit der Taste (4) ein. Auf dem Bildschirm (5) wird die Mikrofonspannung als Funktion der Zeit dargestellt. Die Bildschirmdarstellung lässt sich durch Anklicken vergrößern.
4. Du kannst auch bei eingeschalteter Vergrößerung eine Schallquelle auswählen und anklicken.
5. Mit den Tasten (6) lässt sich die Anzeige in der Vergrößerung zwischen Zeit- und Frequenzdarstellung umschalten. Die Messung muss dazu nicht wiederholt werden.
6. Untersuche die Schallschwingungen verschiedener Schallquellen.

# Amplitude und Frequenz

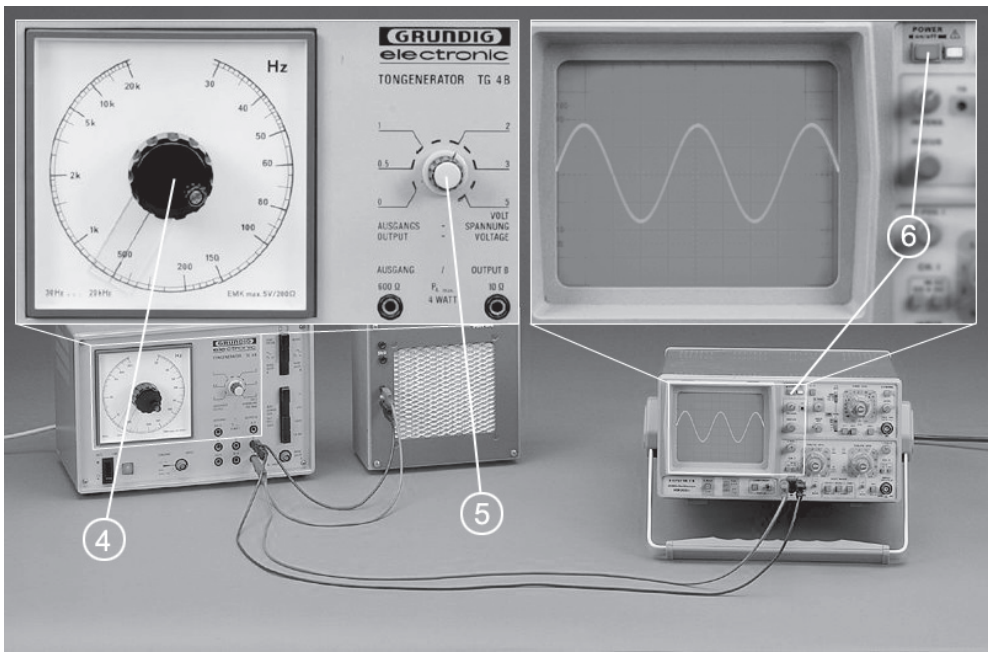
Visuelle und auditive Darstellung von Tönen verschiedener Frequenz und Amplitude

**Beschreibung**

In diesem Experiment wird die durch den Tongenerator (1) erzeugte sinusförmige Schwingung mit dem Lautsprecher (2) hörbar und über das Oszilloskop (3) auch sichtbar gemacht. Beide Geräte sind – wie auf dem Bild zu sehen – parallel an den Tongenerator angeschlossen.




Am Tongenerator lässt sich die Anzahl der Schwingungen je Sekunde, die Frequenz des Tons in Hertz (Hz), einstellen. Dazu wird der Drehknopf (4) links verwendet. In der Abbildung ist am Generator die Frequenz 500 Hz eingestellt. Der rechte Knopf (5) regelt die Ausgangsspannung des Generators und damit die Amplitude des Tons. Der Lautsprecher macht dies hörbar: Töne mit größerer Amplitude sind lauter. Vergrößert man die Frequenz des Tones, klingt der Ton höher.



Auf dem Bildschirm des Oszilloskops wird nach Einschalten (6) die Schwingung sichtbar. Dazu wird ein Lichtfleck durch die Wechselspannung des Generators vertikal abgelenkt. Das würde zunächst eine senkrechte gerade Linie zeigen, deren Länge von der Amplitude abhängt. Um die Schwingungskurve sehen zu können, bewegt sich der Lichtfleck auf dem Bildschirm mit konstanter Geschwindigkeit periodisch von links nach rechts (der Rücklauf erfolgt abgedunkelt mit großer Geschwindigkeit).

**Hintergrund**

Siehe 2.1: Schall, S. 19.

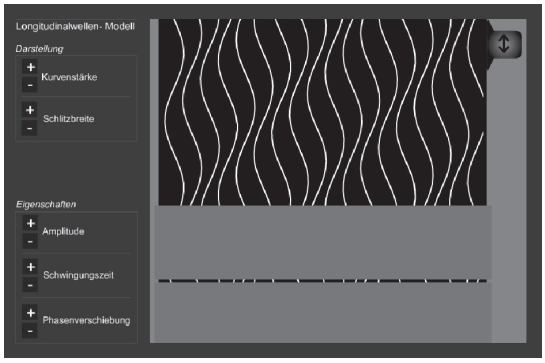
**Anleitung**

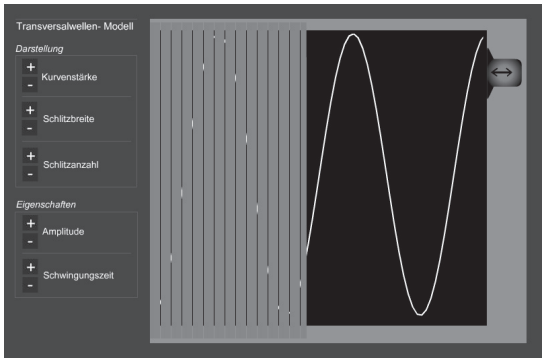
1. Schalte den Tongenerator durch Klicken auf den Schalter unten links ein.
2. Klicke auf das Bedienfeld des Generators um die Ansicht zu vergrößern.
3. Über den Lautsprecher des Computers kannst Du nun den Ton hören.
4. Schalte mit dem roten Schalter das Oszilloskop ein.
5. Der Bildschirm des Oszilloskops zeigt nun die Schwingungskurve.
6. Klicken auf den Bildschirm des Oszilloskops vergrößert die Darstellung.
7. Wähle mit dem großen Knopf des Tongenerators die Frequenz eines Tones, beobachte dabei das Oszilloskop und achte auf den Ton.
8. Stelle mit dem rechten Knopf die Amplitude eines Tones ein, beobachte dabei das Oszilloskop und achte auf den Ton.

# Longitudinal- und Transversalwellenmodell

Hier werden zwei Modelle verglichen; damit dies gleichzeitig geschehen kann, sind die beiden Modelle auf getrennten Dateien, so dass sie in zwei Fenstern nebeneinander dargestellt werden können, wozu dann mit dem Browser vorher das zweite zu öffnen ist.

Was versteht man unter einer Welle (im Gegensatz zur Schwingung) und wie entsteht eine Wellenbewegung?




## Beschreibung

Die Modelle bestehen aus einer frei verschiebbaren Ebene mit Schwingungskurven, die von einer feststehenden Ebene abgedeckt wird. In der festen Ebene befinden sich transparente Schlitze, die beim Verschieben der Schwingungskurven den Eindruck von schwingenden Punkten (Teilchen) in einer Welle erzeugen. Die mit Doppelpfeilen versehenen Anfasser am rechten Rand ermöglichen das Verschieben der beweglichen Ebene des jeweiligen Modells.

Für beide Modelle sind folgende Eigenschaften der Schwingungskurven auf der beweglichen Ebene einstellbar:

- Amplitude: die größte Auslenkung der Schwingungskurve(n). Der Wert lässt sich auch auf null stellen. Bei der Longitudinalwelle sieht man beim Verschieben vertikal feststehende Punkte, im transversalen Modus horizontal feststehende Punkte.
- Schwingungszeit: die Dauer einer vollständigen Schwingung (Periode).
- Phasenverschiebung (nur bei der Longitudinalwelle): die Verschiebung der Schwingungskurven gegeneinander. Wird dieser Wert auf null gestellt, schwingen die Punkte in gleicher Phase. In diesem Fall findet keine Wellenbewegung statt.

Auch die Darstellung der Welle lässt sich verändern:

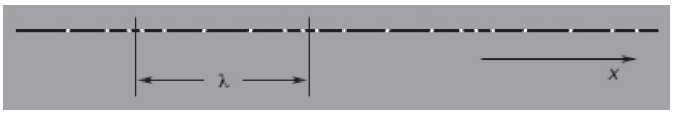
- Kurvenstärke: verändert die Linienstärke der Schwingungskurven.
- Schlitzbreite: bestimmt die Breite der Schlitze im feststehenden Teil des Modells.
- Schlitzanzahl (nur bei der Transversalwelle): die Anzahl der Schlitze, durch die die Schwingungskurven betrachtet werden.

## Hintergrund

Eine Welle ist ein physikalisches Phänomen, das sich durch die zeitlich und räumlich periodische Änderung der physikalischen Größe beschreiben lässt. Die Wellenausbreitung entsteht dabei durch die Kopplung räumlich benachbarter Schwingungen, s. S. 19.

Die **Längs-** oder **Longitudinalwelle** zeigt eine Wellenbewegung, bei der die Schwingungen längs der Wellenbewegung erfolgen. Hier ist der Sehschlitz längs der Ausbreitungsrichtung und es sind – durch Ziehen an der Lasche darstellbar – mehrere schwingende Teilchen sichtbar.

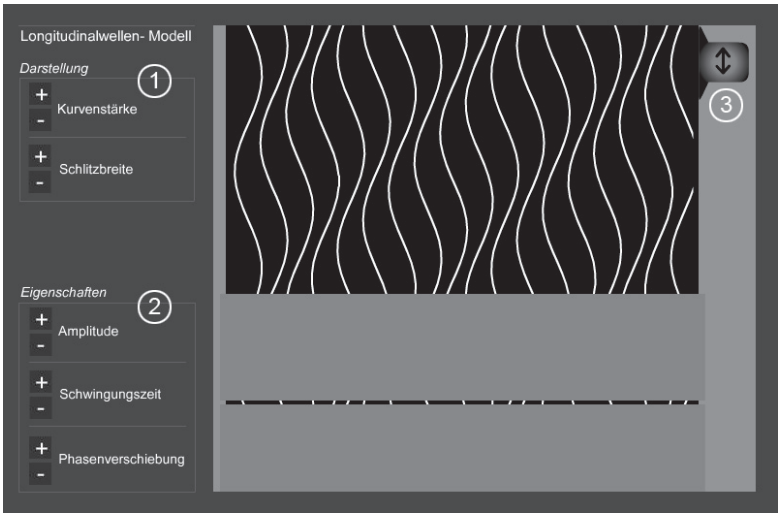
Dieser Zusammenhang der Schwingungsrichtung in der Ausbreitungsrichtung ist gut zu demonstrieren, wenn man die Kurvenstärke vergrößert und dann im Sehschlitz beobachtet, wie das Maximum der Verdichtung entlang der Ausbreitungsrichtung weitergeleitet wird, ohne dass die Teilchen selber sich entlang dieser Strecke bewegen. Als Wellenlänge λ erkennbar ist hier der Abstand der Zonen mit großer Punktdichte.




Unten sind dann die Schwingungen der Teilchen während eines Zeitintervalls zu sehen. Mit den +/−-Tasten für die Darstellung (1) lassen sich die Stärke der Schwingungskurve und die Breite der Schlitze einstellen.

Die +/−-Tasten für die Eigenschaften der Welle (2) verändern Amplitude, Schwingungszeit und die gegenseitige zeitliche Verschiebung der Schwingungskurven, die sogenannte Phasenverschiebung.

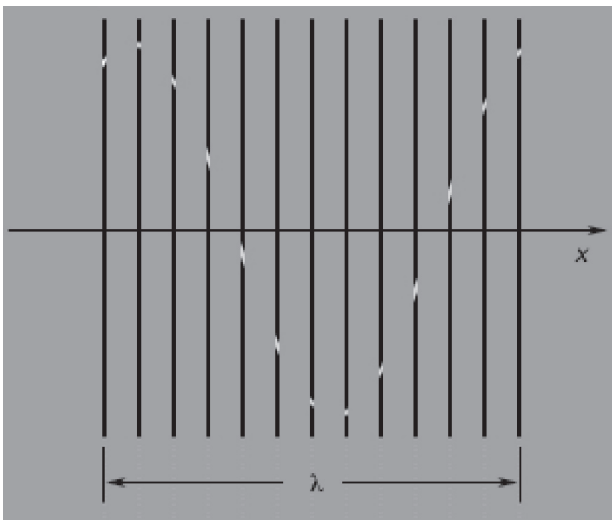
Beim Verschieben der Schwingungskurven mittels des Anfassers (3) beobachtet man durch den Schlitz die Schwingungen der einzelnen Punkte und im Zusammenspiel die Bewegung der Longitudinalwelle entlang des vertikalen Schlitzes.




Bei der **Quer-** oder **Transversalwelle** finden diese Schwingungen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung statt. Im Modell werden die Schwingungen dadurch sichtbar, dass man den Sehschlitz dementsprechend senkrecht zur Ausbreitungsrichtung gelegt hat und in dem man dann – durch Ziehen an der Lasche – die transversale Schwingung eines Teilchens entlang der Wellenbewegung in je einem Sehschlitz sehen kann.

Wellen sind Momentaufnahmen räumlicher Darstellungen, was dadurch sichtbar gemacht werden kann, indem weitere Sehschlitze an benachbarten Orten zugeschaltet werden. Bei der Betrachtung mehrerer Schlitze erhält man während des Verschiebens den Eindruck einer horizontal laufenden Welle, obwohl sich die schwingenden Punkte selbst nicht in diese Richtung bewegen. In Ruhe sieht man durch die Schlitze eine Momentdarstellung der Welle, bei der die räumliche Periode der Welle – die Wellenlänge λ – erkennbar wird.

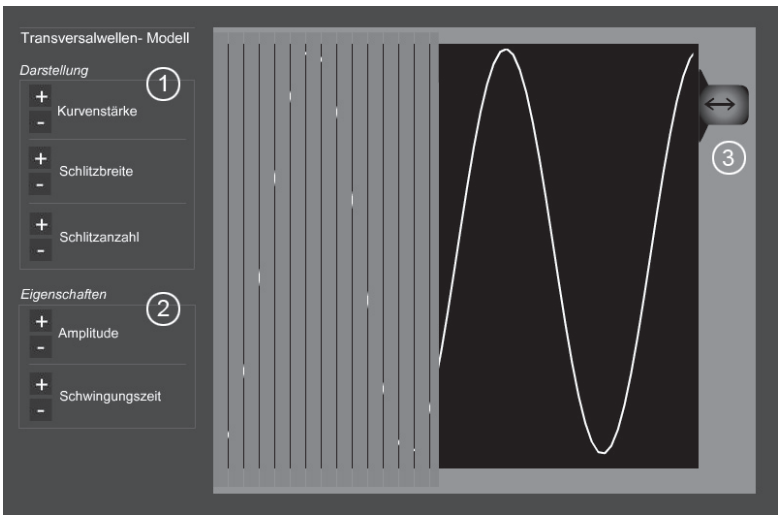
Rechts ist dann die Schwingung während eines Zeitintervalls zu sehen.




Mit den +/−-Tasten für die Darstellung (1) lassen sich die Stärke der Schwingungskurve, die Breite und zusätzlich die Anzahl der Schlitze einstellen.

Die +/−-Tasten für die Eigenschaften der Welle (2) verändern Amplitude und Schwingungszeit.

Beim Verschieben der Schwingungskurven mittels des Anfassers (3) beobachtet man durch die Schlitze die Schwingungen der einzelnen Punkte und im Zusammenspiel die horizontale Bewegung der Transversalwelle.

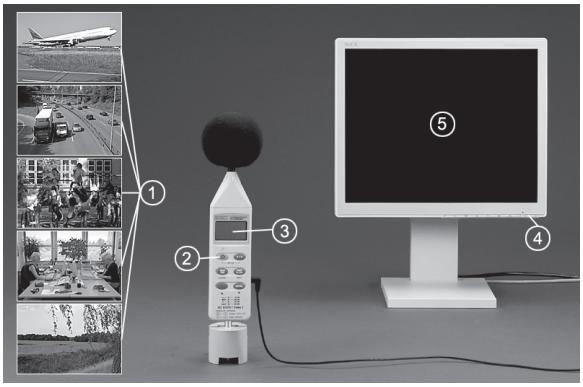



**Anleitung**

1. Schalte beide Modelle ein und vergleiche sie immer wieder miteinander.
2. Stelle im Transversalwellenmodell die Anzahl der Schlitze auf eins. Verschiebe nun die Schwingungskurve und beobachte dabei die Schwingung des Punktes.
3. Verändere Amplitude und Schwingungszeit. Wie verändert sich die Schwingung?
4. Erhöhe schrittweise die Anzahl der Schlitze und beobachte während des Verschiebens die Ausbreitung der Welle.
5. Verschiebe im Longitudinalwellenmodell die Schwingungskurven und beobachte dabei die Schwingungen der Punkte.
6. Probiere aus, welchen Einfluss die Veränderung der Amplitude hat.
7. Vergrößere Amplitude und Phasenverschiebung so, dass Du die Ausbreitung der Longitudinalwelle gut beobachten kannst.
8. Was beobachtest Du durch den Schlitz beim Verschieben der Schwingungskurven, wenn Du diese Phasenverschiebung auf null stellst und was bedeutet das?

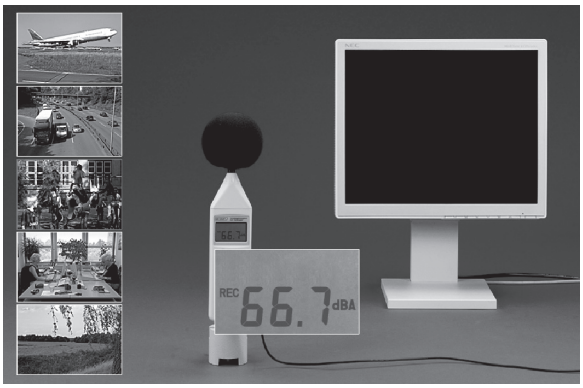
# Schallpegelmessung

Wiedergabe von Schallpegelmessungen in typischen Alltagssituationen.

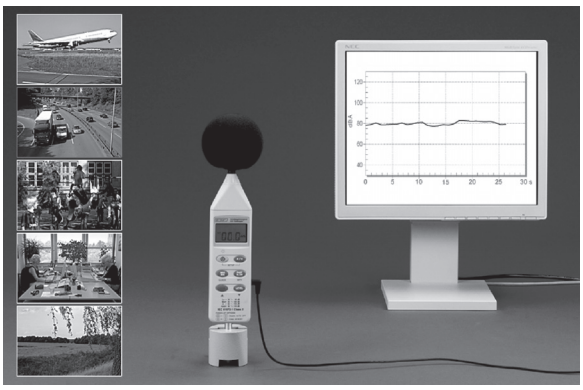



**Beschreibung**
In fünf verschiedenen Alltagssituationen (Flugzeugstart aus ca. 500 m Entfernung, Autobahnbrücke, Schulhof, Büro, Park) wurden für dieses Experiment Messungen mit dem Schallpegelmesser aufgezeichnet (jeweils ein Messwert pro Sekunde). Ein Klick auf ein Bild (1) startet die Wiedergabe der zugehörigen Tonaufzeichnung für ca. 30 s (wiederholtes Anklicken startet die Tonwiedergabe erneut; die Wiedergabe lässt sich jedoch nicht abbrechen).

Nach dem Einschalten des Schallpegelmessers durch Klick auf die Taste (2) zeigt das Display (3) den Schalldruckpegel in dB (A) an. Klicken auf das Display vergrößert die Anzeige. Entsprechend der Messwertaufnahme wird ein Messwert pro Sekunde annähernd synchron zur Tonwiedergabe angezeigt.




Die Messwerte werden über eine Datenleitung auch zu einem Computer übertragen, der hier nicht im Bild sichtbar ist. Über den Monitor (5) lässt sich die vom Computer berechnete grafische Darstellung des Schalldruckpegels über der Zeit anzeigen. Dazu muss der Monitor durch Klick auf die Taste (4) zunächst eingeschaltet werden. Auf dem Monitor wird der Schalldruckpegel als Funktion der Zeit ebenfalls synchron zur Tonwiedergabe grafisch dargestellt (mitgeschrieben). Die Länge der Zeitachse entspricht dabei der Länge der Messwertwiedergabe. Das Schreiben der Schallpegelkurve wird mit dem Ende der Tonwiedergabe ebenfalls beendet.



Die Abbildung zeigt die Schallpegelkurve nach der vollständigen Wiedergabe einer Messung. Die Darstellung lässt sich durch Klick auf den Monitor (5) – ebenso wie das Display des Schallpegelmessers (3) – vergrößern.

**Hintergrund**

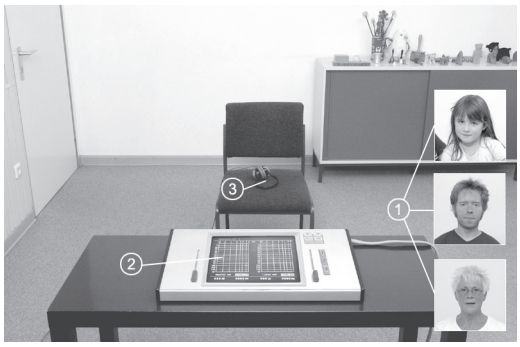
Siehe 2.9: „Schallpegelmessungen“, S. 62.

**Anleitung**

1. Klicke auf eines der Bilder von Alltagssituationen. Höre nun die jeweilige Tonaufnahme für ca. 30 s. Danach kannst Du eine neue Situation auswählen. Die Wiedergabe lässt sich nicht abbrechen.
2. Klicke auf die Taste oberste Reihe links und schalte den Schallpegelmesser ein.
3. Klicke auf das Display des Schallpegelmessers, dieser zeigt dann eine vergrößerte Darstellung der Schallpegelanzeige (in dB (A)). Die Anzeige entspricht der Messung, die simultan zur Tonaufnahme in den verschiedenen Alltagssituationen aufgezeichnet wurde. Es wurde dabei ein Messwert je Sekunde gespeichert, der hier wiedergegeben wird. Zum Ausschalten der Vergrößerung tippe erneut auf das Display.
4. Klicke auf die Einschalttaste rechts unten am Monitor um die grafische Darstellung der Schallpegelaufzeichnung zu sehen. Durch Klicken auf die Bildschirmfläche lässt sich die Darstellung ebenfalls vergrößern und verkleinern.
5. Beobachte den Verlauf des Schallpegels während der Wiedergabe einer Messreihe. Die Messpunkte (je einer pro Sekunde) sind in dieser Darstellung durch Geraden verbunden um den Pegelverlauf besser sichtbar zu machen. Aber Achtung: Diese Darstellung sagt nichts über mögliche Zwischenwerte aus.

# Audiometrie

Aufnehmen und Vergleichen der Audiogramme von drei verschiedenen Versuchspersonen mit unterschiedlichem Hörvermögen.

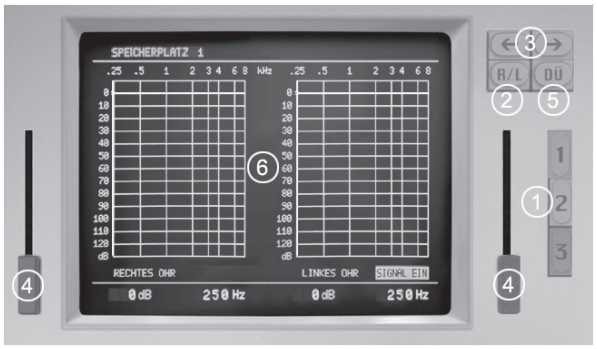



Ansicht des Experiments nach dem Öffnen

**Beschreibung**
Dieses Experiment zeigt einen Messplatz für audiometrische Untersuchungen an verschiedenen Testpersonen. Durch Klick auf eines der Bilder (1) wird eine Person für die Untersuchung ausgewählt.

Über den Kopfhörer (3) lassen sich mit dem Audiometer (2) Töne verschiedener Lautstärke und Frequenz auf jeweils ein Ohr der Testperson geben. Das Audiometer lässt sich erst in der vergrößerten Darstellung (durch Klick auf das Gerät) bedienen.

Versuchsperson auf dem Messplatz (links) und Großdarstellung des Audiometers (rechts)

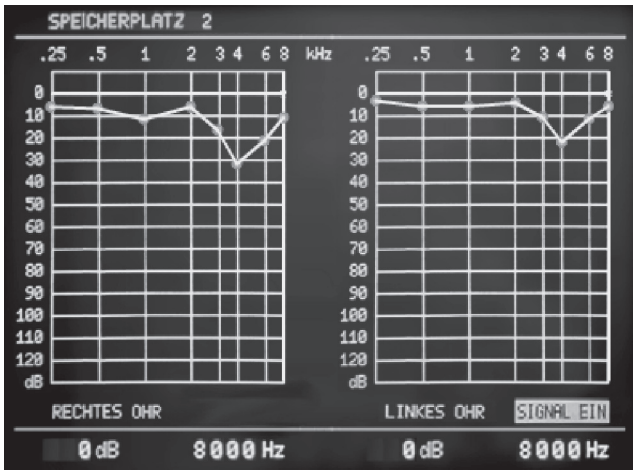



Das Audiometer und seine Bedienelemente

Zum Speichern der Messergebnisse stehen drei Speicherplätze zur Verfügung, die über die Wahltasten (1) aktiviert werden. Die Taste R/L (2) schaltet den Messton wahlweise auf das linke bzw. rechte Ohr. Die Auswahl wird auf dem Bildschirm (6) unten durch den Hinweis „SIGNAL EIN“ angezeigt. Mit den Pfeiltasten (3) lässt sich eine Messfrequenz einstellen (alternativ über die Pfeiltasten der Computertastatur). Die senkrechte Linie im Audiogramm zeigt die aktuell gewählte Frequenz an. Das Verschieben des roten oder blauen Reglers (4) nach oben erhöht die Lautstärke des Messtons, was im Audiogramm durch die Verschiebung der waagerechten Linie nach unten sichtbar wird. Signalisiert die Testperson das Hören des Tons durch Handzeichen, so wird der aktuelle Messpunkt – der Schnittpunkt beider Linien – durch Klick auf die Taste „DÜ“ (5) („Datenübernahme“) in das Audiogramm „eingestempelt“.

Alternativ ist das Audiometer auch über die Computertastatur bedienbar:
- Auswahl der Speicherplätze mit den Tasten „1“, „2“ oder „3“.
- Umschalten des Messtons auf das linke oder rechte Ohr mit der Umschalttaste.
- Einstellen der Messfrequenz über die horizontalen Pfeiltasten.
- „Einstempeln“ eines Messpunkts mit der Leerschritttaste.

So lässt sich Punkt für Punkt das vollständige Audiogramm aufnehmen. Jeweils zwei benachbarte Messpunkte werden dabei durch eine Gerade verbunden. Durch Auswahl der Speicherplätze (1) lassen sich die Audiogramme verschiedener Testpersonen schnell vergleichen.




Beispiel einer vollständigen Messung für eine der Versuchspersonen.

**Hintergrund**
Siehe 2.3: Audiometrie, S. 33.

**Anleitung**
1. Wähle eine Testperson aus.
2. Klicke auf das Audiometer um die Vergrößerung einzublenden.
3. Wähle das zu untersuchende Ohr mit der Taste „R/L“ aus.
4. Wähle einen Speicherplatz für die Messdaten auf einem der drei Speicherplätze rechts auf dem Audiometer aus.
5. Wähle eine Messfrequenz mit einer der beiden Pfeiltasten oben rechts aus, je nachdem ob Du eine tiefere oder höhere Frequenz testen möchtest.
6. Erhöhe mit dem Schieberegler für das ausgewählte Ohr – links bzw. rechts des großen Anzeigefeldes – die Lautstärke des Messtons so lange, bis die Testperson das Handzeichen gibt.
7. Klicke dann die Taste „DÜ“ um den Messpunkt im Audiogramm zu speichern.
8. Wiederhole diese Messung für alle Frequenzen und beide Ohren.

Die Kurven mit den roten Punkten, die Du am Ende erhältst, sind die Audiogramme der beiden Ohren.

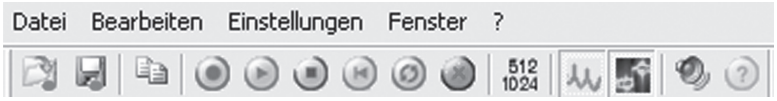
## 3.4 Anleitung zu SOUNDS zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen und Tönen

Das Programm SOUNDS zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen und Tönen ist Freeware und kann im Internet unter http://didaktik.physik.fu-berlin.de/sounds aufgerufen und heruntergeladen werden. Auf der DVD liegt eine abgespeckte und adaptierte Version, die auf die Themen dieser Unterrichtsmaterialien zugeschnitten ist. „SOUNDS_for_BZgA" ergänzt sehr gut die Bausteine „Was ist Lärm?" und „Messung der Lautstärke", z.B. Obertöne und Klang von Instrumenten, Qualität von MP3 und Handy sowie Signal auslöschenden Gehörschutz beim Gewerbelärm. Hierzu liegen im Ordner „SOUNDS for BZgA" auf der DVD neben der Software eine ganze Reihe von Tonaufnahmen, die für diese Aufgaben genutzt werden können, sofern man keine eigenen Aufnahmen machen möchte oder kann.

Mithilfe von SOUNDS können Audiosignale (unterschiedlicher Schall: Töne, Klänge und Geräusche) aufgenommen oder von Datenträgern übernommen wiedergegeben und analysiert werden. Was wir hören, kann auf vielfältige Weise grafisch visualisiert werden. Der umgekehrte Weg ist bereits lange bekannt, aus Noten werden Töne, indem z.B. Musiker nach einer Partitur eine Melodie abspielen. Aber der Computer kann aus Instrumentenklängen auch die passende Tonhöhe, also die Grundtöne und sogar das gesamte Obertonspektrum ermitteln und diese grafisch darstellen. Die Vollversion von SOUNDS steht, wie oben erwähnt, im Internet zum Download bereit, mit ihr lassen sich sogar Melodien in Notenschrift darstellen.

Beim Start von SOUNDS_for_BZgA wählt man im Menü unter Datei die gewünschte Audiodatei aus oder klickt für eine Aufnahme im Menü Mikrofon an. Die dabei entstehenden Audiodateien können mit SOUNDS auf verschiedene Weisen angezeigt und analysiert werden. Systemvoraussetzungen sind Windows 9x/2000/XP/Vista und mit der Emulation von Virtual PC 7 MacOS X sowie Soundkarte, großer Bildschirm und mindestens 256 MByte Arbeitsspeicher.

Im Menü gibt es neben den üblichen Bedienungselementen Datei, Bearbeiten, Ansicht, Daten, Einstellungen (der Soundkarte, falls mehrere vorhanden sind), Fenster (Art der Anordnung und Anzeige der ausgewählten Fenster) und Hilfetasten, auch Buttons genannt, mit den bekannten Symbolen von Recordern zur Steuerung des Programms:




Öffnen einer Audiodatei, Speichern einer Audiodatei, in die Zwischenablage kopieren, Starten/Stoppen der Aufnahme, Starten der Wiedergabe, Stoppen der Wiedergabe, Zurücksetzen an den Anfang, Loop, Entfernen der Audiodatei, Einstellungen für die Fourierspektren, Fenster Fourierspektren, Fenster Sonogramm, Lautstärkeregelung, Hilfe. Die Lautstärkeregelung setzt natürlich voraus, dass der Computer einen Lautstärker hat, resp. ein Lautsprecher an ihm angeschlossen ist.

Es gibt bei der für diese Materialien erstellten Version von SOUNDS drei Fenster:

1. In der Übersicht werden die Audiosignale visualisiert und im zeitlichen Verlauf ihrer Amplituden dargestellt; in der Titelzeile der Übersicht wird der Namen der Datei genannt. Einzelne Bereiche können ausgewählt werden, sie erscheinen dann im unteren Fenster der Übersicht vergrößert und die Auswahl kann für die weitere Analyse weiter und wiederholt eingegrenzt werden.

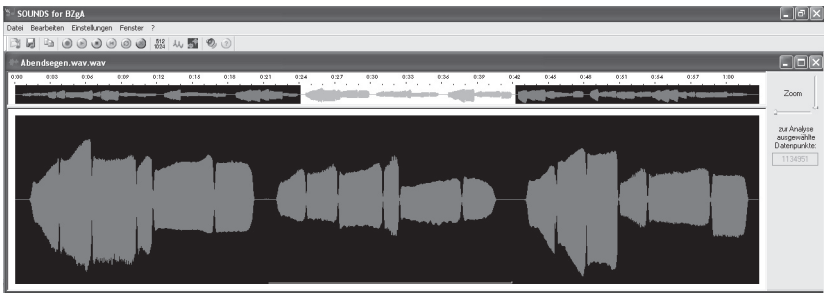
2. Das Fenster Fourierspektren zeigt das Klangspektrum in einem Frequenz-Amplituden-Diagramm. Die Fourierspektren zeigen sehr genau die Größe der Schallpegel bei den einzelnen Frequenzen für den ausgewählten Analysen-Abschnitt, bzw. bei der Wiedergabe für einen festen Analysen-Intervall. Will man ein Instrument genauer untersuchen, sollte nur ein Ton oder ein eng begrenzter Zeitraum ausgewählt werden; die Obertöne sind dann gut zu erkennen, während man beim Sonogramm (s. 3.) den instrumentenspezifischen zeitlich versetzten Beginn der einzelnen Obertöne deutlich sieht.

   Die Schallpegel werden in dBr, also relativ angegeben. 0 dB ist die maximal mögliche Lautstärke des gewählten Audioformats und die angegebenen negativen Werte zeigen an, wie viel geringer sie sind.

3. Im Fenster Sonogramm erfolgt dagegen die Darstellung der Amplituden durch farbliche Kennzeichnung und die einzelnen Frequenzen werden über der Zeit aufgetragen, die Melodie ist visuell zwar nicht einfach, jedoch deutlich zu erkennen. Klickt man einzelne Punkte im Spektrum an, werden oben rechts im Fenster Frequenz und Schallpegel angezeigt.

**Bereitstellen einer Tonaufnahme und Laden in der Übersicht**

SOUNDS kann Audiodaten im WAV- oder MP3-Dateiformat verarbeiten, dazu ist dann unter „Datei öffnen“ in dem sich öffnenden Fenster das jeweilige Format mit dem Aufklappmenü „Dateityp“ zu wählen. Liegen andere Formate vor, sind diese vorher zu konvertieren. Über den üblichen Befehl Datei > „Wavefile öffnen“ wird die Audiodatei bereitgestellt. Nimmt man dagegen Audiodateien selber auf, ist der Button „Aufnahme“ zu drücken. SOUNDS arbeitet einkanalig und nimmt nur den linken Kanal auf.




Nach dem Laden einer Datei wird in dem oberen Teil der Übersicht die Amplitudeneinhüllende der Wave-Datei angezeigt. Durch Klicken und Ziehen kann man nun mit der Maus einen Ausschnitt davon im unteren Teil der Übersicht vergrößert anzeigen lassen und dort noch einmal zur Analyse einen kleineren Ausschnitt auswählen. Die Größe der Auswahl wird rechts angezeigt. Der Ausschnitt wird in der Übersicht weiß hinterlegt. Möchte man detailliertere Ausschnitte wählen, so hat man die Möglichkeit in beiden Bereichen mit den Zoomslidern, rechts am Rand des Fensters, die Darstellung zu vergrößern oder zu verkleinern, sowohl in der Zeit- (horizontal) als auch in der Amplitudenachse (vertikal).

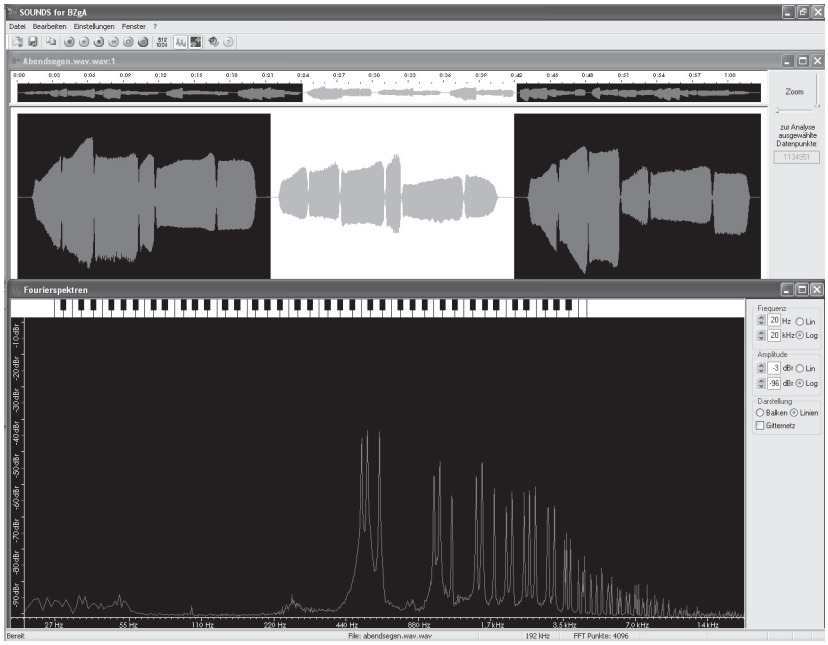
Zur Analyse hat man jetzt mehrere Möglichkeiten: Entweder wählt man im unteren Ausschnitt mit der Maus einen Bereich aus, der dann an die anderen Module zur Analyse übergeben wird, oder man klickt in der Übersicht auf eine Stelle, ab der man die Musik hören will und drückt dann auf den Play-Button. Während des Abspielens bewegt sich die Cursorposition in der Übersicht entsprechend dem Musikverlauf.

In der Statuszeile unten werden neben dem Titel der Aufzeichnung die Samplingrate des aktuellen Musikstücks in kHz – wichtig zur Einschätzung der Zeitauflösung der Daten – sowie die Anzahl der für die Frequenzanalyse (FFT) verwendeten Samples angezeigt, wichtig zur Einschätzung der Frequenzauflösung der Daten.

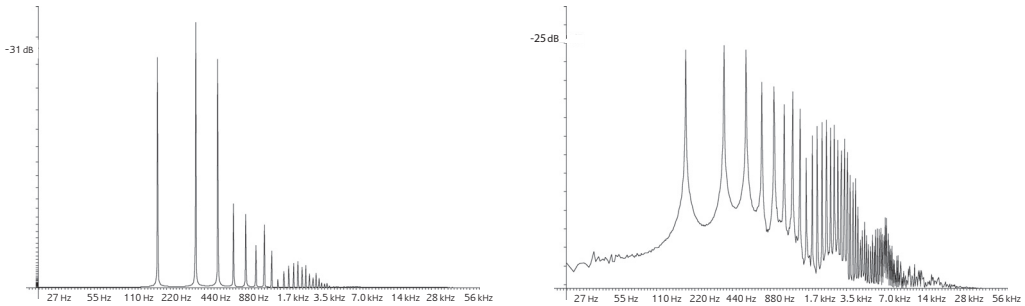
**Fourierspektren**

Hier sind die Frequenzen auf der X-Achse mit ihren entsprechenden Amplituden aufgetragen. Es wird der Bereich angezeigt, der zuvor in dem unteren Fenster der Übersicht markiert wurde. Die Darstellungsarten lassen sich umstellen, linear, halb- oder doppeltlogarithmisch. Je nach gewählter Anzahl der Punkte für die Fourierspektren wird hier ein mehr oder weniger präzises Bild der Frequenzanteile des Signals dargestellt.

Ganz oben im Fenster erkennt man eine Klaviertastatur. Sie dient dem Musiker zur Orientierung. Außerdem dient sie der Kontrolle der angezeigten Frequenzen, denn, wenn man die Klaviatur an irgendeiner Stelle anklickt, ertönt der entsprechende Ton aus dem Lautsprecher.



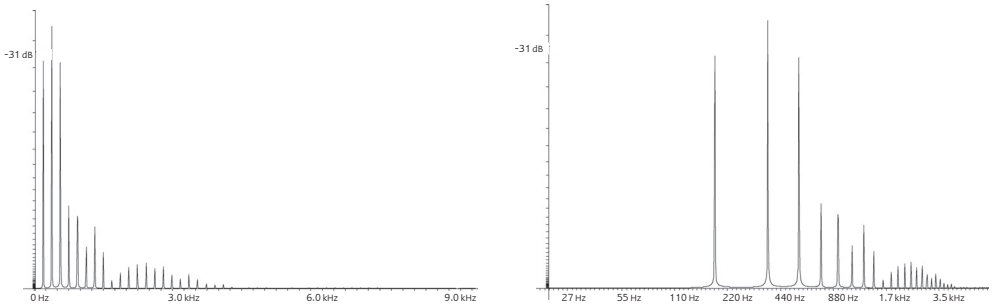

Am linken Rand erkennt man die Amplitudenskala, die die relativen Amplituden der Frequenzanteile bezüglich der Maximalamplitude angibt. Der Wertebereich sowie die Skalierung, linear oder logarithmisch, sind über die Parameterliste am rechten Rand des Fensters einstellbar. Bei linearer Skalierung sind die Frequenzanteile deutlicher voneinander zu trennen, da die Peaks wesentlich schärfer ausgeprägt sind, jedoch können in dieser Darstellung die höheren Obertöne nicht mehr genügend gut aufgelöst werden. Für die Auswertung empfiehlt sich daher die logarithmische Achseneinteilung. Zum Vergleich dasselbe Spektrum einmal in linearer und logarithmischer Amplitudendarstellung:




Lineare und logarithmische Amplitudeneinteilung

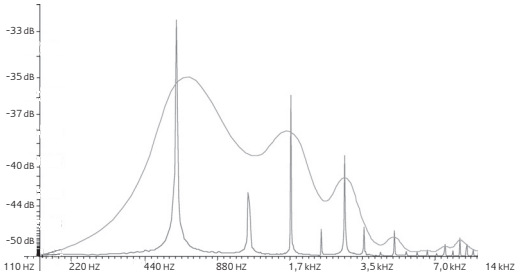
Am unteren Rand des Moduls ist die Frequenzskala aufgetragen. Die Skala ist standardmäßig logarithmisch eingeteilt, was den einfachen Grund hat, dass nur dann Oktaven denselben geometrischen Abstand haben bzw. die Klaviertastatur so gleichmäßig erscheint, wie sie in Wirklichkeit ist. Dazu muss man wissen, dass das Intervall Oktave genau der Verdopplung der unteren Frequenz entspricht, das eingestrichene a hat mit 440 Hz die halbe Frequenz des zweigestrichenen a´s mit 880 Hz. Nur in der logarithmischen Frequenzeinteilung ist der für Orchesterinstrumente interessierende Bereich gleichmäßig über den Bildschirm verteilt.

Der Vorteil an der linearen Darstellung ist aber, dass hier die Obertöne gleiche Abstände haben, was eine Kontrolle dieser Eigenschaft besonders leicht macht.



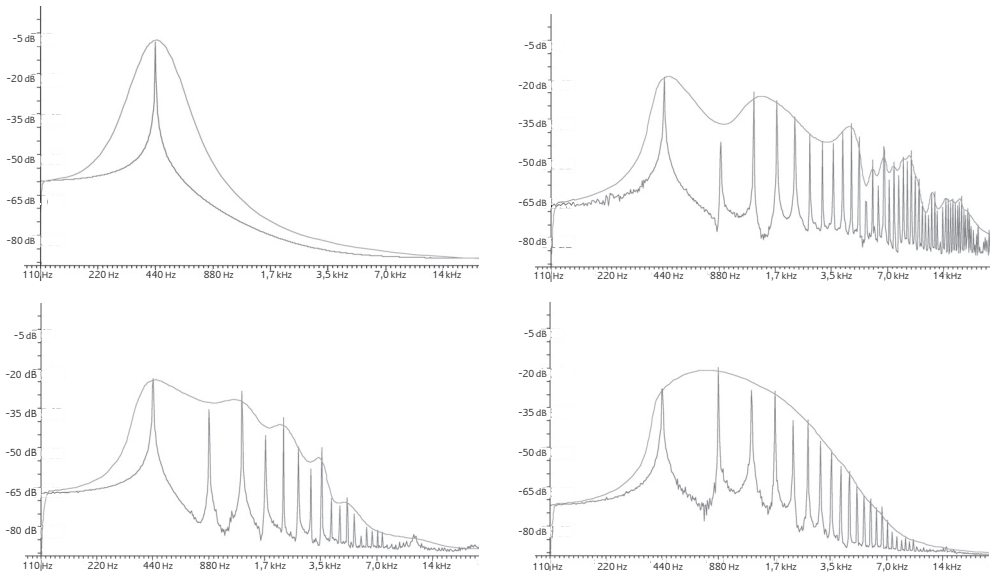

Lineare und logarithmische Frequenzeinteilung

In der Regel interessiert man sich für die Peaks der Fourierspektren, d.h., man versucht aus dem Amplitudenverlauf die Frequenzen abzuleiten, die in dem Klang enthalten sind. Die folgende Abbildung macht deutlich, dass bei diesem Kontrabasston die jeweils ungeradzahligen Obertöne deutlich schwächer sind als der Grundton und die geradzahligen Obertöne.




Formanten im Spektrum eines Kontrabasstones

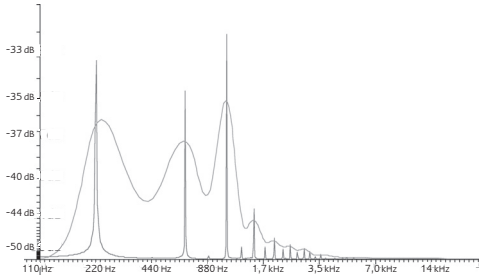
Im Vergleich von vier Instrumenten für den Kammerton a mit 440 Hz wurden in einer doppellogarithmischen Darstellung 65.536 Datenpunkte verwandt, es wurde jeweils die Amplitude über der Frequenz aufgetragen:




Auf Anhieb kann man den synthetisch erzeugten Sinuston von den Instrumenten unterscheiden. Wie mathematisch vorhergesagt, zeigt die Fouriertransformation eines zeitlich begrenzten, aber monofrequenten Signals ein Frequenzspektrum mit einem scharfen Peak, hier bei 440 Hz. Die Instrumentklänge zeigen zusätzlich zum Grundtonpeak, wie er auch beim Sinus zu sehen ist, ein Spektrum von unterschiedlich starken weiteren Frequenzen, den Vielfachen des Grundtons, die in der Musik als Obertöne bezeichnet werden. Die Ausgleichskurven geben die Amplitudenverteilung dieser Obertöne an und man kann an ihnen sehen, wo sich die Instrumente unterscheiden.

Die Bratsche hat im Unterschied zu den Bläsern in sehr hohen Frequenzbereichen über 10 kHz noch einen signifikanten Anteil an Obertonamplituden. Der Amplitudenverlauf ist nicht gleichmäßig wie beim Horn, sondern die Amplitude des ersten Obertons fällt drastisch auf etwa 20 % der Grundtonamplitude ab, ähnlich wie auch bei der Klarinette, danach steigt die Amplitude aber wieder stark an und fällt dann in Sprüngen nach dem 10. und dem 19. Oberton langsam ab.

Bemerkenswert am Spektrum des Horns ist eine Eigenart, die es mit dem Fagott teilt, dass nämlich der erste Oberton eine höhere Amplitude als der Grundton hat. Bei der Klarinette dagegen sind alle ungeradzahligen Obertöne signifikant geschwächt. Dieser Effekt ist tonhöhenabhängig. Als Beispiel sei folgende Grafik in einer linearen Amplitudendarstellung wiedergegeben, die den Effekt deutlicher zeigt mit dem Ton a einer Oktave tiefer bei 220 Hz.

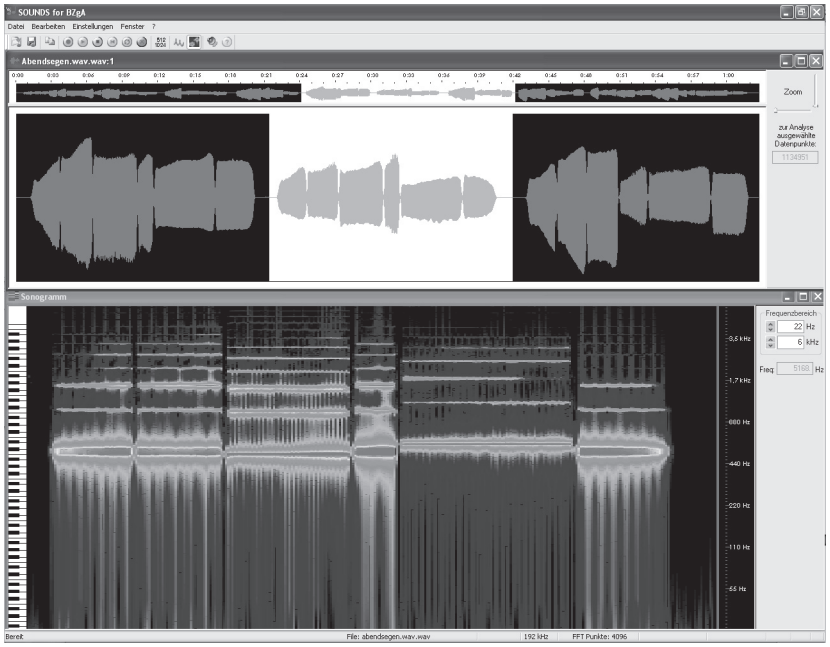


Für die Klarinette gilt je tiefer der Ton desto schwächer die ungeradzahligen Obertöne. Der erste Oberton, rechnerisch bei 440 Hz, taucht praktisch gar nicht auf, der dritte bei 880 Hz ist auch noch kaum zu sehen. Die Ursache dafür ist die zylindrische Bohrung der Klarinette und die Eigenart, dass die schnelle Eigenschwingung des Blättchens wie ein geschlossenes Ende wirkt, d.h., das Rohr schwingt wie ein einseitig geschlossener Resonator, in dem sich stehende Wellen bei Rohrlängen von $l = m \frac{\lambda}{4}$, $m = 1, 3, 5, 7, \ldots$ einstellen.

Alle getroffenen Aussagen gelten zuerst nur für den dargestellten Tonausschnitt. Eine Verallgemeinerung lässt sich eigentlich nur nach ausführlicheren Studien treffen. Aus der stichprobenartigen Untersuchung der beschriebenen Eigenschaften des Spektrums für viele Töne und Instrumente kann man folgende Schlüsse ziehen: Ein obertonreicher Ton klingt voluminös, haben die hohen Obertöne noch starke Amplituden, klingt der Ton offen bis schrill. Fehlen Obertöne, so klingt der Ton eher hohl, eine gleichmäßige Amplitudenverteilung klingt warm.

**Sonogramm**

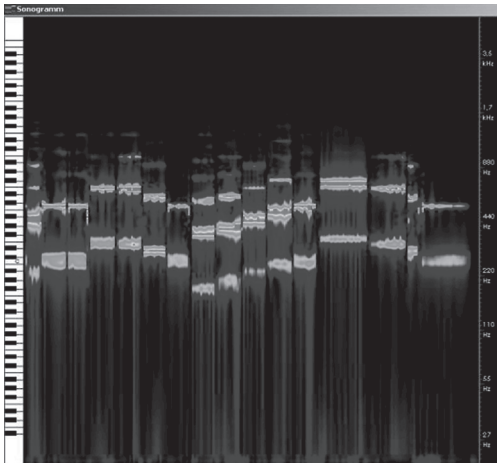
Bei einem Sonogramm handelt es sich um eine Visualisierung von Fourierspektren im zeitlichen Verlauf. Dabei wird der Klang hinsichtlich seines Klangspektrums untersucht, d.h. seiner Verteilung von Grund- und Obertonanteilen, denn jeder Klang, den wir als einen Ton wahrnehmen, besteht aus einer Mischung von vielen Frequenzen, die alle Vielfache des wahrgenommenen Grundtons sind. Es wird der Bereich angezeigt, der zuvor in dem unteren Fenster der Übersicht markiert wurde.




Die eingefärbten Linien im Sonogramm zeigen den Grundton und die verschiedenen Obertöne des jeweiligen Klangs. Die Farben deuten auf die Stärke dieser Anteile hin: Je intensiver die Farbe, desto stärker ist die Amplitude des entsprechenden Frequenzanteils. Auch hier kann der Frequenzbereich sowie die lineare oder logarithmische Frequenzdarstellung eingestellt werden.

Aus der Sonogramm-Darstellung kann man den Melodieverlauf ableiten. Notenhöhen und Notenwerte lassen sich aus der Position des Grundtonpeaks und der Länge der Linien zumindest qualitativ bestimmen. Zeichnet man den Verlauf der auf- und absteigenden roten Linien nach, so wird den Kindern, die bereits ein Instrument spielen und Noten lesen können, schnell deutlich, dass dieser Linienverlauf große Ähnlichkeit mit einem Notenverlauf besitzt. Hier wird die Amplitudeninformation der einzelnen Frequenzen in Farben codiert und so Frequenzen mit hohen Amplituden in kräftigen Frequenzen mit niedrigen Amplituden in schwachen Farben über der Zeit aufgetragen.

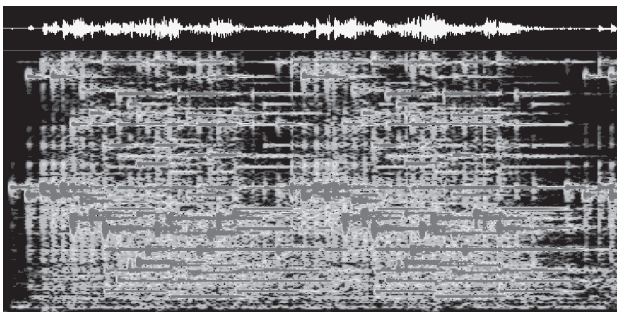
In einem weiteren Beispiel sieht man am linken Rand die für den Musiker wichtige Klaviatur, am rechten Rand die Frequenzskala und den Parameterbereich, die X-Achse ist eine Zeitachse. Der Frequenzbereich kann rechts eingestellt werden, so dass es möglich ist bestimmte Frequenzbereiche auszuwählen und genauer zu betrachten.

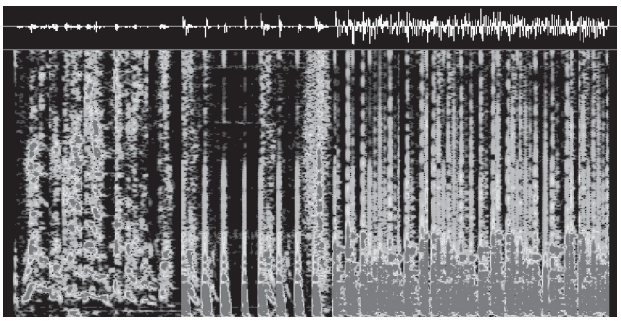



Hier sieht man schön, dass der Grundton des Fagotts offensichtlich regelmäßig eine niedrigere Amplitude als der erste Oberton hat und der Fagottklang insgesamt relativ obertonarm ist. Ein Musiker würde dazu sagen, er klingt rund, gedeckt und etwas hohl, obertonreiche Instrumente klingen offener und schriller.

Den typischen Klang eines Instruments kann man untersuchen, indem man einen einzelnen Ton oder auch nur den Beginn in der Übersicht per Klick auswählt und markiert und dann im Sonogramm betrachtet. Da zeigt sich, dass die Obertöne zeitlich versetzt teilw. wesentlich später erst beginnen, sie sind es, die die Klangfarbe eines Instruments bestimmen. Aber vorher sollten die Schülerinnen und Schüler ihre Einschätzung und Vorerfahrung mitteilen, wie was klingt, danach sollte das Instrument vorgespielt resp. von einer CD wiedergegeben und dann sollte das Instrument erst mittels SOUNDS analysiert werden.

Man kann auch unterschiedliche Musikstücke betrachten, hier die ersten Takte des Stücks „Für Elise“ auf dem Klavier gespielt und von Technomusik:





Im ersten Sonogramm („Für Elise“, nur Klavier) sind noch die einzelnen Spektren der angespielten Noten deutlich, im zweiten Diagramm (Technomusik) nach ein paar Takten Sprechgesang nur die im schnellen Rhythmus intonierten „Klänge“ zu erkennen. Die starke Einfärbung im unteren Frequenzbereich der Technomusik entspricht einer speziellen Frequenzverteilung – es werden nicht mehr einzelne Töne eines Instruments gespielt, sondern eher „Frequenzbänder“ –, die hier verwendeten Instrumente sind synthetisch. Der Vergleich der beiden Sonogramme macht neben der Unterschiedlichkeit der Einzelspektren aber auch zwei weitere wesentliche Unterschiede deutlich, denn es lassen sich hier erste Rückschlüsse auf die unterschiedlichen Musikstile ziehen: Technomusik besitzt einen sehr schnellen und stark periodischen (monotonen) Rhythmus und die Grundtöne der betrachteten Sequenz werden kaum moduliert. Das Sonogramm der klassischen Musik zeigt eine Akzentuierung auf einzelne Melodietöne (bzw. Klänge) und deren Variation. Insbesondere ist hier deutlich das längere Aushalten einiger Töne auch über mehrere Takte hin sichtbar, während bei der Technomusik eine eigentliche Melodieführung kaum zu erkennen (bzw. vorhanden) ist.

Ein klassisches Stück mit Klavier oder Streicherbesetzung überdeckt nur einen begrenzten Frequenzbereich, so sind im Sonogramm z.B. noch deutlich einzelne Anschläge und auch die Melodieführung zu erkennen. Bei einem modernen Technostück bestimmen die stark rhythmisiert einsetzenden (synthetischen) Schlaginstrumente das Bild, Melodien verlieren an Bedeutung, aber gleichzeitig wird der Frequenzbereich durch den Einsatz künstlicher Effekte deutlich nach oben hin erweitert.

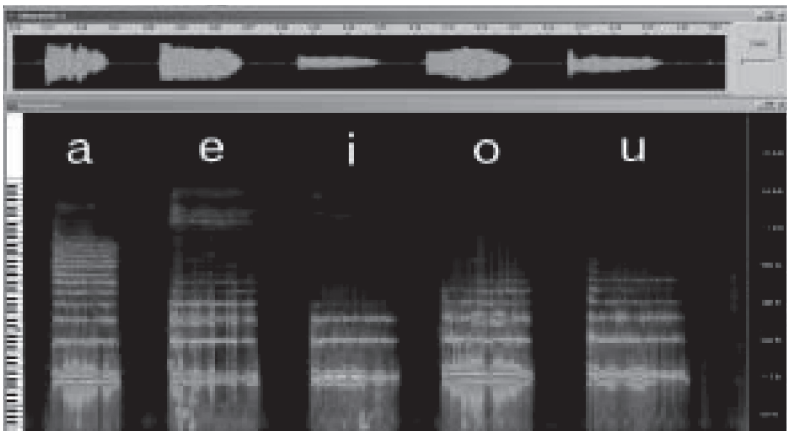
Mit SOUNDS können auch menschliche Stimmen analysiert werden, dies ist alles andere als Spielerei. Damit arbeiten derzeit die Entwickler verbesserter Texterkennungsprogramme ebenso wie Kriminalisten. Jede Stimme klingt verschieden, sie kann tief oder hoch sein, schrill oder gedämpft, laut oder leise. Selbst eineiige Zwillinge können deutlich unterschieden werden. Die Stimme klingt beim lauten Sprechen anders als beim leisen Flüstern und unterscheidet sich deutlich von der Singstimme. Kinder klingen anders als Erwachsene und Frauen haben meist eine höhere Stimmlage als Männer.

Für Experimente mit der Stimme ist SOUNDS besonders hilfreich, denn kurze Tonsequenzen lassen sich auf einfache Weise aufnehmen und sofort entsprechend analysieren. Mithilfe eines Mikrofons können die Schülerinnen und Schüler gesprochene Laute, Buchstaben, einzelne Silben, Wörter oder auch ganze Sätze aufnehmen und sich z.B. die entsprechenden Sonogramme anschauen. Besonders interessant sind Singstimmen, hier lassen sich der Stimmlage sogar problemlos Notenwerte zuordnen. Sehr schnell werden so Vergleiche angestellt, welche Stimme klingt z.B. höher oder tiefer und wie weit lässt sich das variieren – wie hoch oder wie tief kann man überhaupt „klingen".

Schnell stellt sich aber auch die Frage, ob und wie gut ein Ton überhaupt getroffen wird. Zur Überprüfung und Kontrolle der eigenen Stimme eignet sich in besonderem Maße die Sonogramm-Darstellung. Dazu ist auf der linken Bildschirmseite jeweils eine Klaviatur angedeutet, mit einem Mausklick auf eine Taste ertönt sogar der passende Ton.

Auf spielerische Art können die Kinder erproben, ob sie bestimmte Töne mit der Stimme treffen. So kann SOUNDS helfen das Gehör zu schulen. Gleichzeitig wird der gesungene Ton in seiner Tonlage visualisiert, die Zuordnung „hoch – tief" wird dabei über beide Sinneskanäle, also auditiv und visuell, angeboten und sollte so nachhaltig in den Sinnen verankert werden.

Vokale eignen sich sowohl zum Vergleich von verschiedenen Stimmen als auch zur Differenzierung der eigenen Sprache bzw. Stimme besonders gut. Jeder Vokal besitzt eine eigene Klang-Charakteristik, dies lässt sich mithilfe eines Sonogramms eindrucksvoll zeigen, denn unabhängig vom Sprecher oder Sänger gibt es universelle Muster, die es sogar erlauben, aus dem Sonogramm heraus den jeweiligen Vokal zu erkennen; dies gilt grundsätzlich natürlich für alle Sprechlaute, aber bei Vokalen ist dies sehr deutlich:



**Inbetriebnahme**

Für alle Vergleiche gilt, dass vor Beginn der Analyse der Audiodateien die Aufnahmen abgehört und verglichen werden sollen. In dieser Phase werden auch Vermutungen geäußert oder Arbeitshypothesen gebildet. Diese sind schriftlich festzuhalten.

Wenn Aufnahmen derart ähnlich sind, dass kein Unterschied gehört werden kann, wird auch eine Analyse mittels SOUNDS keine Ergebnisse liefern; das Ohr ist weitaus genauer als die Technik. Die Analyse mittels SOUNDS hilft dagegen zu erkennen, welche Eigenschaften der Stimmen, Musikstücke oder Geräusche es sind, die sie so unverwechselbar machen.

Wenn mehrere Aufnahmen gleichzeitig miteinander verglichen werden sollen, ist jeweils ein eigenes Fenster zu öffnen. Es ist zu beachten, ob die gleichen Parameter für Frequenz und Amplitude eingegeben und die Fenster gleich groß aufgezogen sind, wenn nicht, müssen die Werte abgelesen und notiert werden. Dabei sollt ggf. das Gitternetz eingeschaltet werden, damit spezielle Punkte genau angesprochen werden können.

Die Schülerinnen und Schüler lernen am besten zunächst den Computer kennen, u.a. wo die Anschlüsse für Mikrofon, Lautsprecher und Kopfhörer sind. Dann ist SOUNDS zu starten und mit einer ausgewählten Audiodatei oder einer kurzen Aufnahme sind diejenigen Befehle aufzurufen und deren Gebrauch zu üben, die später benötigt werden. Sollen Fourierspektren analysiert werden, empfiehlt sich die vorherige Interpretation einer der auf der DVD mitgelieferten Aufnahmen.

## 3.5 Hinweise zur Verwendung der Abbildungen und Texte auf der DVD

Oftmals bietet es sich an publizierte Unterrichtsmaterialien für den eigenen Unterricht zu verändern. Mit Schere und Kleber oder mit dem Scanner werden die Materialien aufwändig und nicht so gut wie ihr Original verändert. Um hier Abhilfe zu schaffen, liegt dieses Heft mit den 85 Abbildungen, 18 Tabellen, Texten und 31 Druckvorlagen von Arbeitsblättern sowie 38 Versuchsanleitungen in digitalisierter Form vor, sodass auf dem Computer mit „Ausschneiden“ und „Einfügen“ für den Unterricht eigene Unterrichtsmaterialien erstellt werden können. All diese Materialien stehen zur Verfügung; sie sind zur Vervielfältigung für den eigenen Gebrauch freigegeben, die Quelle ist bitte anzugeben.

In dem Ordner „Abbildungen und Texte“ liegen die Texte der Sachinformationen und der Unterrichtsmaterialien als PDF-Dokumente. Hierzu benötigt man ein Programm, das derartige Dokumente öffnen kann. „Adobe Reader“ ist kostenfrei unter http://www.adobe.com/de herunterzuladen.

Der Ordner „Abbildungen und Texte“ enthält ferner die Abbildungen in hoch aufgelöstem Format sowie zur schnellen Orientierung eine Liste mit den Abbildungsnamen und Seitenzahlen.

# 4.
# Bausteine für den Geografieunterricht



Zu Beginn wird geklärt, welche Parameter das Phänomen „Lärm“ ausmachen. In einem weiteren Baustein wird dargestellt, inwieweit im Straßenraum Lärm ermittelt werden kann. Diesen zu vermeiden ist schwierig, da Geschäftigkeit fast immer mit Lärm verbunden ist. Soll er gemindert werden, entsteht ein Interessenkonflikt, der sich als Raumnutzungskonflikt darstellt.

BAUSTEIN 1

# Sensibilisierung für das Problemfeld Lärm

**Inhalt:**

Sensibilisierung für das Problemfeld Verkehrslärm, Definition von Lärm, Messung von Geräuschpegeln, Differenzierung von Geräuschen

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 22 und 23: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand“, S. 68 und CD-Player |
| M 13 | Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte, S. 111 |
| M 10: | Was ist Lärm – wie wird er gemessen? |
| Versuch 1: | Geräuschpegelmessung im Klassenraum (Schallpegelmessgerät, Computer, Drucker) oder |
| M 11: | Wie laut sind Straßengeräusche? |

**Zeitrahmen:**

Ca. 2 – 3 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Definition von Lärm**

Ziel des ersten Unterrichtsabschnittes ist es sich dem Phänomen Lärm durch Alltagserlebnisse zu nähern und im Anschluss daran den Begriff Lärm zu definieren.

Welcher Einstieg gewählt wird, hängt von der Klassenstufe und dem Raumnutzungsmuster im Umfeld der Schule ab. Im Folgenden werden verschiedene Möglichkeiten aufgezählt:

1. Sind im Nahfeld verschiedene Straßentypen vorhanden, so ist es sinnvoll den Schülerinnen und Schülern eigene Erfahrungen zu ermöglichen. So kann man als vorbereitende Hausaufgabe den Auftrag geben auf dem Schulweg bzw. bei anderen Aktivitäten auf verschiedene Geräusche und Lautstärken im Straßenverkehr zu achten und diese notieren zu lassen. Hierdurch wird das Differenzierungsvermögen von Ohr und Auge geschult.

   Als Einstieg können die beobachteten und gehörten Phänomene dann gesammelt und gegebenenfalls auch schon verschiedenen Straßentypen zugeordnet werden. Zusätzlich lässt sich die situationsabhängige, individuelle Lärmempfindlichkeit als Kernproblem des Verkehrslärms verdeutlichen.

2. Als Einstieg erfolgt die Aufforderung zu den Begriffen Wohnstraße, Einkaufsstraße, Fernstraße und Autobahn Geräusche assoziativ zu beschreiben.

3. Zu akustischen Lärmbildern sollen assoziativ die dazugehörenden Straßentypen mithilfe der Audio-Dateien Nr. 22 und 23: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand“, S. 68, beschrieben werden.

4. Zur Projektion von Fotos von Straßenszenen verschiedener Straßentypen sollen unter Verwendung des Arbeitsbogens M 13: „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte“, S. 111, dazu passende Geräusche bzw. der Geräuschpegel beschrieben werden (s. Baustein 2: „Geräuschpegelmessung im Straßenraum“, S. 104).

5. Liegen aktuelle Anlässe vor (z.B. größere Sanierungs- oder Neubauvorhaben im Stadtraum, momentane Verkehrsumleitungen im Wohngebiet o.Ä.), können Zeitungsartikel mit Berichten oder Interviews von Lärmbetroffenen einbezogen werden.

## Definition „Lärm“ und „Geräuschpegel“

Die im Einstieg angesprochenen Sachverhalte sollen vertieft und begrifflich gefasst werden.

Die Lerngruppe widmet sich dann in Still-Arbeit den M 10.1: „Was ist Lärm – wie wird er gemessen?“, um den Begriff „Lärm“ sowie den Begriff „Geräuschpegel“ zu definieren und um seine Messung sowie die Schädlichkeit hoher Geräuschpegel kennenzulernen.

Fakultativ kann auch noch der Text M 10.2: „Fallbeispiele“ bearbeitet werden um verschiedene Lärmbelastungen von Verkehrsteilnehmern aufzuzeigen und „notwendige“ und „vermeidbare“ Lärmquellen herauszuarbeiten.

Das Zwischenergebnis von M 10 wird an der Tafel gesichert:
„Lärm besteht aus Geräuschen, die als störend empfunden werden. Neben objektiven Werten gibt es ein individuelles Empfinden für Lärm.“

Fakultativ wird auch das Zwischenergebnis von M 10.2 an der Tafel gesichert: Auflistung von gefährdeten Personen sowie „notwendigen“ und „vermeidbaren“ Lärmquellen.

## Messung verschiedener Geräuschpegel

Ziel des zweiten Unterrichtsabschnittes ist es Lärm durch die Messung verschiedener Geräuschpegel auch objektiv sichtbar zu machen sowie unbedenkliche und gesundheitsgefährdende Schallintensitäten zuzuordnen.

Geräuschpegelmessung im Klassenraum:

Die Schülerinnen und Schüler führen nun Versuch 1: „Geräuschpegelmessung im Klassenraum“ bei verschiedenen Aktivitäten durch. Es wird bei geschlossenen und (wenn technisch möglich) auch bei geöffneten Fenstern gemessen. Sie werden aufgefordert Geräuschereignisse, wie „Klasse ohne Sprechgeräusche“, „Klasse mit Sprechgeräuschen“, „Stühle rücken“ etc., gemäß den Hinweisen auf S. 62 zu messen und die in dB (A)-Werten angezeigten Schallpegel in ihrem Heft zu notieren.

Danach wird eine Skalierung der gemessenen Schallintensitäten vorgenommen.

Alternativ oder als Übung kann das Interaktive Bildschirmexperiment „Schallpegelmessung“, S. 81, eingesetzt werden, das einen guten Einblick in die Methodik gibt und Schallpegelmessungen in typischen Alltagssituationen zeigt.

## Bewertung der gemessenen Geräuschpegel

Aus den vielfältigen Messergebnissen wird ein Mittelwert als Messergebnis festgelegt. Die so ermittelten Geräuschpegel werden in die mittlere Spalte der Tab. 1 des Arbeitsbogens M 11: „Von der Hörschwelle zur Schmerzgrenze“ eingetragen. Einem ruhigen Geräuschpegel im Klassenzimmer wird der Begriff „Zimmerlautstärke“ zugeordnet und die Zeile mit dem in der Klasse gemessenen dB (A)-Wert eingetragen. In der gleichen Zeile wird die Bewertung „leise“ vermerkt.

Alternativen:

- Sollten keine Geräte mit Datenspeicherung zur Verfügung stehen, können möglicherweise einfache Schallpegelmessgeräte aus der Physiksammlung der Schule verwendet werden (s. S. 62).
- Steht kein Messinstrument zur Verfügung, kann für den folgenden Unterricht zum Teil auf die Ergebnisse von M 13: „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung“, S. 111, und M 14: „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse“, S. 113, zurückgegriffen werden, das Video „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte“ (S. 71) zeigt die Aufnahmesituationen.

Danach fordert die Lehrkraft die Schülerinnen und Schüler auf Vermutungen über die Höhe der Geräuschpegel des Verkehrs zu äußern: Mofa ca. 50 dB (A), Motorrad ca. 75 dB (A), Pkw ca. 65 dB (A), Straßenbahn/Zug ca. 80 dB (A), Lastwagen ca. 80 dB (A), Rettungswagen ca. 90 dB (A). Die Pegelwerte werden mit einer anderen Farbe als Vergleich ebenfalls in die Tab. 1 von M 10 eingetragen.

Eine Ergänzung kann durch Messungen in Fahrgastzellen der öffentlichen Verkehrsmittel stattfinden.

Anschließend sollen die Schülerinnen und Schüler vermuten, wie hoch der Lärmpegel in verschiedenen Straßentypen ist und die Werte in Tab. 2 von M 10: „Geschätzte und gemessene Messwerte an verschiedenen Straßentypen“ in die rechte Spalte eintragen.

## Diskussion über die Vermeidbarkeit von Lärm

Danach wird mit den Schülerinnen und Schülern erörtert, ob Lärm vermeidbar oder zwangsläufig mit Verkehr verbunden sein muss, Vermutungen: „Lärm ist un-/vermeidbar, wenn ..., Lärm darf/darf nicht entstehen, wenn ...“.

# Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

## M 1: Audio-Dateien Nr. 22 und 23: Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand

Um die Situation der Anwohner entlang von Hauptverkehrsstraßen zu verbessern, werden Lärmschutzwände gebaut. Deren Wirkung wird allerdings stark überschätzt. Dies zeigen die beiden mit identischen Geräten erfolgten Aufnahmen. Der Lärm wurde jeweils in 30 m Entfernung von der Autobahn aufgenommen, zum einen ohne ein dazwischenliegendes Hindernis (22) und zum anderen hinter einer Lärmschutzwand (23). Hier ist es zwar leiser, aber keinesfalls ruhig. Misst man in größerer Entfernung von der Autobahn, nimmt die Wirksamkeit der Lärmschutzwand sogar noch ab.

## M 10: Was ist Lärm – wie wird er gemessen?

Bei M 10.1 handelt es sich um einen Arbeitsbogen mit Informationen zur Geräuschpegelmessung und zur Erläuterung der Gesundheitsgefährdung durch zu hohe Geräuschpegel.

M 10.2. schildert Fallbeispiele, in denen Geräuschbelästigungen entstehen:

**Fall A** zielt darauf ab, dass bei Jugendlichen eine Gesundheitsgefährdung durch zu lautes Musikhören entstehen kann. Dieses geschieht häufig im Zusammenhang mit Verkehrslärm bzw. in einer lauten Umwelt. Die Jugendlichen glauben dem lauten Umweltgeräuschpegel dadurch entfliehen zu können, dass sie ihre Musikgeräte auf sehr hohe Lautstärke einstellen. Hierdurch entsteht jedoch lediglich ein Verdeckungseffekt, der hohe Schalldruck am Ohr kann jedoch stark schädigend sein.

**Fall B** schildert, wie bestimmte Geräuschpegel zur Störung werden können, wenn Ruhebedürftigkeit oder die Notwendigkeit besteht sich zu konzentrieren (mit Sirene fahrende Krankenwagen, quietschende Reifen eines anfahrenden Autos). Während die laute Sirene aber möglicherweise der Rettung eines Kranken oder Verletzten dient, ist das Quietschgeräusch der Reifen eine vermeidbare Störung.

**Fall C** beschreibt die Machtlosigkeit von Fußgängern und anderen Verkehrsteilnehmern gegenüber hohen Geräuschpegeln, die von Kraftfahrzeugen ausgehen. Einige Verkehrsgeräusche, wie z.B. der Klang des bei Jugendlichen so beliebten Kleinmotorrads mit 80 ccm, sind trotz hohen Allgemeinpegels deutlich herauszuhören, was auf eine unnötige und belastende Lärmimmission hinweist. Besonders negativ ist, dass diese Störpegel häufig durch „Frisieren“, d.h. durch nicht genehmigtes Verändern der Auspuffanlage, absichtlich erzeugt werden.

## M 11: Wie laut sind Straßengeräusche?

Das **Materialangebot** ist ein Arbeitsbogen. Er enthält:

**Tab. 1:** „Von der Hörschwelle zur Schmerzgrenze", in diese Tabelle werden in die mittlere Spalte die Ergebnisse der Messungen im Klassenzimmer sowie Vergleichswerte eingetragen und in der rechten Spalte hinsichtlich ihrer Wirkung bewertet. Ein Geräuschpegel, die „Zimmerlautstärke", dient als Ausgangspunkt für alle weiteren Messungen. Dazu kann die Formulierung „normale Lautstärke in einem ruhigen Zimmer" verwendet werden (s. „Informationen zur Geräuschpegelmessung" in M 10: „Was ist Lärm – wie wird er gemessen?").

Hinweis: Die Bewertung „leise" wird hier bei der erstmaligen Begegnung mit Messwerten für die Schülerinnen und Schüler nicht ohne Weiteres möglich sein, da sie durchaus ihren Klassengeräuschpegel als „laut" empfinden können. Die Lehrkraft erläutert, dass von einem ruhigen Zimmer bzw. Zimmerlautstärke gesprochen werden kann, wenn wenige Personen mit gemäßigter Stimme sprechen und keine weiteren lauten Geräuschquellen wie Staubsauger oder Radiogeräte eingeschaltet sind.

**Tab. 2:** „Geschätzte und gemessene Messwerte an verschiedenen Straßentypen", in diese Tabelle werden die im gelenkten Unterrichtsgespräch genannten Schätzwerte für die Geräuschpegel des Verkehrs eingetragen.

Im nächsten Baustein 2: „Geräuschpegelmessungen im Straßenraum", S. 102, wird die Tabelle durch Werte aus eigenen Messungen oder die vorliegenden Messergebnisse aus Berlin-Mitte (S. 113) ergänzt. Des Weiteren sind die Grenzwerte für Lärm einzutragen.

Differenzen zwischen Schätzungen und Messungen können vertiefend erörtert werden.

# Was ist Lärm – wie wird er gemessen?





**Arbeitsaufträge:**

1. Lies die Informationen zur Geräuschpegelmessung durch und unterstreiche wichtige Informationen.
2. Wie werden Geräusche gemessen? Notiere auch beispielhaft zwei Geräuschpegel, die von verschiedenen Quellen erzeugt werden.
3. Notiere, welche Geräusche für den Menschen hörbar sind und in welchen Bereichen mit Schädigungen des Ohres zu rechnen ist.
4. Im Text wird immer von „Geräuschen“ gesprochen – aber was ist denn nun „Lärm“? Versuche den Begriff Lärm zu definieren: Lärm ...

**Informationen zur Geräuschpegelmessung**

Geräusche sind nichts anderes als Schallwellen. Schall entsteht durch die mechanische Schwingung von Teilchen (z.B. der Luft).

Der Mensch nimmt Geräusche sehr unterschiedlich wahr. Einige sind nebensächlich, andere angenehm und wiederum andere sehr lästig, unangenehm oder sogar schmerzend. Einem Menschen fällt es sehr schwer, die Lautstärke eines Geräusches präzise anzugeben. Dazu werden spezielle Geräte benötigt. Geräusche werden in dB = Dezibel gemessen. Hinzu kommt noch, dass tiefe und hohe Töne vom Ohr nicht so gut wahrgenommen werden. Daher hat man die Messeinheit dB (A) eingeführt. Hierbei wird das zu messende Geräusch so dargestellt, wie das menschliche Ohr es hören würde. Die Skala des Hörens reicht von 0 dB (A) = „Hörschwelle“ bis etwa 130 dB (A) = „Schmerzgrenze“. Eine Schädigung des Ohres setzt aber schon lange vor dem Erreichen der Schmerzgrenze ein!

Die Gefahr liegt darin, dass eine Verzehnfachung der Schallintensität, eine Zunahme um 10 dB, immer nur als Verdoppelung der Lautstärke wahrgenommen wird:

Der normale Geräuschpegel in einem ruhigen Zimmer beträgt etwa 25 dB (A). Fährt nun ein Auto am Haus vorbei, steigt der Pegel kurzzeitig auf 45 dB (A): Die Lautstärke vervierfacht sich. Die Schallintensität ist physikalisch gesehen aber schon 100-mal größer als zuvor.

Ein vorüberfliegendes Flugzeug erhöht den Pegel gar auf 95 dB (A). Nun ist es 128-mal so laut wie im ruhigen Zimmer. Die Schallintensität aber ist jetzt bereits 10 Millionen Mal höher als zuvor im ruhigen Zimmer. Bei 90 dB (A) ist mit Schädigungen zu rechnen, wenn der Geräuschpegel wiederholt längere Zeit und ohne vielstündige Ruhepausen auf das Ohr einwirkt. Am schädlichsten sind:

- extrem kurze, aber sehr laute Geräusche (Feuerwerkskörper, platzender Luftballon, Ohrfeige): Durch die Kürze des Reizes merkt der Mensch nicht, wie laut und schädlich das Geräusch wirklich ist. So wird beispielsweise eine Kinder-Schreckschusspistole aus Freude immer wieder abgefeuert, weil man sie als leise empfindet.
- Schädlich sind auch länger einwirkende Geräusche von über 100 dB (A), z.B. beträgt die durchschnittliche Lautstärke in einer Discothek 110 dB (A), direkt vor den Lautsprechern kann sie auch 135 dB (A) betragen.

Die Schädigung durch solche Geräusche beruht darauf, dass sich Zellen im Innenohr verändern, welche für das Hören wichtig sind. Diese Veränderungen sind nicht wieder rückgängig zu machen – Innenohrschwerhörigkeit kann entstehen.

M 10.2

MATERIALBOGEN

# Fallbeispiele

**Arbeitsaufträge:**

1. Lies Dir bitte den Text mit den Fallbeispielen durch und unterstreiche wichtige Informationen.
2. Erkläre, warum es schwierig ist eine allgemeingültige Beschreibung für den Begriff Lärm zu finden.
3. Erläutere, wer in den genannten Beispielen besonders gefährdet ist Hörschäden durch eine Lärmbelastung zu erleiden.
4. Gibt es „notwendigen“ und „vermeidbaren“ Lärm? Schreibe deine Meinung in Stichworten auf.

**Fall A**

Das Bild kennst Du bestimmt: Neben Dir in der Straßenbahn, im Bus oder Zug hat Dein Nachbar einen MP3-Player an. Du fragst Dich: „Wieso hat der die Musik so laut gestellt? Dem muss doch das Trommelfell platzen!“ Du kannst, ohne dich anzustrengen, auf dem Nebenplatz noch gut mithören.

Und wenn Du deinen Sitznachbarn etwas fragst, brüllt der zurück: „Was hast du gesagt?“ Du sagst ihm: „Mach doch mal die Musik leiser, ich höre ja alles mit. Will ich aber nicht!“ Und der Mensch antwortet: „Stört dich die Musik? Versteh' ich nicht. Ist doch super ... Und überhaupt, so laut ist sie doch gar nicht ... Wenn ich sie leiser mache, dann höre ich nur den Krach um mich herum und nichts anderes. Also, wenn's dich stört: Setz' dich doch woandershin!“

**Fall B**

Oder da liegst Du also endlich mal früh im Bett, denn Du schreibst morgen eine Klassenarbeit. Oh je! Gerade wolltest Du einschlafen, da hörst Du von fern sich schneller nähernd die Sirene des Krankenwagens, der vermutlich zum Krankenhaus um die Ecke fährt. Jetzt steht er an der Kreuzung hinterm Haus. Er kommt offensichtlich nicht weiter. Und die ganze Zeit dieses laute Tatütata. Endlich, das Krankenhaus scheint erreicht, denn die Sirene verstummt. Du atmest auf. Also: Schlafen!

Zweihunderteinundvierzig, -zweiundvierzig, -dreiundvierzig ... Plötzlich schreckst Du wieder hoch: Mit quietschenden Reifen fährt ein Auto an.

**Fall C**

Oder Du stehst an der Kreuzung bei der Ampel. Rot. Eine Frau hat gerade eingeparkt und setzt ihr Baby in den Kinderwagen. Vor Dir hält ein 80er-Motorrad. Wie das röhrt! Und das soll „schön“ sein.

Das Baby im Kinderwagen rechts neben Dir fängt auch schon an zu plärren. Dem gefällt das wohl auch nicht. Die Mutter will etwas zum Motorradfahrer sagen, aber im allgemeinen Geräuschpegel des Verkehrs (und unter dem Helm) hört der Fahrer die Frau gar nicht. Er schaut aber zu ihr hin, weil sie wütend mit den Armen gestikuliert. Dann springt die Ampel auf Grün. Die Geräusche der anfahrenden Autos sind so laut, dass Du selbst auch nicht mehr verstehst, was die Frau sagt, obwohl Du direkt neben ihr stehst. Gut herauszuhören war hingegen der „Sound“ des Motorrades ...

# Wie laut sind Straßengeräusche?





**Arbeitsaufträge:**

1. Übertrage bitte die im Klassenraum gemessenen Werte in Tab. 1.
2. Nimm dann in Tab. 2 eine Einschätzung der Geräuschpegel von Verkehrslärm für den jeweils angegebenen Straßentyp vor (mittlere Spalte).
3. Übertrage bitte später, nach erfolgten Messungen, auch die gemessenen Verkehrsgeräuschpegel in Tab. 2 (rechte Spalte).
4. Worin besteht das spezielle Problem des Verkehrslärms?
5. Gibt es „notwendigen" Verkehrslärm?

**Tabelle 1: Von der Hörschwelle zur Schmerzgrenze**

| **dB (A)-Wert** | **Schallereignis** | **Bewertung** (leise, laut, sehr laut, Gefahr) |
|---|---|---|
| 130 | | |
| 125 | | |
| 120 | | |
| 115 | | |
| 110 | | |
| 105 | | |
| 100 | | |
| 95 | | |
| 90 | | |
| 85 | | |
| 80 | | |
| 75 | | |
| 70 | | |
| 65 | | |
| 60 | | |
| 55 | | |
| 50 | | |
| 45 | | |
| 40 | | |
| 35 | | |
| 30 | | |
| 25 | | |
| 20 | | |
| 15 | | |
| 10 | | |
| 5 | | |
| 0 | | |

**Tabelle 2: Geschätzte/gemessene Werte an verschiedenen Straßentypen**

| **Straßentyp** | **dB (A) geschätzt** | **dB (A) gemessen** |
|---|---|---|
| Straße in Einfamilienhaussiedlung | | |
| Sackgasse im Neubaugebiet | | |
| verkehrsberuhigte Wohnstraße (Tempo 30) | | |
| Wohnstraße (Tempo 50) | | |
| Einkaufszentrum (Fußgängerzone) | | |
| Hauptverkehrsstraße | | |
| Fernstraße (Tempo 80 – 100) | | |

BAUSTEIN 2

# Geräuschpegelmessung im Straßenraum

**Inhalt:**

Durchführung von Geräuschpegelmessungen auf der Straße, Vorstellung und Diskussion der Ergebnisse der Geräuschpegelmessungen, Möglichkeiten zur Bekämpfung des Straßenlärms

**Materialien und Medien:**

Versuch 2: Geräuschpegelmessung im Straßenraum (Schallpegelmessgerät, Computer, Drucker, ggf. Aufnahmegerät mit Möglichkeit der Wiedergabe, M 12)
M 12: Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen oder
M 7: Interaktives Bildschirmexperiment „Schallpegelmessung", S. 81 und Computer, ggf. Beamer
M 13: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung und
M 14: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse
M 2: Video: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte", S. 71 und DVD-Spieler
M 11: Wie laut sind Straßengeräusche?, S. 103
M 1: Audio-Dateien Nr. 22 und 23: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand", S. 68 und CD-Player

**Zeitrahmen:**

Ca. 2 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Hinweis zur Sicherheit:**

Um die Sicherheit im Straßenverkehr zu gewährleisten, ist es angebracht die Schülerinnen und Schüler auf die Regeln der Verkehrssicherheit hinzuweisen.

**Messung von Geräuschpegeln**

Es sind für den Versuch 2: „Geräuschpegelmessung im Straßenraum" folgende Vorbereitungen zu treffen: Erklären der Exkursionsunterlagen (topografische Karte, M 12: „Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen"), Gruppenbildung, Erklären der Messmethode und der Geräte, s. S. 62, sowie Durchführen von Probemessungen. Das Interaktive Bildschirmexperiment „Schallpegelmessung", S. 81, vermittelt anschaulich die Messmethode und lässt das Messen üben.

Die Untersuchungen werden durch die Schülerinnen und Schüler gruppenweise als außerschulische Arbeit oder im Rahmen von Exkursionen durchgeführt.

Gemessen wird in verschiedenen Straßentypen. Die Auswahl ist nach lokalen Gegebenheiten zu kürzen oder zu erweitern. Es wird einheitlich zur festgelegten Tageszeit gemessen. Die Messzeit ist bei niedrigeren Klassenstufen und auf Exkursionen auf 10 Minuten, bei höheren Klassenstufen auf 60 Minuten zu begrenzen.

Denkbar ist auch, dass im Rahmen einer Hausarbeit beispielsweise eine 24-Stunden-Langzeitmessung an einer Hauptverkehrsstraße im Wohngebiet durchgeführt wird. Schülergruppen wechseln sich mit dem Gebrauch der Messgeräte ab. Als Straßentypen kommen infrage:

- Wohnstraße in Einfamilienhausumgebung
- Wohnstraße im Neubaugebiet (Sackgasse oder Stichstraße)
- verkehrsberuhigte Wohnstraße
- Geschäfts- oder Einkaufsstraße
- Hauptverkehrs- oder Durchgangsstraße
- Fernstraße

Die Messpunkte werden auf topografischen Karten oder in eigenen Kartenskizzen markiert. Das Protokollieren von markanten Geräuscherlebnissen findet während der Messungen auf dem „Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen“ (M 12) statt.

Fahrzeuge, die den Messpunkt im Messzeitraum passieren, werden gezählt und ebenfalls auf dem Messbogen protokolliert.

Jüngere Schülerinnen und Schüler zählen lediglich die Kategorie „Fahrzeuge“, ältere differenzieren nach Kraftrad, Pkw, Lkw/Busse, Schienenfahrzeuge (Tram, Eilzug).

Nach der Messung werden gegebenenfalls außergewöhnliche Beobachtungen und Geräuschereignisse im Untersuchungsgebiet notiert sowie die Regelung des Verkehrsflusses protokolliert (M 12). Wenn die Möglichkeit besteht, kann der Messpunkt z.B. durch Ton- oder Videoaufnahmen dokumentiert werden.

Hinweise zum Messzeitraum und zur Datensicherung:
Alle Messungen sollten innerhalb einer Woche durchgeführt werden, wobei eine möglichst im Umgang mit dem Messgerät erfahrene Person (Lehrkraft, aber auch Schülerin oder Schüler) die jeweils messende Gruppe vor Ort betreuen kann.

Die Messreihe wird zu Hause oder in der Schule auf einem Computer zwischengespeichert, bevor das Messgerät der nächsten Gruppe übergeben wird.

## Alternative zu eigenen Messungen

Können keine eigenen Messungen durchgeführt werden, so kann mit M 13: „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung“ und M 14: „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse“ gearbeitet werden, die fußweit entfernt vom Sitz des Bundespräsidenten aufgenommen wurden. Die Messungen werden in einem Video: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte“, S. 71, gezeigt.

## Auswertung der Geräuschpegelmessung

Die Schülerinnen und Schüler setzen sich gruppenweise zusammen und werten ihre Ergebnisse aus, ggf. fertigen sie ein Poster an, das im Anschluss auch in der Schule ausgestellt werden kann. Dann tragen alle Gruppen ihre Ergebnisse vor. Für die Gruppenarbeit wird folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

- Darstellung des Untersuchungsgebietes: Markieren der erfassten Straßen und der Messpunkte auf einer topografischen Karte oder Kartenskizze.
- Darstellung der Messergebnisse: Laden der im Computer zwischengespeicherten Dateien und Darstellung der Messwerte auf Monitor oder OH-Projektor, alternativ: Nutzung von bereits vorbereiteten Folien mit den Pegeldiagrammen.
- Darstellung der sonstigen Beobachtungen: Kurzbeschreibung der Beobachtungen (Stichpunkte oder Skizzen zu den erfassten Straßen).

## Diskussion der Begriffe „Verkehrsgeräusche – Verkehrslärm“

Ausgehend von diesen Messergebnissen und den individuellen Geräuscherlebnissen der Arbeitsgruppen diskutieren die Schülerinnen und Schüler die Begriffe „Verkehrsgeräusche“ und „Verkehrslärm“ und versuchen sie gegeneinander abzugrenzen. Zusammenfassend kann Folgendes notiert werden:
Verkehrsgeräusche mit großer Schallintensität entstehen im Wesentlichen durch Fahrzeuge mit Explosionsmotor und ihren Rollgeräuschen. Diese Geräusche werden aufgrund ihrer Intensität von nicht motorisierten Verkehrsteilnehmern häufig als Lärm empfunden. Durch die hohe Kfz-Dichte herrscht in den meisten Straßen ein hoher Geräuschpegel vor, der besonders in Durchgangs- und Fernverkehrsstraßen an den Grenzwert für dauerhafte Gehörschäden (90 dB (A)) heranreichen kann.

## Gesundheitsgefährdung durch Verkehrslärm

Die Schülerinnen und Schüler tragen ihre für bestimmte Straßentypen gemessenen dB (A)-Werte in Tabelle 2 des Arbeitsbogens M 11: „Wie laut sind Straßengeräusche?“, S. 103, ein.

Anschließend verwenden sie arbeitsteilig Messwerte aus Tabelle 1 dieses Arbeitsbogens und bewerten sie im Hinblick auf gesundheitliche Schäden.

Die Bewertung wird vorbereitet durch Einfügen einer

- gepunkteten roten Linie bei 45 dB („Grenzwerte für Lärmpegel in Wohnräumen tagsüber“ laut Empfehlung des DAL und der TA Lärm),
- gestrichelten roten Linie bei 65 dB („Grenzwert für Verkehrslärm in Kern- und Mischgebieten“ laut 16. BImSchV),
- durchgezogenen roten Linie bei 85 dB (zulässiger Höchstwert für laute Arbeitsplätze, Anlegen eines Gehörschutzes, notwendig laut Unfallverhütungsvorschrift der Berufsgenossenschaft).

Zusätzlich kann noch zwischen notwendigem und vermeidbarem Lärm, wie z.B. Krankenwagensirenen oder nicht schallgedämpften Motorrädern, unterschieden werden.

Als Zusatzinformation können z.B. die Grenzwerte für Siedlungsgebiete oder die Immissionsgrenzwerte der TA Lärm in die Diskussion eingebracht werden (s. 2.7: „Lärmschutzrecht“, S. 49).

### Bekämpfung von Verkehrslärm

Mithilfe der Audio-Dateien Nr. 22 und 23 der CD: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand“, S. 68, können die begrenzten Möglichkeiten sekundären Schallschutzes demonstriert werden.

Abschließend sollen die Schüler überlegen, welche weiteren Möglichkeiten es gibt einen gesundheitsgefährdenden Geräuschpegel zu vermeiden. Das Ergebnis der Diskussion kann an der Tafel festgehalten werden:
Da der Straßenlärm überwiegend vom Kfz-Verkehr verursacht wird, ist er durch Maßnahmen wie Tempolimit, Fahrspurverengung, Verkehrsregelung und -beschränkung sowie technische Verbesserungen an den Kraftfahrzeugen so zu beeinflussen, dass gesundheitsgefährdende Geräuschpegel vermieden werden.

## Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

### M 12: Messung von Verkehrsgeräuschen

Der angebotene Erfassungsbogen soll bei der Messung von Geräuschpegeln an den ausgewählten Messpunkten verwendet werden.

Die Schülerinnen und Schüler sollen folgende Punkte notieren:
- Namen der Mitglieder der Arbeitsgruppe
- Ort, Datum, Zeit, Messdauer
- besondere Gegebenheiten am Messpunkt
- die Anzahl der Fahrzeuge im Messzeitraum
- heraushörbare Geräuschereignisse im Messzeitraum und
- die generelle Steuerung des Verkehrsflusses durch Ampelschaltungen, Temporegelungen, besondere Fahrbahngestaltungen oder Regelungen für den ruhenden Verkehr

### Ausfüllen während der Messung:

Ein Mitglied der Gruppe stoppt die Messdauer mit und gibt den anderen jeweils ein Zeichen, wenn ein Messintervall abgelaufen ist.

Bei der Zählung der Fahrzeuge tauchen dann Probleme auf, wenn am Messpunkt sehr starker Verkehr herrscht. Für den Unterricht ist es unerheblich, ob 108 oder 112 Fahrzeuge den Messpunkt passiert haben. Nicht jedes Fahrzeug kann in jedem Falle erfasst werden. Wichtig ist es, die Tendenz zu erfassen: nur Pkw, viel Lkw, nur ab und zu ein Kraftfahrzeug usw. Die Gruppe geht arbeitsteilig vor: Ein oder zwei Schülerinnen und Schüler zählen jeweils eine Straßenseite, jeweils eine Kfz-Art usw. Das Notieren der Geräuschereignisse sollte ebenfalls von ein oder zwei Personen vorgenommen werden. Das Geräuschereignis wird erfasst und sofort wird ein dB (A)-Schätzwert dazunotiert. Auch natürliche Umgebungsgeräusche (Vogelgezwitscher, Bachgurgeln, ...) und weitere ungewöhnliche Geräusche (quietschende Bremsen, Aufjaulen von Motoren, Feuerwehrsirenen, Werbedurchsagen, laute Musik aus Wohnungen, ...) sollten unbedingt notiert werden.

Hinweis: Falls der Platz für die Beobachtungen nicht ausreicht, können auf gesonderten Blättern weiterführende Beobachtungen notiert werden.

**Ausfüllen nach der Messung:**

Die „Beobachtungen zum Straßenverkehr" können zum Schluss festgehalten werden.

Besonders die Erfassung der Länge der Ampelphasen mit der Stoppuhr ist wichtig für die spätere Auswertung der Messwerte, da in der Regel mit der Grünphase für den Fahrzeugverkehr auch der Geräuschpegel deutlich erkennbar ansteigt.

Die Angaben über die Lenkung des Verkehrsflusses können später weitere Hinweise für die Erklärung der gemessenen Werte geben (Faustformel: Je langsamer der Verkehr fließt, desto niedriger sind auch die Geräuschpegel).

**M 13: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung**

Materialangebot A besteht aus einer vereinfachten topografischen Karte, in der die Messpunkte in Berlin-Mitte eingetragen sind. Materialangebot B enthält drei Fotografien sowie drei Kurzbeschreibungen dieser drei Messpunkte.

**Hinweise zur Auswertung:**

Aus der Breite der Straßen und der Verkehrsführung lassen sich schon am Kartenbild Rückschlüsse über die Funktion dieser Straßen ziehen:

- Die Händelallee (Messpunkt 1) ist eine einspurige Einbahnstraße mit Parkspuren an jedem Fahrbahnrand, was darauf hindeutet, dass es sich um eine reine Wohnstraße, Stichstraße oder Erschließungsstraße handelt.
- Die Turmstraße (Messpunkt 3) und die Altonaer Straße (Messpunkt 2) sind jeweils zweispurig in jeder Richtung für den fließenden Verkehr ausgelegt, was ihren Charakter als Durchgangsstraßen verdeutlicht.

Aus der Anordnung der Häuser, dem Baumbestand, der Straßengestaltung und dem auf dem Foto sichtbaren Verkehr lassen sich weitere Rückschlüsse ziehen:

- Das Bild im Hansaviertel (Messpunkt 1) zeigt lediglich ruhenden Verkehr. Die Wohnhäuser haben relativ großen Abstand von der Straße. Sie sind durch hohen Baumbestand vom Straßenrand abgetrennt.
- Bei den Messpunkten 2 und 3 ist viel fließender Verkehr erkennbar. Die Schule (Messpunkt 2) wird vom Verkehr umflossen, was Rückschlüsse auf die Geräuschpegel in den Klassenräumen (z.B. bei Klassenarbeiten) erlaubt. Zwischen Schulgebäude (links) und Straßenrand sind keine größeren Bäume erkennbar. Die Häuser stehen in geringer Entfernung vom Fahrbahnrand. Ebenso beim Messpunkt 3, dort sind in jedem Erdgeschoss Ladengeschäfte vorhanden, was den Charakter der Straße als Einkaufsstraße verdeutlicht.

Eine weitere Beschreibung der Messpunkte ergibt die aus dem protokollierten Verkehrsfluss und den protokollierten Geräuschen:

- Während im Hansaviertel noch natürliche Geräusche wie Vogelgezwitscher heraushörbar sind, wird die Geräuschkulisse der anderen Straßen von den Geräuschen der lauten (und zugleich schweren) Kraftfahrzeuge beherrscht.

## M 14: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse

Das Materialangebot besteht aus drei Pegeldiagrammen der Verkehrsgeräusche, die an den Messpunkten in Berlin-Mitte erstellt worden sind. Es wurde lediglich jeweils nur knapp 2 Minuten lange Messungen typischer Verkehrssituationen vorgenommen. Dies diente der Erstellung des Videos: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte", S. 71, das nicht zu lang sein sollte. Bei eigenen Messungen unbedingt längere Zeiträume beobachten, s.o..

## Hinweise zur Auswertung:

**Messpunkt 1:**
Die Messung in der Händelallee ergibt einen Grundgeräuschpegel von etwa 50 dB (A), der von durchschnittlichen Spitzenpegeln von 55dB (A) überschritten wird. Absolute Pegelspitzen liegen bei 56 dB (A).

Der für eine ruhige Wohnstraße ohne ständigen Kfz-Verkehr hohe Pegel von 50 dB (A) ist in diesem speziellen Fall darauf zurückzuführen, dass die Händelallee zwischen zwei bedeutenden Hauptverkehrsachsen (Altonaer Straße und Straße des 17. Juni) liegt.

**Messpunkt 2:**
Das Pegeldiagramm für den Messpunkt 2 zeigt, dass im Bereich der Schule ein hoher Grundgeräuschpegel von 80 dB (A) während der Grünphase und 75 dB (A) während der Rotphase für die Altonaer Straße vorliegt. Die vereinzelten Spitzen bis 94 dB (A) rühren von vorbeifahrenden Lkws und Bussen her. Der Verkehr beider Richtungen ist etwa gleich laut. Die Dämpfung des Geräuschpegels um 10 bis 15 dB (A) während der Rotphase entsteht lediglich durch die Entfernung der Messzelle zum Gegenverkehr.

**Messpunkt 3:**
Der eben beschriebene Effekt wird noch deutlicher in der Turmstraße (Messpunkt 3). Hier gibt es keinen Kreuzungsverkehr. Die Ampel ist zur Sicherung des Fußgängerüberwegs eingerichtet. Deutlich erkennbar ist der Grundgeräuschpegel von 75 dB (A), der durch die dicht vorbeifahrenden Kraftfahrzeuge erzeugt wird. Spitzenwerte, auch hier durch Lkws und Busse verursacht, reichen bis an 94 dB (A) heran. Relative Ruhe tritt nur während der Rotphasen ein. Da jetzt der Fahrzeugverkehr auf beiden Richtungsfahrbahnen nur kurzfristig zum Stehen kommt, sinkt der Grundgeräuschpegel für kurze Zeit lediglich auf 75 dB (A) ab. Der hohe Pegel rührt daher, dass auch nach Umschaltung auf „Rot" immer noch Fahrzeuge an den Haltebereich heranfahren.

**Zusammenfassung:**
Die Pegelverteilungsdiagramme zeigen die hohe Grundbelastung in den verkehrsreichen Straßen. Die häufigsten Pegel in der Altonaer Straße liegen bei 80 dB (A), in der Turmstraße bei 85 dB (A), die „ruhigen" Werte um 74 dB (A), diese kommen jedoch prozentual nur selten vor.

Die Pegelverteilung in der „leisen" Händelallee deutet darauf hin, dass hier möglicherweise das starke Ansteigen der Pegel beim Vorbeifahren von Pkws subjektiv als viel störender empfunden werden kann, da die kurzfristig lauten Pegel von den Ruhe gewohnten Anwohnern stärker herausgehört werden.

**Alternative:**
Auf der DVD liegt unter M 2 ein Video, S. 71, vor, das die hier gezeigten Aufnahmen wiedergibt und ebenfalls als Unterrichtsmaterial eingesetzt werden kann.

# Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen

**Arbeitsaufträge:**
**Achtung:** Die Messungen sollten möglichst zum vereinbarten Zeitpunkt vorgenommen werden!

1. **Vor der Messung** den oberen Teil des Messbogens ausfüllen.
2. **Während der Messung** bitte besondere Geräuschereignisse unter B notieren (z. B. Sirene, Fehlzündung eines Motors, Kindergeschrei, Vogelgezwitscher etc.).
3. Ferner eine Schätzung der Schallintensität unter B eintragen.
4. Fahrzeuge im Messzeitraum zählen und unter A eintragen.
5. **Nach der Messung** das Beobachtungsprotokoll ausfüllen.
6. Wenn ein Fotoapparat resp. ein Handy mit Fotofunktion zur Verfügung steht, bitte ein Foto vom Straßenleben machen; wenn ein Aufnahmegerät mit Möglichkeit der Wiedergabe zur Verfügung steht, bitte eine „Hörprobe" aufnehmen.

**Messung**
Gemessen durch: Ort der Messung:
Datum: Zeit: Messdauer:
Besondere Gegebenheiten am Messpunkt (z.B.: Fahrbahn aus Kopfsteinpflaster oder Asphalt, Fahrbahn von Schnee oder von Blättern bedeckt, Baustelle, Dauerstau etc.):

| A: Intervall der Messung | Anzahl der gezählten | | | | B: heraus hörbare Geräuschereignisse | dB (A) geschätzt | dB (A) gemessen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Krad | Pkw | Lkw/ Bus | Tram/ Zug | | | |
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | |
| Summe: | | | | | Durchschnitt aller Schätzungen/Messungen | | |
| insgesamt: | | | | | | | |

**Beobachtungen zum Straßenverkehr:**
Der Verkehrsfluss wird gelenkt durch:

**1. Ampelregelung** ja nein
wenn ja: für den Fahrzeugverkehr beträgt die Länge der Grünphase ..... Sekunden
und der Rotphase ..... Sekunden

**2. Temporegelung** ja nein
wenn ja: vorgeschriebene Geschwindigkeit ist ..... km/h

**3. Fahrbahnverengung** ja nein
wenn ja: Hindernisse in Form von aufgemalten Fahrspuren/Versatz der Parkbuchten/Aufpflasterung/Pflanzschalen, die Breite der Fahrspuren beträgt ..... m.

**4. Park- und Halteverbote** ja nein
wenn ja: gültig von ..... bis ..... Uhr

# Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung





**Arbeitsaufträge:**

1. Formuliere Ergebnisse für die Messungen der Verkehrsgeräusche an den einzelnen Messpunkten in Berlin-Mitte.

Für die Aufgabe stehen Dir folgende Informationen zur Verfügung:

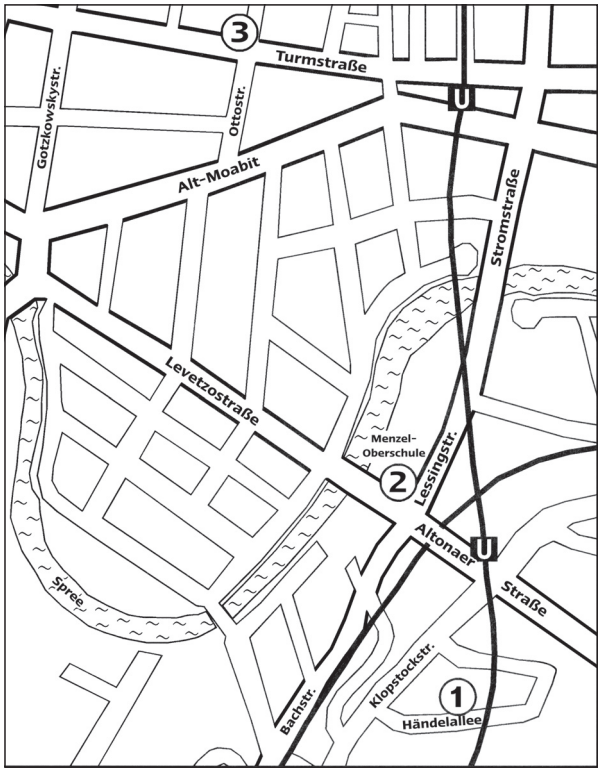
- A: Lage der Messstandpunkte mit Umgebungsstraßen
- B: Fotos von den Messpunkten, Beschreibung der Messpunkte, Anzahl der Fahrspuren, Werte der Kfz-Zählung und besondere Geräusche
- M 14: Pegeldiagramme von Verkehrsgeräuschen an den Messpunkten

Berücksichtige bei der Auswertung folgende Punkte:

- Wie hoch ist der Grundgeräuschpegel? Wodurch entsteht er?
- Wie hoch sind die Spitzenpegel, wie häufig treten sie auf und wie sind sie verteilt? Wodurch entstehen sie?

Beschreibe folgende Faktoren am Messpunkt und überlege, welchen Einfluss sie auf den Geräuschpegel haben:

- Straßenbreite, Anzahl der Fahrbahnen
- Anzahl der Kfz, Art der Kfz
- Art der Straße (Durchgangsstraße, Einkaufsstraße, Wohnstraße ...)
- Umgebung (Parks, andere Hauptverkehrsstraßen, Wohnstraßen o.Ä.)
- Material der Fahrbahn
- Ampeln, Rot-Grün-Phasen
- Vegetation, Jahreszeit, Belaubung




2. Ordne die Messergebnisse in M 11 ein (Tab. 1: „Von der Hörschwelle zur Schmerzgrenze“).

**A. Markierung der Messpunkte in Berlin-Mitte (Kartenausschnitt)**

## B. Informationen zu den Messpunkten

**Messpunkt 1:**
Wohnstraße im Hansaviertel. Eine ruhige Wohnstraße im Grünen. Es gibt im Wohnviertel selbst nur Einbahnstraßen und Sackgassen. Das Viertel ist aber von wichtigen Hauptverkehrsstraßen umschlossen sowie der S-Bahn und einer Zugzufahrt zum Hauptbahnhof.
**Kfz im Messzeitraum:** 0
**Fahrspuren:** 1
**heraushörbare Geräusche:**
Vogelgezwitscher, vorbeifahrende Pkws, Zug in der Ferne

**Messpunkt 2:**
Kreuzung an der Menzel-Schule. Ein Knotenpunkt zwischen der City und dem Norden Berlins. Die Altonaer Straße nimmt in W-O-Richtung den Verkehr zur Stadtmitte auf, die Levetzowstr. führt den Verkehr aus Nordberlin über die im Foto sichtbare Lessingstraße zur West-City und die Bachstr., diese ist ein Schleichweg zum Zooviertel. In der Nähe befindet sich eine Eisenbahnbrücke mit S-Bahn und Zugzufahrt zum Hauptbahnhof.
**Kfz im Messzeitraum:** 48
**Fahrspuren:** 2
**heraushörbare Geräusche:**
hupende Kfz, anfahrende Kfz, vorbeifahrende Lkws und Busse

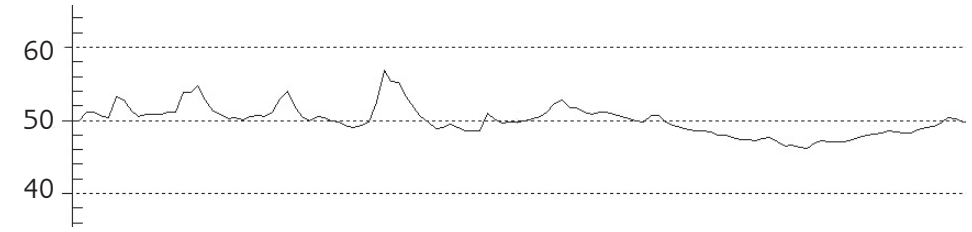
**Messpunkt 3:**
Hauptverkehrs-, Einkaufs- und Wohnstraße. Diese Straße fungiert als Sekundärzentrum. Hier versorgen sich die Menschen aus dem Stadtteil Tiergarten:
Das Rathaus, Kaufhäuser und Einzelhandelsgeschäfte des mittel- und langfristigen Bedarfs sind hier zu finden.
**Kfz im Messzeitraum:** 43, darunter einige Lkws und Busse
**Fahrspuren:** 2
**heraushörbare Geräusche:**
anfahrende Kfz, vorbeifahrende Lkws und Busse

# Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse

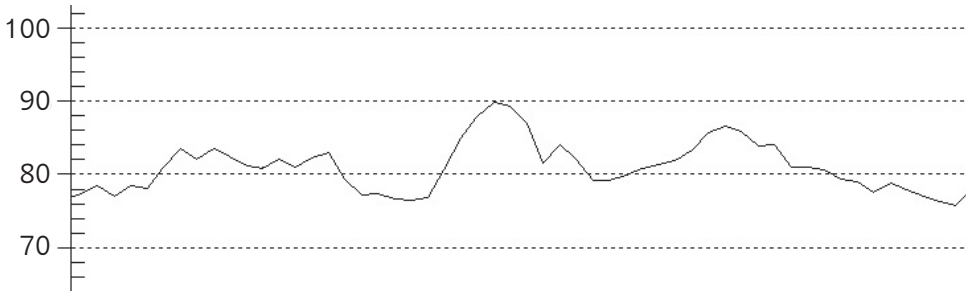




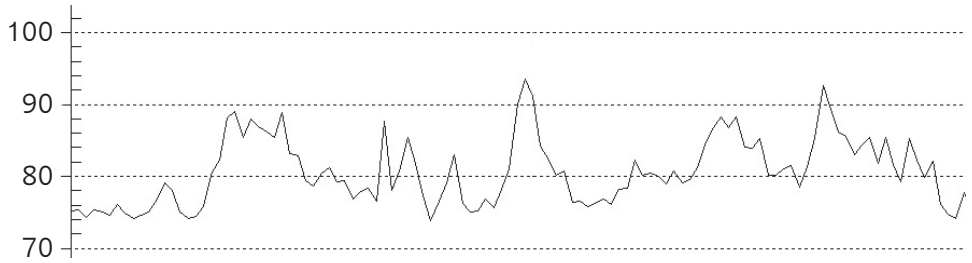
**Messpunkt 1:** Pegeldiagramm Händelallee
Messung am 21. Mai, 9:28 - 9:30 Uhr
Max. 56,9 dB; Min. 46,1 dB; Mittelwert 50,0 dB




**Messpunkt 2:** Pegeldiagramm Altonaer Straße/Lessingstraße
Messung am 21. Mai, 9:04 - 9:06 Uhr
Max. 90 dB; Min. 75,8 dB; Mittelwert 79,1 dB




**Messpunkt 3:** Pegeldiagramm Turmstraße
Messung am 21. Mai, 9:50 - 9:52 Uhr
Max. 93,6 dB; Min. 73,9 dB Mittelwert 80,6 dB



BAUSTEIN 3

# Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt

**Inhalt:**

Raumnutzungskonflikt durch Verkehrslärm, Möglichkeiten und Grenzen des Lärmschutzes, Handeln im politischen Diskurs

**Materialien und Medien:**

M 11: Wie laut sind Straßengeräusche?, S. 103
M 15: Flugblatt: Aufruf zur Demonstration
M 16: Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 – 2 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Konfrontation: Aufruf zur Demonstration**

Am Beispiel von Beschwerden und Forderungen der „Bürgerinitiative Berthastraße" erörtern die Schülerinnen und Schüler den Verkehrslärm als einen Raumnutzungskonflikt. Bei diesem Fall handelt es sich um ein aus tatsächlichen Ereignissen abstrahiertes Beispiel.

Die Schülerinnen und Schüler lesen zunächst das Material M 15: „Flugblatt: Aufruf zur Demonstration". Sie werden dazu aufgefordert zu beschreiben, welcher „Lärm-Tatbestand" für sie erfüllt sein müsste, damit sie an einer solchen Demonstration teilnehmen würden. Dabei beziehen sie auch das Foto zur Abschätzung des Geräuschpegels mit ein.

**Vermittlung: Versachlichung durch Information**

Danach lesen die Schülerinnen und Schüler die Informationen des Materials M 16: „Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße". Sie nennen die unterschiedlichen Funktionen des Straßenraums bzw. die mit diesem Raum verbundenen Nutzungsinteressen. Die Lehrkraft sammelt diese Nennungen und schreibt sie als stichwortartige Liste an die Tafel. Aus diesen Stichworten wird an der Tafel ein Verträglichkeitsraster der Raumfunktionen entwickelt (+ = gut; +/- = bedingt verträglich; - = unverträglich). Da über die Funktion „Arbeiten" in M 16 keine Angaben gemacht werden, wird ihre Bedeutung für das Raster im Unterrichtsgespräch erarbeitet.

| | Betriebe wollen Waren empfangen und versenden (Arbeiten) | Anwohner wollen in der Wohnung ungestört sein (Wohnen) | Mütter/Väter mit Kindern, alte Leute wollen einkaufen gehen (Versorgen) | Kinder wollen spielen (Wohnen/ Erholen) | Alte Leute und Anwohner wollen spazieren gehen (Erholen) | Autofahrer wollen eine schnelle Verbindung (Verkehr) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Betriebe wollen Waren empfangen und versenden** | X | | | | | |
| **Anwohner wollen in der Wohnung ungestört sein** | – | X | | | | |
| **Mütter mit Kindern/alte Leute wollen einkaufen gehen** | +/– | + | X | | | |
| **Kinder wollen spielen** | – | +/– | + | X | | |
| **Alte Leute und Anwohner wollen spazieren gehen** | – | + | + | +/– | X | |
| **Autofahrer wollen eine schnelle Verbindung** | + | – | +/– | – | – | X |

Tab. 15: Raumnutzungskonflikte und Daseinsfunktionen.

In höheren Klassenstufen kann für die Raumnutzungsmuster (s. Klammern in der Kopfzeile der Tabelle) auch der Begriff Daseinsgrundfunktionen eingeführt werden.

Die Schülerinnen und Schüler erkennen aus dem Raster, dass die Verkehrsfunktion neben der Funktion „Arbeiten“ die am häufigsten störende Raumfunktion ist.

Sie formulieren den Raumnutzungskonflikt:
Durch die zunehmende Verkehrsbelastung werden die vielfältigen Funktionen der Berthastraße einseitig durch die Verkehrsfunktion beeinträchtigt. Die Straße verliert damit für viele Betroffene ihre Aufenthaltsqualität.

Es sollte aber auch herausgearbeitet werden, dass die Verkehrsfunktion an sich eine wichtige Raumfunktion und z.T. eine unverzichtbare Voraussetzung für andere Raumfunktionen (z.B. Arbeit) darstellt. Somit können sowohl Vor- als auch Nachteile durch die gute Verkehrslage der Berthastraße entstehen.

Die Höhe des gemessenen Geräuschpegels in der Berthastraße liegt bei 75 dB (A) am Tag und damit über dem Grenzwert für ein reines und allgemeines Wohngebiet [Grenzwert tags 59 dB (A), nachts 49 dB (A)] und auch über denen für ein Kern-, Dorf-, oder Mischgebiet [Grenzwerte tags 64 dB (A), nachts 54 dB (A)].

**Hinweis:**

Diskutiert werden sollte, dass die oben genannten Lärmgrenzwerte nach der Verkehrsschutzverordnung für verschiedene Siedlungsgebiete nur für die Planung neuer Verkehrswege gelten. Dies stellt aber keine rechtliche Grundlage für die Lärmsanierung bei bestehenden Straßen dar. Die Rechtsprechung hat jedoch einen Anspruch auf Lärmsanierung anerkannt, wenn die Immissionswerte 70 dB (A) am Tag und 60 dB (A) in der Nacht überschreiten, s. Verkehrslärm, S. 52. Dieser Anspruch steht jedoch unter dem Vorbehalt der Verfügbarkeit von Haushaltsmitteln zur Sanierung.

Die Schülerinnen und Schüler erkennen durch die Überschreitung der Grenzwerte, dass dringend Maßnahmen gegen den Verkehrslärm ergriffen werden müssen.

Sie überprüfen, inwieweit die Vorschläge der Bürgerinitiative zur Begrenzung des Lärms tatsächlich zu der gewünschten Minderung der dB (A)-Werte führen, indem sie ihre Messergebnisse heranziehen (Gegenüberstellung der Messergebnisse Tempo-30-Straße und Durchgangsstraße; Straße mit und ohne Fahrbahnverengungen).

Sollten keine Messwerte für diese Straßentypen vorliegen, so können der Lerngruppe folgende Informationen gegeben werden:
Geschwindigkeitsbeschränkungen von 50 km/h auf 30 km/h können eine Lärmminderung von 2,5 dB (A) bewirken.

**Konsens/Dissens über durchzuführende Maßnahmen**

Die Schülerinnen und Schüler formulieren, dass die von der Bürgerinitiative vorgeschlagenen „Maßnahmen zur Begrenzung von Lärm und Luftschmutz durch den Verkehr" für viele Betroffene einen Kompromiss darstellen. Sie erkennen, dass erst ein Bündel von Maßnahmen eine wirkliche Verbesserung der Lärmsituation erbringen kann.

In der Schlussphase (Vertiefung) diskutieren sie den Aufruf zur Demonstration als Mittel zur Durchsetzung von berechtigten Bürgerinteressen, hier den Schutz vor dauerhaften Schäden durch Verkehrslärm. Dabei verweist die Lehrkraft darauf, dass eine Verminderung von Verkehrslärm in der Regel nicht durch Einzelmaßnahmen, sondern nur durch verkehrsplanerische Gesamtkonzepte zu erreichen ist. Diese sind aber nachträglich für bereits gebaute Verkehrswege nur schwer durchzusetzen. Hier können Demonstrationen also durchaus ein Druckmittel der Betroffenen sein, um über Zunahme der öffentlichen Resonanz auf entsprechende Missstände eine Handlungsbereitschaft für die Veränderung von politischen Rahmenbedingungen bzw. eine erhöhte Kooperationsbereitschaft der Fachbehörden zu stimulieren.

## Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

**Materialangebot M 15: Aufruf zur Demonstration**

Das Materialangebot besteht aus einem fiktiven Demonstrationsaufruf und einem Foto, das eine nicht genannte Wohn- und Durchgangsstraße zeigt, die fiktiv als „Berthastraße" bezeichnet wird. Alternativ können auch aktuelle Fallbeispiele aus den Medien herangezogen werden.

Das Materialangebot dient dazu, von der technischen Seite des Verkehrslärm-Problems zur gesellschaftspolitischen überzuleiten:

- Verkehrslärm ist ein Raumnutzungskonflikt (vgl. M 16: „Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße"). Im Straßenraum konkurrieren verschiedene Nutzungen, die sich teilweise behindern oder gar ausschließen. Es ist die Aufgabe der Politik für solche Raumnutzungskonflikte durch angemessene Maßnahmen einen Interessenausgleich herbeizuführen. Geschieht dies nicht, bestehen Handlungsspielräume für Bürgerinitiativen. Sie können durch geeignete Maßnahmen auf den politischen Handlungsbedarf aufmerksam machen, z.B. durch Demonstrationen. Als Betroffene bringen die Bürger in die Bürgerinitiativen neben hoher Bereitschaft zum Engagement z.T. auch erstaunliche Sachkenntnis von den örtlichen Problemen ein.
- Aus dem Text des Demonstrationsaufrufs lassen sich Vermutungen ableiten, wie die Bürger bisher versucht haben das Lärmproblem zu lösen (Eingaben an die Stadtverwaltung, Hinweise an die örtliche Presse).
- Aus dem Foto lassen sich konkrete Probleme der Betroffenen formulieren:
  - Zwei Fahrzeugkolonnen in jeder Fahrtrichtung möglich, daher hohes Verkehrsaufkommen, z.T. mit besonders lauten Fahrzeugen (Lkw, Lieferwagen).
  - Noch nicht ausgewachsene Bäume bieten nicht genügend akustischen und optischen Schutz, daher relativ lauter Verkehrslärm in den Wohnungen.
  - Häuser stehen dicht am Fahrbahnrand, daher keine Spielbereiche für Kinder und kein Platz für Radwege (dadurch auch: relativ lauter Verkehrslärm in den Wohnungen).
  - Es sind Ladengeschäfte im Erdgeschoss einiger Häuser der rechten Straßenseite vorhanden, diese benötigen Lieferverkehr.
  - Glatter Asphaltbelag mindert zumindest die Rollgeräusche.

Die genannten Merkmale der Straße lassen auf einen hohen Verkehrsgeräuschgrundpegel von 70 bis 80 dB (A) am Straßenrand schließen (vgl. mit M 12 – 14: „Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen" und „Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte", S. 110).

## M 16: Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße

Das Materialangebot besteht aus einem Arbeitsbogen, der über die Probleme und Wünsche der Anwohner informiert.

Das Material ist fiktiv. Es sollte nach dem Einstieg mit dem Foto aus M 15: „Flugblatt: Aufruf zur Demonstration" in der Informationsphase eingesetzt werden.

Der Text führt die Schülerinnen und Schüler zur Beschreibung der funktionalen Überlastung des Straßenraums im dicht besiedelten Stadtraum bzw. zur Dominanz der Verkehrsfunktion im Straßenraum der Städte. Sie können die Daseinsgrundfunktionen (sich erholen, sich versorgen, arbeiten, Verkehr) aus dem Text heraus benennen und ableiten, dass einige zueinander in Konkurrenz stehen. Da die Funktion „arbeiten" im Text nicht angesprochen wird, führt die Lehrkraft den Begriff ein.

# Flugblatt: Aufruf zur Demonstration

**Die Bürgerinitiative Berthastraße ruft auf zu einer angemeldeten**

## Demonstration

**am Mittwoch, dem 22. März, 16 Uhr. Treffpunkt: Towisstraße/Ecke Berthastraße**

**Alle Bürgerinnen und Bürger sind eingeladen:**
**Demonstriert mit uns**

## in der Berthastraße

**für zwei Stunden**

## gegen

**den unerträglichen**

## Verkehrslärm!

**Nachdem wir vier Jahre lang auf die Missstände erfolglos aufmerksam gemacht haben, wollen wir, dass die Stadtverwaltung jetzt endlich handelt!**

Foto der Berthastraße

# Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße





**Arbeitsaufträge:**
1. Lies Dir bitte das Fallbeispiel durch und schreibe stichwortartig auf, wie der Straßenraum genutzt werden soll (Beispiel: „Kinder wollen spielen").
2. Worin besteht der Raumnutzungskonflikt?
3. Wie kann er gelöst werden?

**Fallbeispiel: Bürgerinitiative Berthastraße**
Eine Bürgerinitiative macht mobil: Sie ruft zur Demonstration auf. Werktags, an einem Nachmittag, also zur Hauptverkehrszeit, soll für zwei Stunden in der Berthastraße demonstriert werden. Warum tut sie das und was will sie damit erreichen?

In erster Linie geht es ihr darum auf – ihrer Meinung nach – jahrelange Versäumnisse in der Verkehrsplanung aufmerksam zu machen. Am Beispiel der Berthastraße, so meint sie, werde das besonders deutlich. Denn diese Straße müsse heutzutage zu viele Funktionen auf sich vereinigen. Sie sei immer schon eine Wohn- und Einkaufsstraße gewesen, für die heutige Verkehrsfunktion „Durchgangsstraße" sei sie jedoch nicht geeignet.

Hier ein sinngemäßer Auszug aus den Beschwerden der Bürgerinitiative:

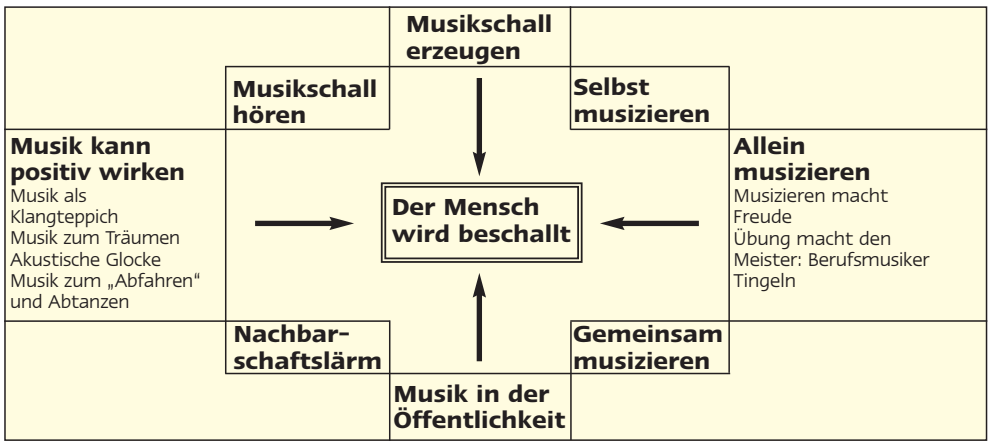
> „Durch die fünf- bis sechsgeschossige Bebauung mit Vorderhaus, Seiten- und Quergebäuden liegt die Wohndichte in der Berthastraße bei mehr als 180 Einwohnern je Hektar (Stadtdurchschnitt etwa 45 E/ha). Das bedeutet auch, dass hier mehr Kinder leben, die Raum zum Spielen, alte Leute, die Ruhe, und viele Menschen jeden Alters, die nach getaner Arbeit einfach Erholung brauchen. Es gibt aber aufgrund der dichten Bebauung weder auf den Wohngrundstücken noch im Viertel selbst genügend Grünflächen zum Spielen oder Erholen. Die Straße verfügt nur über wenige, bei weitem noch nicht ausgewachsene Straßenbäume. Die Bürgersteige sind meist nur zwei Meter breit.
>
> Die Anwohner können in ihren Wohnungen dem Verkehrslärm nicht entfliehen. Beim Einkaufen können sie wegen des hohen Verkehrsaufkommens an nur wenigen Ampeln sicher die Straße überqueren und die Grünphasen sind mit 25 Sekunden für sie viel zu kurz. Das bedeutet für alte Leute wie auch für Mütter und Väter mit Kindern Umwege beim Einkaufen.
>
> Aber anstatt Verkehrsberuhigungsmaßnahmen zum Schutze der Kinder wie der Erwachsenen zu ergreifen, hat die Stadtverwaltung tatenlos zugesehen, wie sich das Verkehrsaufkommen Jahr für Jahr erhöht hat. Die Berthastraße wird seit Eröffnung einer Umgehungsschnellstraße vor fünf Jahren verstärkt als Abkürzung von der Anschlussstelle Nord zum Stadtzentrum benutzt.
>
> Kopfschmerzen und ständige Angespanntheit, das sind einige der Auswirkungen, die auf die unerträgliche Geräuschkulisse der Blechlawine zurückzuführen sind, die Tag und Nacht durch die Berthastraße rollt. Am Tag beträgt der Geräuschpegel mindestens 75 dB (A). Dazu kommen noch die Belastungen durch Abgase und Staubentwicklung.
>
> **Wir fordern daher von der Stadtverwaltung konkrete Maßnahmen zur Begrenzung von Lärm und Luftverschmutzung durch den Verkehr, darunter**
> - Nachtfahrverbote für Lkw im Wohngebiet,
> - Verschmälern der Fahrbahn, breitere Gehwege,
> - Radfahrstreifen auf der Fahrbahn,
> - Anlage von genügend Überquerungshilfen,
> - mehr Bäume und Gestaltung, so dass die Berthastraße wieder an Aufenthaltsqualität gewinnt."

# 5. Bausteine im Zusammenhang mit Musik

*„Musik ist angenehm zu hören, doch ewig braucht sie nicht zu währen."*
*(Wilhelm Busch)*

Musik gehört nach allgemeinen Bekundungen zu den „schönen" Dingen des Lebens. So lapidar diese Feststellung ist, so gewaltig unterscheiden sich die Vorstellungen von Schönheit und Geschmack. Seit jeher vermag Musik einerseits das Leben vieler Menschen angenehmer zu gestalten und sie sogar zur Ruhe (vgl. Baustein 17: „Übungen zum Ruhe finden", S. 208) zurückfinden zu helfen, andererseits kann sie im täglichen Miteinander zu Störungen führen: Sie wird zum Lärm (s.a. Versuch 24: „Belästigung durch Lärm", S. 172). Die Klangeigenschaften von Instrumenten werden in einem anderen Zusammenhang behandelt, bei den „Charakteristika von Musikinstrumenten", S. 154, visualisiert und analysiert mit der Software SOUNDS, S. 85.

In diesem Baustein wird auf die Erzeugung und die Wahrnehmung von Musikschall aus verschiedenen Blickwinkeln eingegangen. Es werden Situationen, in denen Musik/Schall/Lärm bewusst erzeugt wird, sowie potenzielle Reaktionen von Menschen betrachtet, die gewollt oder ungewollt diese Schallereignisse wahrnehmen. Die folgende Strukturskizze hilft, von der allgemeinen Feststellung, dass Musik/Schall/Lärm erzeugt wird, zu differenzierteren Situationsbeschreibungen zu gelangen:




Musik beschallt uns (Strukturskizze).

Das vorliegende Material soll Anregungen für Erkundungen, Experimente, Befragungen usw. geben. Dies sind bewusst nur Anregungen, die im Einzelnen im Hinblick auf Einflüsse von Alter, Wohnumfeld, peer groups u.a. sowie auf die „Musikgeschmäcker“ der Betroffenen konkretisiert werden müssen.

Bei den meisten Fragestellungen gibt es kaum „richtige“ oder „falsche“ Antworten; vielmehr werden Meinungen begründet und ausgetauscht. Die Schülerinnen und Schüler sollen zur Wahrnehmung dessen angeregt werden, wann, wo, wie laut und mit welcher Konsequenz für sich und andere sie Musikschall selber verursachen bzw. ihm ausgesetzt sind. Dabei sollen die Schülerinnen und Schüler letztlich ihr eigenes Verhalten derart verändern, dass sie generell weniger Musikschall produzieren, dafür aber bewusster auswählen und gezielter und differenzierter hinhören.

## Musikschall erzeugen

Auf dieser Ebene ist es noch ohne Belang, ob man selbst musiziert oder einfach das Radio oder ein anderes Beschallungsgerät bedient. Auf alle Fälle sorgt man durch sein Handeln dafür, dass Schall entsteht. Dieser Schall dringt in die Umgebung und wirkt auf vielfältige Weise auf die Menschen ein, die sich dort aufhalten. (Ob dieser Musikschall im Freien oder in geschlossenen Räumen, in der Öffentlichkeit oder in der Privatwohnung u.a.m. erzeugt wird, ist von nachgeordnetem Belang.)

## Musikschall hören

Hierbei wird Musikschall mittels Fernsehen, Radio, CD- oder MP3-Player u.a.m. erzeugt. Man „macht“ passiv Musik. Die Musikkonserve ist ein festes Gefüge und kann nur geringfügig verändert werden (Lautstärke, Anhebung der tiefen Frequenzen). Im günstigsten Fall hat man einen bestimmten Song, zumindest aber eine bestimmte CD mit „lauter tollen Stücken“ bewusst ausgewählt, man will „zuhören“. Die Regel allerdings dürfte eher sein: Man stellt „seinen“ Sender ein, weil er im Allgemeinen die erwünschte Musik ausstrahlt; man hört, aber man hört nicht unbedingt hin.

Was das Thema „Lärm und Gesundheit“ angeht, ist zu unterscheiden zwischen:

- der Wirkung des Schalls, der den Veranlasser und Schallkonsumenten selbst schädigen bzw. gefährden kann und

- der Wirkung des Schalls auf andere – z.B. Familienangehörige, Nachbarn, Straßenbahnfahrgäste –, indem er sie stört oder seltener auch gefährdet bzw. schädigt.

## Musik kann positiv wirken

Musik wird in diesem Zusammenhang benutzt um:

- einen angenehmen „Klangteppich" bei anderen Tätigkeiten zu haben,
- sich ganz seinen Tagträumen hinzugeben und zu entspannen und
- Stress abzubauen, z.B. durch Genuss von extremer Lautstärke oder durch tänzerische Bewegungen als körperliche Reaktion auf musikalische Betonungen.

Die genannten Grundhaltungen beruhen auf Gewohnheiten, bei denen es fließende Übergänge gibt.

### Musik als „Klangteppich"

Manche Menschen hören quasi „von morgens bis abends" Musik: als Geräuschkulisse bei Mahlzeiten, zur Ablenkung von der Eintönigkeit des Autofahrens oder als akustischen Hintergrund am Arbeitsplatz. Nach dem abendlichen Fernsehen schläft man schließlich zu den Klängen desselben Gerätes ein, von dem man am Morgen geweckt wurde. Nichts ist unangenehmer als die Stille. Nicht umsonst wird solche Musik „Musik zum Weghören" genannt. Trotz einer zumeist verhältnismäßig geringen Lautstärke besteht hier ein Lärmempfindungspotenzial für „passiv Mithörende" durch die Permanenz der Beschallung.

### Musik zum Träumen

Füße hoch und Seele baumeln lassen! Gegen tägliche Anstrengungen in Schule und Beruf, gegen die natürliche Müdigkeit u.Ä. setzen manche Menschen ihre Lieblingsmusik ein. Sie gleicht in vieler Hinsicht der allzu leicht verdaulichen Kost der „funktionalen Musik", wie man sie z.B. von Arztpraxen, Banken und Kaufhäusern kennt: eher mittleres Tempo, überwiegend mittlere Lautstärke, ohne Schroffheiten – „weiche Welle" ist angesagt. Im Gegensatz zur funktionalen Musik wird hier nach individuellem Geschmack aufgrund einer positiven Einstellung zum persönlichen Schönheitsempfinden und Wohlbefinden bewusst ausgewählt.

Dies ist übrigens einer der wenigen Bereiche der Musikerzeugung, die kaum zu Konflikten mit anderen Menschen führen. Das liegt zum einen an der verhältnismäßig geringen Lautstärke und zum anderen an der Neigung dieses Hörverhalten eher allein bzw. in der häuslichen Umgebung für einen begrenzten Zeitraum zu praktizieren.

### Musik zum „Abfahren"

Dient Musik manchen Menschen als Beruhigungsmittel, setzen andere sie gerade zum Ausleben ihres Temperaments und ihres Bewegungsdrangs ein. Entsprechend ausgesuchte Musik reizt zum Mitgehen, zur Bewegung an allen Extremitäten. Das musikalische Zeitmaß findet in regelmäßigen körperlichen Gebärden ihre Entsprechung. Man reagiert zuerst auf den sogenannten „schweren Taktteil", auf den dumpfen Schlag der bass drum, spürbar bis in die Solarplexus-Gegend. Andere Rhythmen und Nebenstimmen fordern vielfach den ganzen Körper zu großräumiger und ausdauernder Bewegung auf.

Den Abbau von Stress und das Abreagieren von Spannungen durch Tanzen kann man gewinnbringend für Körper und Geist auch bei geringerer Lautstärke erzielen.

**Akustische Glocke**

Der Wunsch von manchen Jugendlichen Musik mit großer Lautstärke zu hören, ist eine tägliche Erfahrung. Befragt man sie nach ihren Empfindungen dabei, erhält man meist wenig präzise Antworten. Dennoch ergeben sich Gemeinsamkeiten:

- Ab einer gewissen Lautstärke setzt eine Verdrängung der umgebenden Welt ein. Man entrückt der Realität und gelangt für eine begrenzte Zeit in eine „angenehme Übereinstimmung von Körper und Geist" mit der „wunderbaren" akustischen Reizüberflutung.

  Allerdings: Dass die physiologisch schädigende Wirkung der Lautstärke nicht aufgehoben wird, bleibt häufig unbeachtet.

- Bei einer bestimmten Anhebung der Lautstärke werden auch leisere musikalische Nebenstimmen heraushörbar. Man ist dann vorübergehend in der Lage andere noch lautere Stimmen wegzufiltern. Man vernimmt dadurch einen vielfältigeren Gesamtklang.

Typische Orte des körperlichen Auslebens mit Musik sind Discotheken und spezifische Konzerte. Zwischen beiden gibt es Ähnlichkeiten, aber auch Unterschiede.

In der Discothek trifft man sich vor Ort mit Freunden, man macht neue Bekanntschaften. Man will sehen und gesehen werden; neben der Musik ist mitunter der Rückzug in eine Gesprächsecke wichtig.

Es gibt viele Arten von Konzerten, wie z.B. Live-Auftritte der Lieblingsidole, Rockkonzerte im Jugendclub, Weihnachtskonzerte in der Gemeinde, Vorspielabende von Geschwistern in der Musikschule.

Das Konzert selbst war ursprünglich auf „Zuhören" konzipiert. Spätestens seitdem Megastars vor Wänden von aufgetürmten Riesenlautsprechern zur Großraumbeschallung auftreten, steht die Musik bei Konzerten dieser Art paradoxerweise nicht mehr im Vordergrund. Das multimediale Spektakel ist ein vielschichtiges Gemeinschaftserlebnis par excellence. Die Gemeinde der Gleichgesinnten ist unter sich. „Dabeisein" ist alles, als anonymes Mitglied einer großen Schar von „Kennern". Hier wird klar, dass außermusikalische Faktoren bei der Bewertung dieses Verhaltens wichtig sind.

Sowohl beim Disco- als auch beim Konzertbesuch empfindet man einen deutlichen und unbestreitbaren Lustgewinn, der sich emotional, aber auch körperlich zeigen kann (Blutdruck, Hormonausschüttung u.a.). Gleichzeitig wird das Gehör in manch einem Live-Konzert durch Dauerschall von über 110 dB stärker gefährdet als in fast jedem anderen musikalischen Umfeld.

Bei den extremen Lautstärken, wie sie selbst in geschlossenen Räumen bei vollem Bewusstsein und unter enormem gerätetechnischen Aufwand betrieben werden, ist der Streit der Veranstalter von Großkonzerten mit der Nachbarschaft geradezu vorprogrammiert. In den wärmeren Jahreszeiten werden die Probleme durch Open-air-Konzerte potenziert. Hier stoßen handfeste finanzielle Interessen von Veranstaltern und um Absatz ihrer CDs bemühten Bands – mitsamt den Hunderten oder Tausenden von zujubelnden Jugendlichen – auf nicht minder ernst zu nehmende Freizeit- und Nachtruhebedürfnisse von Unbeteiligten, die nicht selten auch in einer Entfernung von 2.000 Metern selbst bei geschlossenen Fenstern ein Konzert – zumindest die Bassstimme und die bass drum – bis zum letzten Akkord miterleben.

## Selbst musizieren

Man erzeugt selber unmittelbar Musikschall. Dies kann in eher traditionellen Bahnen verlaufen, z.B. in Form von täglichen Übungen für den Geigen- oder Klavierunterricht. Es kann im Sinne des gemeinschaftlichen Musizierens bei der Chorprobe oder Bläsergruppe sein oder kann öffentlich und halböffentlich im U-Bahnhof oder im Musikschuppen ablaufen. Die Klangerzeugung kann unter mechanischer Vermittlung rein akustisch erfolgen (z.B. Klavier, Trompete, Saxophon, Schlagzeug, Harfe) oder sie kann über elektromagnetische Tonabnehmer (E-Gitarre) oder gar rein elektronisch (Heimorgel, Keyboard) zustande kommen.

## Allein musizieren

### Musizieren macht Freude

Es ist meist ein freudiges und selbstbestätigendes Gefühl nicht nur Schall zu erzeugen, sondern Klang zu gestalten. Klang besitzt Anfang und Ende, enthält Form und regt zu sinnstiftender Interpretation an. Musizieren ist lange nicht nur das Drücken einer Taste, das Schließen von Fingerlöchern, das Öffnen von Ventilen. Musizieren fängt als harte Arbeit in den eigenen vier Wänden an, als Kampf mit der eigenen Unfähigkeit und mit dem bloßen Ziel vor Augen „schöne“ Klänge zu produzieren.

### Übung macht den Meister

Übung macht den Meister: Tonleiter auf und ab, Wiederholungen scheinbar ohne Ende, Gesangskoloraturen bis in extreme Lagen. Am schwierigsten zu meistern sind sowohl die filigranen, leisen Stellen als auch die bravourösen, lautesten Partien. Kurze Passagen werden unermüdlich probiert, korrigiert, einstudiert.

### Berufsmusiker

Berufsmusiker werden oft beneidet, dass sie sich der Realisation klingender Schönheit widmen. Anders betrachtet: Ihr stetes Streben ist es regelmäßig sich und andere zu beschallen. Während Konzertbesucher lediglich sporadisch und Nachbarn nur gedämpft die Schallproduktion vernehmen, strapazieren Berufsmusiker durch die Regelmäßigkeit des Probens und die besondere Nähe zum Klangereignis gerade ihr eigenes Gehör intensiv.

Nicht selten sieht man Musiker mit Ohrstöpseln im Umfeld von Blechbläsern und Kesselpauken.

Besonders im Bereich der elektronisch verstärkten Rockmusik setzen sich die Künstler oft jahrelang sehr großen Schallpegeln aus. So wurde beispielsweise bei der Tournee der „Rolling Stones“ 1995 in Deutschland berichtet, dass die Fernseher in ihrem Hotel elektronisch umgerüstet werden mussten, damit sie bei ihrer Lärmschwerhörigkeit dem Programm überhaupt noch folgen konnten.

### Tingeln

Keine Profis, aber doch „vom Fach“ sind viele Musikanten, die tagaus, tagein ihr Können mit einem Nebenverdienst verbinden. Anfänglich macht es noch Spaß, doch mit der Routine schiebt sich der eigentliche Zweck in den Vordergrund: Man verdient damit Geld. Ihr Tätigkeitsspektrum ist enorm: Es reicht vom Gelegenheitspianisten bis hin zum bunten Allerlei der Entertainer, die z.B. vor Kaufhäusern oder in U-Bahnhöfen ihre Musik feilbieten.

## Gemeinsam musizieren

Das gesellige Musizieren mehrerer Gleichgesinnter ist ein sinnliches Erlebnis, das sehr geschätzt wird. Gerade im Laienensemble zeigen sich starke Ausprägungen von körperlichem sowie seelisch-geistigem Lustgewinn bei gelungenen Interpretationen – ob mit oder ohne Publikum. Selbst lauter Schall wirkt oft weniger störend, solange er akustisch (und nicht elektronisch) erzeugt wird.

Was in ursprünglichen Kulturen selbstverständlicher Bestandteil von Ritual und Unterhaltung gleichermaßen war, erlebte z.B. zu Beginn des 20. Jahrhunderts eine Renaissance in der (später durch den Nationalsozialismus ideologisch vereinnahmten) Wandervogel-Bewegung: Gesang, Spiel und Tanz.

Analog dazu kommen heute Rockbands – in unzähligen Garagen und Kellern – grundsätzlich zu ähnlichen Erlebnissen. Dabei produzieren sie jedoch oft mehr Musik/Schall/Lärm als 100 Geigen.

## Nachbarschaftslärm

Wenn Menschen in einer Wohnung zusammenleben, gibt es meistens Möglichkeiten der Absprache, wie man die verschiedenen zeitlichen und geschmacklichen Musikinteressen der Mitbewohner ertragen kann, unbenommen insbesondere von der Lieblingsmusik der verschiedenen Generationen.

Dringt die Musik aus Nachbars Wohnung in das eigene Quartier, liegen die Dinge oft anders. Die familiäre Situation entfällt und das nötige Verständnis für anders gelagerte Bedürfnisse (z.B. Tagesrhythmus) fehlt womöglich ganz. Lehnt man in einer solchen Situation auch noch den vernommenen Musikgeschmack innerlich ab, so kann die Musik nachhaltig stören, auch wenn sie letztlich leise ist.

Obgleich man häufig ganz gern auf die hörbare Musik des Nachbarn „verzichten“ würde, kommt es trotzdem vergleichsweise selten zum richtigen Streit, sei es durch verbale Auseinandersetzung oder vor Gericht. Wenn es aber doch dazu kommt, liegt dies meistens an der Lautstärke, bei der die Musik zudem oft häufiger, über längere Zeit und/oder insbesondere zur Zeit der gesetzlich geschützten Nachtruhe vernehmbar ist. Gegen elektronisch geregelte Lautstärke lässt sich immer etwas tun – wenn man nur willens ist. Schwieriger wird das bei den traditionellen, akustischen Instrumenten.

Einen Sonderfall bilden die von vielen Jugendlichen gebildeten Rockbands unterschiedlichster Ausprägung und Güte. Die eigene Wohnung ist viel zu klein und zu hellhörig, für die Räume der Schule bekommt man keinen Schlüssel, die Kirchengemeinde kann nicht auf alle Wünsche eingehen und der Jugendklub steht nur bedingt zur Verfügung. Also, wohin denn bloß mit der Band?!

Die allermeisten Stereoanlagen in deutschen Jugendzimmern dürften so eingestellt sein, dass die tiefen Frequenzen (Bässe) ständig elektronisch angehoben werden. Nur dadurch – so meinen die Jugendlichen – kommt die Musik voll zur Geltung. Viele, sogar sehr viele der Störungen und Konflikte im Wohn- und Hausbereich ließen sich allein schon durch Drosselung der Tieftöne vermeiden. Beim Regeln der Klangfarbe werden häufig neben den Bässen auch die hohen Frequenzen angehoben, was die Wiedergabe der Obertöne mancher Instrumente etwas brillanter erscheinen lässt. Diese Töne stören andere Menschen weniger als die Bässe, denn sie sind kurzwellig und werden leichter von Gardinen, Tep-

pichen, Wänden u.Ä. gedämpft. Ferner betreffen sie einen Frequenzbereich, den Menschen etwa ab dem 40. Lebensjahr zunehmend weniger hören können. Bei der Bewertung von Musikschall als Lärm spielen oft subtile Einstellungen eine wichtige Rolle. Dabei ist Musik häufig nur äußerer Anlass zur emotionalen Entlastung bei zwischenmenschlichen Problemen.

## Musik in der Öffentlichkeit

Auch in der Öffentlichkeit ist man unentwegt fremdem Musikschall ausgesetzt. Neben Verkehrslärm und Baulärm befindet man sich oft unter einer „Musikschalldusche“: Vom Geziepe des Ohrhörers am MP3-Player fünf Sitze weiter im Bus über unentrinnbare, penetrante Handy-Klingeltöne mit Lieblingsmelodien in unsäglich schlechter Klangqualität und „Entspannungsmusik“ auf der Toilette im Flughafen bis hin zu den Klangkämpfen konkurrierender Anbieter in der Einkaufsmeile leben wir in einer Zeit der allgegenwärtigen „akustischen Umweltverschmutzung“.

Problematischer wird es bei Volksfesten, Gartenpartys und anderen Situationen, bei denen der Musikschall an Grundstücksgrenzen nicht haltmacht. Es ist verständlich, dass diese Anlässe zu den Konfrontationen gehören, die sogar vor Gericht ausgetragen werden können.

BAUSTEIN 4

# Mein musikalischer Tageslauf

**Inhalt:**

Wahrnehmung von Hintergrundmusik, Vielfalt, Dauer und Intensität musikalischer Beschallung, Auswirkungen der Beschallung auf Stimmung, Konzentration und Aktivitäten

**Materialien und Medien:**

Versuch 3: Hintergrundmusik bei der Arbeit (CD-Player o.Ä., Hintergrundmusik)
M 17: Protokoll eines Musikalltages
Versuch 4: Musikalische Begegnungen im Alltag

**Bezug zu anderen Bausteinen:**

Ähnliche, aber z.T. weitergehende Beobachtungen und Argumente werden bei der Auswertung zum „Fingerlabyrinth" dargestellt (Versuch 29: „Beeinflussung des Lernerfolgs durch Musik", S. 184).

**Zeitrahmen:**

Will man das Protokoll quantitativ/statistisch auswerten, sollte man ca. 2 Unterrichtsstunden und entsprechende Nachbereitung (Niederschrift, Folie o.Ä.) einplanen. Die qualitative/exemplarische Auswertung ist spontaner und meist eindrucksvoller und ist ggf. in einer Unterrichtsstunde zu schaffen.

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Versuch zur Wahrnehmung von Hintergrundmusik als Einstieg und zur Sensibilisierung für das Thema**

Mit einem verdeckten Experiment (Versuch 3) zur Hintergrundmusik bei der Arbeit wird der Baustein begonnen:

Ohne das Experiment anzukündigen wird eine Still-Arbeitsphase in einem beliebigen Fach hierfür genutzt. Während des Unterrichts läuft leise Hintergrundmusik mit bekannten „Evergreens" ab ohne anzusagen, warum dies geschieht. Nach ca. 15 – 20 Minuten schreiben die Schülerinnen und Schüler auf, welche Stücke gespielt wurden bzw. wie die Musik auf sie wirkte.

Natürlich wird man die Schülerinnen und Schüler auf den ungewöhnlichen Umstand hinweisen müssen, dass Musik während der Still-Arbeit abgespielt werden soll, doch sollte Fragen nach dem Sinn dieser Maßnahme geschickt ausgewichen werden.

Das Experiment muss nicht am Anfang einer Stunde stehen, doch sollten wenigstens die schriftlichen Aufzeichnungen der Schülerinnen und Schüler zu den gehörten Titeln und/oder zu ihren Empfindungen dazu unmittelbar im Anschluss an die Hörphase erfolgen. Die Besprechung der Ergebnisse und insbesondere die Erörterung des eigenen Hörverhaltens bei Hausaufgaben wird bei der späteren Analyse (S. 130) aufgegriffen. Zwei Versuche aus dem Baustein 13: „Lärm stört", S. 183, können zur Demonstration der Beeinflussung der Konzentration (Versuch 28, S. 184) und des Lernerfolgs (Versuch 29, S. 184) durch Musik herangezogen werden.

Zu bevorzugen ist bei diesem Experiment auf jeden Fall Musik mit rein instrumentaler Bearbeitung ohne Gesang und Liedtext. Vor der Durchführung des Experiments ist es erforderlich entsprechende Aufnahmen zu besorgen. Die Auswahl der Musikstücke sollte auf das Alter, den Geschmack usw. der Schülerinnen und Schüler zugeschnitten sein. Entsprechende Sorgfalt bei der Zusammenstellung einer abwechslungsreichen Tonkassette dürfte sich in differenzierteren Ergebnissen auszahlen. Musik dieser Art spielen manche Rundfunksender, oft auch ohne Ansage. In gut sortierten Musikgeschäften findet man leicht geeignete CD-Titel, z.B. unter dem Stichwort „Easy Listening", „Musik zum Träumen". Im Bedarfsfall kann man sogenannte „Sampler"-CDs einsetzen („Best of ...", „Hits der 90er" u.a.m.), die jedoch häufig den Nachteil haben, dass sie Originaltitel mit Gesang enthalten.

Das Experiment soll die Schülerinnen und Schüler für die Thematik der Lernsequenz sensibilisieren. Zum einen werden sie merken, dass leise Musik bei entsprechender Konzentration auf andere Tätigkeiten kaum wahrgenommen wird, außer wenn eine besondere Vertrautheit des Titels, eine starke Rhythmik oder andere Besonderheiten vorherrschen. Zum anderen sollten wenigstens einzelne Schülerinnen und Schüler bemerken, dass selbst leise Musik in bestimmten Situationen als störend empfunden werden kann.

Viele Jugendliche haben z.B. bei der Erledigung ihrer Hausarbeit stets Musik im Hintergrund, jedoch selten laut. Einige haben keine guten Erfahrungen mit ihrer Konzentration, wenn eine Geräuschkulisse vorhanden ist. Selbst Befürworter von Hintergrundmusik bestätigen, dass die Hausaufgaben mit Musik mitunter länger dauern und auch mehr Fehler aufweisen. Insbesondere bei Vokabellernen und bei gezielter Testvorbereitung ist Hintergrundmusik häufig wegen der Ablenkung unerwünscht. In bestimmten Situationen schützt sich der Schallverursacher also selbst.

Bei der Auswahl der Wiedergabegeräte soll man nicht voreilig zum kleinen tragbaren CD-Player greifen. Größere Lautsprecher, wie sie z.B. häufig in Musikfachräumen vorhanden sind, bieten ein größeres Frequenzspektrum für die Klangübertragung. Dies hat für das Experiment den Vorteil, dass die Aufnahme „runder" klingt und – gerade im leisen Bereich – längere Zeit als „angenehm" empfunden werden kann als die eher „quäkende" Wiedergabe im portablen Gerät. Man schalte ferner nach Möglichkeit die Bass- und Höhenanhebung aus. Sollte der Verstärker über eine sogenannte „Attenuator"-Taste (auch mit der Aufschrift „Dämpfung" o.Ä.) zur Absenkung der Gesamtlautstärke verfügen, benutze man diese Einstellung. Eine eventuell vorhandene „Loudness"-Taste soll ausgeschaltet werden, damit der Klang neutral bleibt.

## Musikalische Begegnungen im Alltag: eine Bestandsaufnahme

Zur Ermittlung einer Bestandsaufnahme möglichst vieler Musikereignisse, denen Schüler ausgesetzt sein können, wird im Versuch 4 M 17: „Protokoll eines Musikalltags“ eingesetzt:

Am Ende der Unterrichtsstunde wird M 17 verteilt und die Bearbeitung als Hausaufgabe erläutert.

Die Schülerinnen und Schüler registrieren einen (beliebigen!) Tag lang – vom Aufstehen, z.B. mit dem Radiowecker, bis zum Einschlafen, beispielsweise bei Musikvideos im Fernsehen – ihre „Erlebnisse“ mit Musikschall: z.B. Uhrzeit, Art der Musik, Quelle (Singen in der Dusche, Musik vom MP3-Player, Posaune üben, Beschallung im Kaufhaus u.a.m.), Dauer, Lautstärke. Um breiter gestreute Eindrücke zu erhalten, sollen einige Schülerinnen und Schüler einen Wochenendtag mit Discothekenbesuch, andere einen „normalen Arbeitstag“ für die Protokollierung wählen.

Bis diese Aufgabe alle Schülerinnen und Schüler erledigt haben, können einige Tage vergehen.

Je umfassender die Bestandsaufnahme von Musikereignissen durch die Schülerinnen und Schüler ist, desto differenzierter werden die Diskussionen auch in den folgenden Lerneinheiten sein. Es ist wichtig, dass auch kleinere, vermeintlich unbedeutsame Klangphänomene erfasst werden, z.B. das Radio im Schulsekretariat, Boom-Boxes im vorbeifahrenden Auto, das Pfeifen des Nachbarn auf der Veranda. Das Protokoll soll im Laufe des Tages und nicht abends aus dem Gedächtnis heraus ausgefüllt werden. In erster Linie sollen wirklich nur „musikalische“ Ereignisse protokolliert werden. Nach Absprache können aber auch andere Schallquellen einbezogen werden, etwa Vogelgezwitscher, des Nachbarn Rasenmäher u.a.

Der Protokollbogen enthält zum einen Rubriken über Art und Quelle der Klangereignisse und zum anderen solche für spontane und emotionale Wertungen. Die Reflexionen über die heterogenen Erlebnisse und deren Bewertung durch Klassenkameraden sollen den Blick der Schülerinnen und Schüler für die eigene Rolle in dem Wechselspiel von Schallerzeugung und Schallrezeption schärfen. So soll auch klar werden, dass der eigene Unmut über eine unerwünschte Konfrontation mit fremdbestimmter Musik dem Unbehagen eines Außenstehenden über Musik gleichen kann, die man selber verursacht.

In den beiden folgenden Bausteinen dürfte es immer wieder Anlässe geben auf die Protokolle zurückzugreifen und zwar sowohl in Bezug auf Art und Häufigkeit der Begegnungen mit Musikschall als auch hinsichtlich ihrer emotionalen Bewertung.

Das Protokoll kann auch in anderen Zusammenhängen eingesetzt werden. So kann man die Schülerinnen und Schüler mithilfe der Protokollergebnisse zur selektiven Auseinandersetzung mit der funktionalen Musik (leise Musikberieselung an verschiedenen Orten, S. 145), mit dem Thema „Musik und Werbung“ oder zur Beobachtung der Reaktionen anderer auf eigenes Musikverhalten anregen. Eine erstaunliche Entdeckung war es für Schülerinnen und Schüler, dass von ihnen selbst gewählte Musik nicht in allen Situationen angenehm klang.

## Analyse der Vielfalt musikalischer Beschallung

In der folgenden Stunde werden die Eintragungen in das „Protokoll eines Musikalltags“ ausgewertet.

Im fragend-entwickelnden Unterrichtsgespräch sollen dabei folgende Unterscheidungen herausgearbeitet werden:

- selbst produzierter und fremdbestimmter Musikschall,
- Auswirkungen von Lautstärke, Musikart u.a. auf eigene Tätigkeiten (z.B. Erledigung von Hausaufgaben, s. Baustein 13: „Lärm stört“, S. 183) und auf eigene Befindlichkeiten
- sowie die Befindlichkeiten anderer bei der Rezeption von Musikschall.

In der Regel wird das Gespräch der Strukturskizze „Musik beschallt uns“ (S. 121) angelehnt sein und sollte ähnliche Differenzierungen herausstellen.

Die Reaktionen der Schülerinnen und Schüler sind äußerst unterschiedlich. Teilweise ist dies für sie kein Thema und einige hören überhaupt keine MP3, während andere sehr darauf ansprechen und nahezu ständig einen Hörer im Ohr haben. Laut ist häufig diejenige Musik – anderer –, die sie selbst als nicht schön bewerten. Vielfach staunen sie darüber, wie oft sie ungesteuert von Musik berieselt werden, was alles auf sie einströmt und manchmal auch über ihr eigenes zeitliches Ausmaß des Musikgenusses.

Name: . . . . . Wochentag/Datum: . . . . . .

# Protokoll eines Musikalltags

| Uhr-zeit | Art der Musik (z.B. Rock, Pop, Rap, Heavy Metal, Klassik, Ethno) | Quelle (z.B. Radio, CD- oder MP3-Player, Lautsprecher im Kaufhaus, Geschwister, Nachbar, selbst musizieren) | Musik, der man sich selbst aussetzt | Musik, der man ausge-setzt ist | Dauer | Lautstärke leise 1 2 3 4 5 laut | Wie würdest Du das Gehörte einstufen? Musik ◄► Lärm | Beschreibe in Stichworten Deine Empfindung bei dieser Musik (ggf. auf Extrablatt): |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |
| | | | | | | 1 2 3 4 5 | | |

BAUSTEIN 5

# Musiklärm und Konflikte

**Inhalt:**

Erkundung konfliktträchtiger „Lärmorte“, Konflikte zwischen Schallenden und Beschallten, Musikausübenden und ihrer Umwelt

**Materialien und Medien:**

M 18: Vorschläge für Arbeitsaufträge zum Thema: Konfliktpotenziale bei Lärm
M 1: Audio-Dateien Nr. 16 – 21: „Trompetenübung“, „Übung mit dem Kornett“, „Gesangsübung“, „Arie der Li`ú“, „Klaviersonate professionell gespielt“ und „gespielt von einer Schülerin“, S. 67 und CD-Player
M 19: Brief von Felix Mendelssohn an seine Schwester Fanny Hensel

**Zeitrahmen:**

Ca. 4 – 6 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

In einem Projekt von ca. 4 – 6 Unterrichtsstunden werden die komplexen Situationen, Probleme sowie einige Lösungsmöglichkeiten in Bezug auf das Zusammenleben von Erzeugern von Musikschall – hier insbesondere von ausführenden Musikern – und ihren Nachbarn untersucht.

Mehrere Schülergruppen sollen sich im Laufe eines Projekts auf bestimmte Teilgebiete der Musik-/Lärmproblematik spezialisieren. Einige mögliche Vorschläge für Arbeitsaufträge zum Thema „Konfliktpotenziale bei Lärm“ (M 18) sind vorbereitet. Das Materialangebot besteht aus fünf Arbeitsaufträgen:

- Arbeitsauftrag 1 zielt auf übergeordnete Baumaßnahmen, während
- Auftrag 2 sich auf den Bereich der einzelnen Wohnung bezieht.
- Mit dem Auftrag 3 sollen Möglichkeiten der Schallminderung bei professioneller Musikausübung erfragt werden.
- Der Auftrag 4 zielt auf musizierende Jugendliche und
- der Auftrag 5 beinhaltet Fragen nach etwaigen rechtlichen Reglements für Straßenmusikanten.

Die Aufträge können nach Belieben abgewandelt und ergänzt werden.

Je 3 – 5 Schülerinnen und Schüler bilden eine Gruppe, dabei ist darauf zu achten, dass jede Gruppe mindestens jemanden enthält,

- der es beherrscht, Verhandlungen am Telefon zu führen,
- die anderen Gruppenmitglieder motiviert Institutionen (z.B. Bauamt, Gesundheitsamt, Baufachgeschäfte) aufzusuchen und
- die sprachliche Kompetenz besitzt, entsprechende Gespräche mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern dieser Institutionen zu führen.

**Ablauf des Projekts:**

Zielsetzung und Arbeitsaufträge werden im Plenum besprochen. Zur Planung ihrer Vorgehensweise, zur Besprechung ihrer Aktivitäten und zur Auswertung ihrer Ergebnisse erhalten die Schülerinnen und Schüler ca. 2 Unterrichtsstunden für ihre Gruppenarbeit. Es muss jedoch allen Beteiligten klar sein, dass Teile der Arbeitsaufträge nur außerhalb der Schulzeit zu erledigen sind. Gruppenprotokolle sind zu führen.

Die Arbeitsaufträge dienen zur Anregung entdeckenden Lernens und der Erforschung der eigenen Umgebung. Im Idealfall führen sie zu Begegnungen mit Menschen, deren Lebenswandel und Ansichten mehr oder weniger stark vom eigenen Lebenswandel abweichen. Folglich ist darauf zu achten, dass die Schülerinnen und Schüler nicht allzu leicht und unbedacht nur im unmittelbaren persönlichen Umfeld bzw. innerhalb ihrer eigenen Familien nachforschen. Beim Einholen von Informationen soll man auf eine aktive Beteiligung aller Gruppenmitglieder achten; ein schnelles Telefonat oder die Anforderung von Prospekten per Fax erfüllt die Zielsetzung der Arbeitsaufträge nicht.

Hierbei ist die benötigte Zeit zur Vorbereitung, für die Beschaffung von Materialien usw. nicht zu unterschätzen. Während dieser Zwischenzeit kann man u.U. andere Dinge behandeln, z.B. M 19: „Brief von Felix Mendelssohn an seine Schwester Fanny Hensel“.

Die Rolle der Lehrkräfte in dieser Phase ist es mit „Rat und Tat“ zur Verfügung zu stehen. Geeignete Vorgehensweisen, einschlägige Internetseiten oder Adressen entsprechender Institutionen sollten nicht von vornherein gegeben werden. Für den Notfall sollte jedoch eine Reihe von notwendigen Anschriften und Telefonnummern usw. bereits besorgt sein.

Entsprechend der Zielsetzung eines Projekts sind die Schülerinnen und Schüler darin zu unterstützen fehlgeschlagene Lösungsversuche zu erkennen und zu korrigieren. In einer der Unterrichtsstunden können Probleme, bisherige Vorgehensweisen, Zwischenergebnisse u.Ä. kurz vorgetragen und das weitere Verfahren besprochen werden.

Nach Abschluss der Erkundungs- und Revisionsphase berichten die Schülerinnen und Schüler die Ergebnisse ihrer Erkundungen ausführlich vor der ganzen Klasse. Nachfragen von Mitschülerinnen und Mitschülern bzw. von der Lehrkraft sollen zum weiteren Nachdenken sowie evtl. zu weiteren Recherchen anregen.

Zur Ergebnissicherung werden die ggf. überarbeiteten Gruppenprotokolle vervielfältigt und verteilt.

**Ergänzung: Musizierende Schülerinnen oder Schüler**

Sollten unter den Schülerinnen und Schülern Musikanten sein, bieten sich auch folgende erweiterte Fragestellungen an: Wie viele Schülerinnen und Schüler musizieren selber? Womit – wann – wo – wie häufig – mit welchem Anspruch – wie laut? Auch kann mit den Audio-Dateien Nr. 16 bis 22 der CD gearbeitet werden: „Trompetenübung“, „Übung mit dem Kornett“, „Gesangsübung Arie der Li`ú“, „Klaviersonate professionell gespielt“, „Klaviersonate von einer (fortgeschrittenen) Schülerin gespielt“, „Popmusik von Schulband gespielt“, S. 67. Diese Aufnahmen demonstrieren die Belastung von Nachbarn durch Berufsmusiker,

Laienmusiker und Rockbands bei der Probe. Die Aufnahmen sind nicht als „Schreckgespenster“ gedacht, vielmehr sollen sie konkrete Situationen vergegenwärtigen, die vielen Schülerinnen und Schülern vertraut sein dürften. In einer Besprechung einer oder mehrerer dieser Aufnahmen sollen just die unterschiedlichen Interessenlagen von Musikschall-Erzeugern und -Rezipienten exemplifiziert und die Notwendigkeit verständnisvollen Umgangs mit dieser Problematik durch alle Betroffenen herausgearbeitet werden.

## Alternative: Der Konflikt Felix Mendelssohns

Als Alternative zum Projekt kann der Konflikt von Felix Mendelssohn besprochen werden, den der vielbeschäftigte und strebsame junge Komponist und Klaviervirtuose an seine Schwester und Vertraute Fanny Hensel darstellt.

In einem Unterrichtsgespräch werden die unterschiedlichen Interessen der beiden Musiker aus dem Brief erarbeitet:

- der virtuose Pianist und Komponist, der auf das tägliche stundenlange Üben angewiesen ist und alles Gehörte in einen Sinnzusammenhang stellt, analysiert und mit hohem Kunstverstand deutet; sowie
- die unbekannte Dilettantin, die täglich bescheidene Versuche unternimmt, ihren Alltag mit der aktiven Nachgestaltung von beliebten „Schlagern“ der damaligen Zeit durch eigenes und sei es ungekonntes Spiel zu erhellen.

Es kann auch von Reiz sein, die Bedeutung des aktiven Musizierens in einer Zeit vor der technischen Reproduzierbarkeit von Musik herauszustellen, also in einer Zeit vor der Erfindung des Plattenspielers, Tonbandgerätes, CD- und MP3-Players sowie unterschiedlicher Lautsprecheranlagen. Es sind hier manche fachübergreifende Querverbindungen denkbar, z.B. die Bedeutung des Kunstsalons im 19. Jahrhundert, Architektur und Wohnungsbau im Bürgertum, die Rolle der „höheren Tochter“.

Auf der beiliegenden CD befinden sich zwei Aufnahmen eines Klavierwerks des Mendelssohn-Freundes Robert Schumann, Nr. 20: „Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) professionell gespielt“ und Nr. 21: „Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) von einer Schülerin gespielt“, S. 67. Laien werden schon beim ersten Hören einige Unterschiede auffallen, doch welche? Beim wiederholten Hören soll die Aufmerksamkeit der Schülerinnen und Schüler auf etwaige Temposchwankungen, auf den Pedalgebrauch, auf unterschiedliche Hervorhebung der jeweiligen Melodiestimme u.a.m. gelenkt werden.

# Vorschläge für Arbeitsaufträge zum Thema: Konfliktpotenziale bei Lärm





**Arbeitsauftrag 1: Bauliche Lärmschutzmaßnahmen**
Bei Architekten und in Baufachgeschäften sind Informationen einzuholen um folgende Fragen zu beantworten:
Welche Mindestanforderungen an Lärmschutz gibt es im Wohnungsbau?
Wie muss man Wohnungen (um)bauen um einen wirksameren Schallschutz innerhalb der Wohnung bzw. innerhalb des Wohnhauses zu erzielen?
Welche Auswirkungen hätten diese Maßnahmen auf die Baukosten sowie den Mietzins?

**Arbeitsauftrag 2: Schallschutz in Wohnungen**
Es sollen Informationen, Prospekte, Preise usw. über schallschluckende Produkte zum Einsatz innerhalb von Wohnungen bzw. für den Schallschutz bei bestimmten Geräten (z.B. Lautsprecher) eingeholt werden.
Was gibt es für schalldämmende Tapeten bzw. Teppichböden?
Wie kann man ferner den Schall einschränken, der aus Zimmern herausdringt?

**Arbeitsauftrag 3: Befragung von Berufsmusikern**
Es sind Berufsmusiker oder kompetente Laienmusiker zu befragen:
Welche Möglichkeiten hat z.B. ein Pianist, ein Trompeter, ein Schlagzeuger seine Schallerzeugung zu reduzieren?
Welche Einflüsse haben entsprechende Vorrichtungen auf den Anschlag bzw. den Mundansatz, auf die eigene Klangwahrnehmung und auf die Genauigkeit des Spiels?
Was sagen Musiker über die Zumutbarkeit dieser lärmmindernden Maßnahmen?
Auf welche Weise kann ein Sänger Rücksicht auf seine Umwelt nehmen?

**Arbeitsauftrag 4: Übungsräume für Rockmusiker**
Es sind Informationen zur Beantwortung folgender Fragen einzuholen:
Wo, wie lange, wie häufig und wie laut üben Rockbands in der Nachbarschaft? Gibt es Konflikte?
Wo gibt es Übungsräume und wie macht man sie ausfindig?
Wie ist ihre Größe und Ausstattung? Was kosten sie zu mieten?
Welche Schwierigkeiten können noch auftreten, nachdem man endlich einen Übungsraum gefunden hat?
Welche Schallschutzmaßnahmen werden eingesetzt: wegen der Nachbarn und um sich selbst zu schützen?

**Arbeitsauftrag 5: Genehmigungen für Straßenmusikanten**
Es sind Informationen zur Beantwortung folgender Fragen einzuholen:
Unter welchen Voraussetzungen darf ein Musikant an einem öffentlichen Ort (z.B. Bahnhof, Fußgängerzone) spielen/singen?
Wer erteilt dazu die Genehmigung?
Was kostet sie und wie lange gilt sie?
Was passiert, wenn man ohne Genehmigung beim Musizieren in der Öffentlichkeit „erwischt“ wird?

M 19

MATERIALBOGEN

# Brief von Felix Mendelssohn an seine Schwester Fanny Hensel

Der berühmte Komponist Felix Mendelssohn-Bartholdy schrieb am 7. April 1834 einen längeren Brief von seinem damaligen Wohnort Düsseldorf an seine Schwester, die Komponistin Fanny Hensel, in Berlin. Gegen Ende des Briefes stellt er fest:

„Jetzt fängt eben eine meiner Düsseldorfer Qualen an; das ist meine Nachbarin, die im Nebenhause wohnt und ihr Clavier an die Wand neben der meinigen gestellt hat und alle Tage zwei Stunden zu meinem Unglück Clavier übt, täglich dieselben Fehler macht und alle Rossini'schen Arien in einem so verzweifelt langsamen, phlegmatischen Tone spielt, dass ich ihr gewiss einigen Schabernack anthäte, wenn ich nicht bedächte, dass ich sie mit meinem Clavier zu allen Zeiten gewiss noch mehr quäle, als sie mich. Dann hört man zuweilen den Lehrer oder die Mutter (ich weiß es nicht) mit ihrem Finger die richtige Note 17-mal nach einander anschlagen, und wenn sie gar was vom Blatt spielt und sich aus dem Dunkel nach und nach irgend ein alter Gassenhauer entwickelt, den man an einer Note erkennen muss, das ist sehr hart. Ich weiß nun die Stücke schon auswendig, wenn sie den ersten Accord greift."

(aus: Briefe aus den Jahren 1830 bis 1847 von Felix Mendelssohn-Bartholdy, hrsg. von Paul Mendelssohn-Bartholdy und Prof. Dr. Carl Mendelssohn-Bartholdy, Leipzig 1882, Zweiter Theil, S. 25)

**BAUSTEIN 6**

# Musiklärm und Recht

**Inhalt:**

Persönlichkeit als Teil von Konflikten, Musik, die man nicht ausschalten kann, Musiklärm und Recht

**Materialien und Medien:**

M 20: Fallbeispiele von häuslichen Konfliktsituationen wegen Musiklärms
M 21: Fallbeispiele von fremdbestimmter Musikberieselung
M 22: Rollenspiele zu Musiklärm als Ursache für Rechtsstreitigkeiten

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 Unterrichtsstunde ohne Rollenspiel, dessen zeitlicher Rahmen von den Spielenden stark beeinflusst wird

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Die Persönlichkeit als Teil bei Konflikten um Musiklärm**

Das Materialangebot enthält Fallstudien von tatsächlichen Vorkommnissen zu häuslichen Konfliktsituationen wegen Musiklärms (M 20). Hier stoßen die (vermeintlichen) Interessen und Belange verschiedener Menschen aufeinander. Es gilt diese abzuwägen und zu problematisieren und vorzuschlagen, wie man zu Lösungen kommen könnte.

Die Fallbeispiele – und/oder auch andere glaubwürdig konstruierte Fälle – werden gemeinsam gelesen und nach emotionalem „Zündstoff" durchgesehen. Es ist wichtig die Befindlichkeit aller Beteiligten in den beschriebenen Situationen zu berücksichtigen.

An den hier vorgelegten Beispielen soll die Frage erörtert werden, was Menschen veranlasst sich gestört zu fühlen. Es wird das Ziel verfolgt die eigene Bereitschaft zur Konfliktbereinigung bzw. -vermeidung zu thematisieren.

Insbesondere ist hervorzuheben, dass die Bereitschaft zur Empfindung von Musik als Lärm u.a. auch vom eigenen musikalischen Geschmack sowie von der persönlichen Beziehung zu den Musikverursachern abhängen kann.

Somit soll die Erkenntnis gewonnen werden, dass manche Streitfälle, die sich scheinbar über das Thema Musiklärm entfachen, anderweitige Ursachen haben und lediglich auf den Musikbereich projiziert werden.

Als Alternative bzw. Ergänzung zu den angebotenen Fallschilderungen können eigene Erzählungen dienen, die aus der Erfahrungswelt der Schülerinnen und Schüler stammen.

Folgende Aspekte sind im Unterrichtsgespräch herauszuarbeiten:

- Musik, die man selbst innerlich ablehnt, wird häufig als Lärm empfunden und
- die Bereitschaft, Musik als Lärm zu empfinden, kann mit anderen, außermusikalischen Faktoren zusammenhängen.

Die Ergebnisse sind in vier Spalten als Tafelbild festzuhalten. Mögliche Überschriften wären z.B.: „Person", „vermeintliches Lärmproblem", „eigentlicher Störfaktor", „Lösung?".

## Musik, die man nicht ausschalten kann, wo man nur noch weghört

Die Beispiele von fremdbestimmter Musikberieselung (M 21) beschreiben tägliche Erfahrungen vieler Menschen, die im heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken sind. Der Zeitungsbericht beschreibt die Verquickung von Interessen eines privaten Leistungsanbieters mit denen eines öffentlichen Nahverkehrsbetriebes. „Nutznießer" sind zwangsläufig alle Fahrgäste, die in den betreffenden Zügen sitzen.

Im Unterrichtsgespräch ist zu den Fallbeispielen – und zu anderen Erlebnissen, die Schülerinnen und Schüler benennen – die Beantwortung folgender Fragen wichtig:

Wie intensiv nimmt man diese Musik wahr?

Wie ist dabei die eigene Befindlichkeit? Ist die Musik mitreißend, beruhigend, störend? Liegt dies am eigenen Geschmack? Welche anderen Faktoren spielen eine Rolle?

Welche Möglichkeiten hat man ggf. die Lautstärke und/oder die Auswahl der Musik zu beeinflussen? („Herr Ober, ...?")

Kann man solcher Beschallung entgehen oder ist man ihr hilflos ausgeliefert?

Durch Musik wird das Unterbewusstsein allerorts beeinflusst, angeregt, beruhigt, zu höheren Leistungen angeregt usw. In den Beispielen kommen verschiedene Orte und Situationen vor, bei denen man unausweichlich Musik hört.

In dem 1. und 3. Fallbeispiel geht es um beruhigende Musik. Nach den Vorstellungen der Musikverursachern sollte man unaufdringlich zum Verweilen eingeladen werden; ein behagliches Gefühl der Ausgeglichenheit soll mit dem Ort unbewusst assoziiert werden.

Beim 2. und 4. Fallbeispiel geht es deutlicher um finanzielle Interessen. Die Musik ist eigentlich nur „Verpackung" für die letztlich bedeutsameren Werbebeiträge.

Viele Konflikte sind für den Betroffenen überaus schwierig zu lösen, u.a. weil sie im Kern einer öffentlichen und allgemein verbindlichen Lösung bedürfen.

Die Schülerinnen und Schüler können das Thema durch eigene Beiträge (s. M 17: „Protokoll eines Musikalltags", S. 131) ergänzen.

Es sollte versucht werden die Schülerinnen und Schüler die omnipräsente „Schalldusche" bewusst werden zu lassen und sie für eine aktivere Auswahl und Mitgestaltung ihrer Aufenthaltsorte emotional wie rational zu gewinnen.

### Musiklärm und Recht

In Rollenspielen sollen die bei den Erkundungen aus dem vorigen Baustein erworbenen Kenntnisse ergänzt und um rechtliche Komponenten der Lärmbestimmungen erweitert eingesetzt werden.

In M 22 sind vier „Konfliktfälle" aufbereitet und in den Hinweisen juristisch kommentiert worden.

Zu Beginn werden entsprechend den Konfliktfällen Gruppen gebildet und die Rollen verteilt. Jede Schülerin und jeder Schüler soll nach Möglichkeit an einem der vier Fälle mitwirken: als „Richterin resp. Richter", als „Angeklagte und Angeklagter" sowie als „Klägerin und Kläger" im Rahmen der Zivilklage oder als Sachverständige resp. Sachverständiger. Die Vorbereitung der Rollenspiele wird als Hausaufgabe durchgeführt.

Nach den jeweiligen Rollenspielen muss jeder Fall nach den vorgetragenen „Tatsachen" von der gesamten Klasse ausgewogen diskutiert werden. Natürlich kann man hier nicht erwarten, dass jede Entscheidung dieser juristischen Laien – zu denen man auch die Lehrkraft zählen muss – rechtlich verbindlich ist. Den Schülerinnen und Schülern ist stets klarzumachen, dass die von ihnen bevorzugten Rechtspositionen nicht mit der tatsächlichen übereinstimmen müssen.

Empfehlenswert ist es Gerichtsurteile zum Thema Musiklärm zu sammeln, um sie von Schülerinnen und Schülern nacherzählen und beurteilen zu lassen. Es ist mehr als wahrscheinlich, dass eine Reihe von Schülerinnen und Schülern lebhafte Erinnerungen daran haben, dass eine Familienfeier o.Ä. vom „freundlichen" Nachbarn „gestört" wurde oder dass ihre Eltern selbst bei störenden Hausgenossen einschreiten mussten. Auch hier kann man anknüpfen.

Die Hinweise zu M 22 geben Informationen über Entscheidungen und Rechtspositionen zu den Konfliktfällen, falls Aussagen von Schülerinnen und Schülern richtigzustellen oder noch zu ergänzen sind oder falls zu rechtskräftigen Urteilen gefragt wird.

## Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

### M 22: Musiklärm als Ursache für Rechtsstreitigkeiten

Die Beispiele für die Rollenspiele beruhen auf tatsächlichen Streitfällen, die hier allerdings vereinfacht wurden. Die Streitfälle wurden rechtlich wie folgt beurteilt:

**Fall A:**
Lärmschutz im Zusammenhang mit Großveranstaltungen dieser Art ist landesrechtlich geregelt. Im Landes-Immissionsschutzgesetz Berlin und den dazugehörigen Ausführungsvorschriften werden beispielsweise folgende Regelungen getroffen:

- Von 22 bis 6 Uhr ist es verboten Lärm zu verursachen, durch den andere Personen in ihrer Nachtruhe gestört werden können (§ 1).
- Öffentliche Veranstaltungen im Freien bedürfen einer Genehmigung, wenn von ihnen störende Geräusche für Dritte zu erwarten sind (§ 7).

- Die zuständige Behörde kann bei Vorliegen eines öffentlichen Bedürfnisses für öffentliche Veranstaltungen im Freien nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz auf Antrag widerruflich eine Genehmigung erteilen, wenn dies im Einzelfall unter Berücksichtigung des Schutzbedürfnisses der Nachbarschaft zumutbar ist. Ein öffentliches Bedürfnis liegt in der Regel vor, wenn das Vorhaben auf historischen, kulturellen oder sportlichen Umständen beruht oder sonst von besonderer Bedeutung ist (§ 11).

Die Durchführung der Konzertveranstaltung bedarf also einer behördlichen Ausnahmegenehmigung. Der Rechtsanwalt wird sich daher zunächst erkundigen, ob eine Ausnahmegenehmigung überhaupt erteilt worden ist. Er wird seinem Mandanten dann empfehlen gegen die Ausnahmegenehmigung Widerspruch einzulegen und den Widerspruch damit zu begründen, dass die Störung durch das Konzert nicht nur unbedeutend ist und vor dem Hintergrund, dass es bereits 5 vergleichbare Veranstaltungen in diesem Jahr gegeben hat, das Vorhaben auch keinen Vorrang vor den schutzwürdigen Belangen von Herrn Schmidt an einer ungestörten Nachtruhe haben kann.

Die Behörde weist den Widerspruch mit der Begründung zurück, dass an der Veranstaltung ein erhebliches öffentliches Interesse bestehe. Schließlich würde die Stadt nicht alle Jahre ihr 500-jähriges Bestehen feiern. Der Anwalt rät Herrn Schmidt, beim Verwaltungsgericht gegen die Ausnahmegenehmigung zu klagen. Herr Schmidt beauftragt seinen Anwalt mit der Klageerhebung und beantragt beim Verwaltungsgericht zugleich den Erlass einer einstweiligen Anordnung um die Durchführung der Veranstaltung kurzfristig zu verhindern.

Das Verwaltungsgericht gibt dem Antrag von Herrn Schmidt statt. Es begründet seine Entscheidung damit, dass das öffentliche Interesse an der 500-Jahr-Feier keinen Vorrang vor dem Schutz der Nachtruhe hat, zumal es bereits 5 vergleichbare Veranstaltungen gegeben habe. Das Gericht lässt in seiner Entscheidung offen, ob es auch bei den ersten Veranstaltungen dieser Art im Rahmen der 500-Jahr-Feier die Durchführung der Veranstaltungen untersagt hätte oder insoweit dem öffentlichen Interesse daran, das Jubiläum auch einmal nach 22 Uhr feiern zu können, den Vorzug gegeben hätte.

Für einen ähnlich gelagerten Fall, in dem es um ein 3-tägiges Stadtteilfest ging, hat das Verwaltungsgericht Düsseldorf (Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, 1991, S. 398) entschieden, dass dabei weder für sich genommen ein öffentliches Interesse bestehe noch eine bürgerverbindende Wirkung ausginge, was sich auch vor 22 Uhr erreichen ließe. Demgegenüber haben die Anwohner Anspruch auf ungestörte Nachtruhe nach 22 Uhr.

**Fall B:**
Selbstverständlich darf man sich noch nach 22 Uhr auf der Terrasse aufhalten und feiern. Dabei darf aber kein Lärm verursacht werden, durch den die Nachbarn in ihrer Nachtruhe gestört werden. Die Polizei und der Messtrupp vom Umweltamt werden also überprüfen, ob der Lärm von der privaten Geburtstagsfeier geeignet war die Nachbarn in ihrer Nachtruhe zu stören. Dabei muss die Lärmbelästigung nicht technisch beziffert werden und kann mit jedem Beweismittel, insbesondere auch durch die Vernehmung der betroffenen Nachbarn, bewiesen werden (vgl. Horst, in: Zeitschrift für die Anwaltliche Praxis 1999, Fach 7, S. 159, 164 mit Verweis auf eine Entscheidung des Oberlandesgerichts Düsseldorf, Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 1995, 1034).

Die Polizei kann dann Anordnungen erlassen, die befolgt werden müssen, z.B. den Fernseher oder die Stereoanlage leise zu stellen. Kommen die Verursacher des Lärms dieser Anordnung nicht nach, kann die Polizei nach allgemeinem Polizei- und Ordnungsrecht, z.B. den Fernsehapparat oder die Stereoanlage, beschlagnahmen um zum Schutz der Nachbarn weitere Störungen zu verhindern. Die beschlagnahmten Geräte müssen aber am anderen Tag wieder herausgegeben werden.

Das zuständige Umweltamt kann gegen die Feiernden ein Bußgeldverfahren einleiten. In der Praxis wird dies aber beim ersten Rechtsverstoß dieser Art meistens nicht gemacht. Die Behörde lässt es möglicherweise mit einer schriftlichen Verwarnung bewenden.

Was können die gestörten Nachbarn unternehmen?

Sie können sich an die zuständige Behörde (das Umweltamt) wenden und den Erlass eines Bußgeldbescheides fordern. Sie haben aber keinen Rechtsanspruch darauf, dass das Umweltamt einen Bußgeldbescheid gegen die störenden Nachbarn erlässt. Die gestörten Nachbarn können auch vor das Zivilgericht gehen und die Störer auf Unterlassung vergleichbarer Störungen in der Zukunft verklagen. Bei einem einmaligen Vorfall wird das Amtsgericht diese Klage aber wahrscheinlich zurückweisen, weil keine Wiederholungsgefahr besteht. Werden die störenden Nachbarn vom Amtsgericht zur Unterlassung verurteilt, so können sie für jeden Fall der Zuwiderhandlung vom Amtsgericht auf Antrag der gestörten Nachbarn zur Zahlung eines Ordnungsgeldes herangezogen werden.

**Fall C:**
Ein Vorgehen gegen die lärmenden Gäste kommt schon deshalb nicht in Betracht, weil diese namentlich nicht bekannt sind und auch ständig wechseln. Eine zivilrechtliche Klage gegen die Betreiber der Gaststätte auf Unterlassung der Lärmbeeinträchtigungen ist zwar möglich, die Betreiber werden sich aber darauf berufen, dass sie eine Gaststättenerlaubnis haben, alle Auflagen beachten und insbesondere die festgesetzte Sperrzeit einhalten.

Der Anwalt wird seiner Mandantin daher raten sich an die zuständige Behörde zu wenden und zu beantragen, dass die Sperrzeit auf 22 Uhr festgelegt wird um die Nachtruhe zu gewährleisten. Die Behörde wird zunächst überprüfen, ob die Lärmbeeinträchtigungen durch den sog. Gästeverkehrslärm unzumutbar sind. Dabei kommt es nicht auf das subjektive Empfinden der Nachbarn, sondern auf die Eigenart des Baugebietes und der näheren Umgebung an. Die tatsächliche Vorbelastung des Gebietes durch Lärmimmissionen ist zu berücksichtigen.

Erweisen sich bei Zugrundelegung dieser objektiven Maßstäbe die auftretenden Lärmbelästigungen als unzumutbar, muss die Behörde handeln. Sie hat zu prüfen, durch welche geeigneten Maßnahmen die Beeinträchtigungen verhindert werden können. Sind geeignete Maßnahmen möglich, die die Betreiber der Gaststätte weniger belasten als eine Festlegung der Sperrzeit auf 22 Uhr, hat sie diese Maßnahmen zu ergreifen. Anderenfalls haben die betroffenen Nachbarn einen Anspruch darauf, dass zum Schutz ihrer Nachtruhe die Sperrzeit entsprechend festgelegt wird. Das bedeutet nicht, dass die Gaststätte ab 22 Uhr vollständig geschlossen werden muss. Möglich ist es auch, den Beginn der Sperrzeit nur für Veranstaltungen, wie z.B. den Talentschuppen, auf 22 Uhr festzusetzen.

In einem ähnlich gelagerten Fall hat das Verwaltungsgericht Düsseldorf auf Antrag eines Nachbarn die zuständige Behörde durch einstweilige Anordnung verpflichtet den Beginn der Sperrzeit für Discothek- und Rockkonzertveranstaltungen in einer Gaststätte auf jeweils 22 Uhr festzusetzen (Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, 1991, S. 813). Allerdings hat der Verwaltungsgerichtshof Mannheim festgestellt, dass die Sperrzeit, wenn eine Discothek genehmigt ist, nicht auf 22 Uhr vorverlegt werden darf, da es zu den prägenden Merkmalen dieser Betriebsart gehört, dass der Betrieb an den Samstagen frühestens um 1 Uhr und an den anderen Tagen frühestens um 0 Uhr endet (Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, 1987, S. 339). Diese Ansicht hat das Oberverwaltungsgericht des Saarlandes in einer Entscheidung vom 29. August 2006 (Aktenzeichen: 1 R 21/06 ) bestätigt.

**Fall D:**
Wenn die Kündigung des Vermieters wirksam ist, muss der Mieter ausziehen. Der Vermieter kann ihn auf Räumung der Wohnung verklagen. In dem Räumungsprozess muss das Gericht dann entscheiden, ob die Kündigung wirksam war. Der Vermieter wird seine Kündigung mit § 573b Abs. 2 Nr. 1 BGB begründen. Danach ist ein berechtigtes Interesse des Vermieters an der Beendigung des Mietverhältnisses gegeben, das zur Kündigung berechtigt, wenn ein Mieter seine vertraglichen Verpflichtungen schuldhaft nicht unerheblich verletzt hat.

Zu den Pflichten eines Mieters gehört auch ohne ausdrückliche Regelung im Mietvertrag die Pflicht zur Rücksichtnahme auf die berechtigten Belange des Vermieters und der anderen Mieter im Haus. Insbesondere darf ein Mieter den Vermieter und die anderen Mieter nicht durch Lärm stören. So dürfen Tonwiedergabegeräte (Stereoanlagen etc.) grundsätzlich nur mit Zimmerlautstärke betrieben werden. Das Musizieren auf Instrumenten lässt sich seiner Art nach in der Regel aber nicht auf Zimmerlautstärke begrenzen. Daraus folgt aber nicht, dass Mieter grundsätzlich nicht berechtigt wären in der Mietwohnung zu musizieren. Es gelten aber zeitliche Schranken, die üblicherweise in Mietverträgen (Hausordnung) geregelt werden.

Zu berücksichtigen sind auch die landesrechtlichen Regelungen in Lärmschutzverordnungen. Danach dürfen Musikinstrumente nicht in einer Lautstärke benutzt werden, die geeignet ist unbeteiligte Personen objektiv unzumutbar zu stören (z.B. § 5 Berliner Landes-Immissionsschutzgesetz).

Erforderlich ist ein angemessener Interessenausgleich. Ein generelles Verbot der Hausmusik kommt nicht in Betracht. Wenn die Belästigungen besonders stark sind, weil die nachträglich eingezogenen Wände einen unzureichenden Schallschutz zwischen den Wohnungen bewirken, kann dies zulasten des Vermieters gehen. Jeder Mieter kann verlangen, dass die Mietwohnungen den bauordnungsrechtlichen Anforderungen an den Schallschutz entsprechen.

Im Streitfall wird das zuständige Zivilgericht entscheiden müssen, ob der Mieter nach Art und Umfang seines Musizierens seine Rücksichtnahmepflicht verletzt hat. Nicht jede Verletzung des Rücksichtnahmegebotes rechtfertigt eine Kündigung, sondern nur eine „nicht unerhebliche“ und schuldhafte Verletzung der Vertragspflichten.

Das Landgericht Düsseldorf hat in einem Einzelfall entschieden, dass das 1- bis 2-stündige tägliche Klavierüben eines Mieters so nervenaufreibend sein kann, dass es wegen Verletzung der Rücksichtnahmepflicht eine Kündigung nach § 573b Abs. 2 Nr. 1 BGB begründen kann (Die Wohnungswirtschaft, 1989, S. 393 – noch zu § 564b Abs. 2 Satz 1 BGB a.F.).

Im vergangenen Unterricht sind die Schülerinnen und Schüler für das vielfältige Vorkommen von Musik in ihrer Umgebung, für die Belange und die Folgen von sehr verschiedenartigem Musikverhalten und für die Komplexität von Verstand und Emotionen bei der Bewertung von Musikschall sensibilisiert worden. Nun sollen sie mit dem bewährten Mittel des Rollenspiels das Für und Wider unterschiedlicher Einstellungen in einem Konfliktfall abwägen und nach Lösungen suchen, die mehreren Beteiligten mit divergierenden Interessen gerecht werden. Da ihre rechtlichen Kenntnisse nicht ausreichend sind, ist ihr wichtigstes Hilfsmittel in dieser Situation ihr „gesunder Menschenverstand". Die Schülerinnen und Schüler sollen bemüht sein die „Streithähne" gütlich zu einigen und die Fälle weise zu schlichten.

Neben der Tatsache, dass unnötiger Lärm dem Verursacher „teuer" zu stehen kommen kann, sollen die Schüler vor allem erkennen, dass man die Störungen anderer Menschen durch (eigenen) Lärm mildern und vermeiden kann, dass man Verständnis für die Bedürfnisse und die Rechte anderer haben muss und dass man Konflikte meistens auch ohne Richterspruch schlichten kann.

Man sollte vor der Behandlung dieser Lerneinheit einige der wichtigsten rechtlichen Unterlagen zum Lärmschutz (z.B. 2.7: Lärmschutzrecht, S. 49) zur Verfügung haben. Auch Lärmschutzfibeln o.Ä. Publikationen (s. Literaturhinweise, S. 221) können von den Schülerinnen und Schülern zurate gezogen werden.

# Fallbeispiele von häuslichen Konfliktsituationen wegen Musiklärms

Ch. liegt schon lange im Dauerclinch mit seinen Eltern. Ihr kennt das ja: Kleidung, Haartracht, Freundin und was nicht alles noch. Nichts passt den Eltern und schon gar nicht ein guter Deutsch-Rap. Aber wenn der Vater seinen Jodler auflegt, könnte Ch. die Wände hochgehen.

Herr M. wohnt im Mehrfamilienhaus in einem Vorort. Die Probleme mit den Nachbarn S. fingen eher unauffällig an: liegen gelassene Fahrräder auf dem Rasen, nicht gefegte Gehwege bei Eisglätte, dann Kratzer ungeklärter Herkunft am Auto. Schließlich kamen Beschwerdebriefe an den Vermieter „wegen des Cellos", irgendwann entschloss sich Herr M. zu einer Mietminderung wegen Dauerbeschallung.

Frau K. ist ganztägig berufstätig und alleinerziehende Mutter. Sie wohnt zusammen mit ihrem 15-jährigen Sohn F. in einer hellhörigen Wohnung im 12. Stock eines Hochhauses. In seiner Freizeit macht F. Bekanntschaft mit den Mitgliedern einer Rockband. Diese suchen dringend einen neuen Bassisten. Der musikalisch noch unerfahrene F. steigt ein. Im Bandkeller des Jugendklubs kann er allerdings nur einmal in der Woche üben, eben kurz vor der Probe. In den Herbstferien werden die Bassgitarre und der Verstärker zu F. nach Hause geschafft. Bei seinen täglichen Übungen dreht der eher schüchterne F. den Verstärker nur gerade so laut auf, bis er sein Spiel klar hören kann.

Wenige Tage später halten Nachbarn Frau K. vor, sie verletze ihre Aufsichtspflicht.

# Fallbeispiele von fremdbestimmter Musikberieselung

M 21

MATERIALBOGEN

In den folgenden Beispielen kann man als Betroffener die Musik nicht ausschalten, es ist bestenfalls noch Weghören möglich.

In vielen Restaurants gehört die passende Hintergrundmusik genauso zum Ambiente wie das stilgerechte Mobiliar. Zum chinesischen Essen „tröpfelt“ die (meist europäisierte) fernöstliche Klangbeilage, zur Schweinshaxe geht es deftiger zu usw. ... Die Besitzer meinen, die Gäste wünschen das ...

Beim Einkauf im Supermarkt erklingt flotte Musik aus dem „Einkaufsradio“, unterbrochen von der Anpreisung der Sonderangebote.

In mancher öden Wartehalle, in der Zahnarztpraxis oder im Fahrstuhl ertönt immer häufiger leises Musikgeplätscher: Lieder ohne Text, stets leise, beruhigend „schön“, aber zugleich musikalisch uninteressant und unaufdringlich.

**In der S-Bahn dudelt ein Radioprogramm**

**Berlin.** Wer S-Bahn fährt, muss jetzt auch Radio hören – ob man will oder nicht. Eine Auswahl gibt es dabei nicht, im Angebot ist nur das Programm von ... Der Sender hat vier Waggons mit einer Ganzzugreklame versehen lassen. Froschgrün fahren diese Fahrzeuge nun durch die Stadt. Ein „Bonbon“ für die Fahrgäste sei das zusätzlich angebotene Musikprogramm in diesen Wagen, teilte die S-Bahn-GmbH dazu mit. Dafür sei extra eine Rundfunkempfangsanlage im Zug installiert worden. „Wichtige Fahrgastinformationen“ hätten aber Priorität; dann werde das Radioprogramm automatisch ausgeblendet. Die grünen Radio-Züge sollen auf der Linie S 3 zwischen Potsdam und Erkner eingesetzt werden. Ein Zug besteht normalerweise aus acht Wagen, so dass man in andere Waggons ausweichen kann, wenn man den Sender nicht zwangsweise hören will. Wenn’s dort zu voll wird, muss man allerdings auf den nächsten Zug warten. (Tagesspiegel, 17. Mai 1995)

# Rollenspiele zu Musiklärm als Ursache für Rechtsstreitigkeiten

**Fall A**

Zur 500-Jahr-Feier der Stadt werden eine Reihe von Musikveranstaltungen von verschiedenen Trägern durchgeführt, darunter ein Open-Air-Konzert auf mehreren Bühnen in der Mitte der Stadt. Das Konzert beginnt mittags. Bei herrlichem Sommerwetter wollen die vielen Zuschauer auch kurz vor Mitternacht die sehr guten Bands nicht aufhören lassen zu spielen.

Herr Schmidt wohnt in einer ruhigen Nebenstraße, wenige Querstraßen vom Geschehen entfernt. Die für den kommenden Sonntag angekündigte Veranstaltung wird Herr Schmidt aber nicht hinnehmen. Er weiß, dass er am Montag nach der Veranstaltung gut ausgeschlafen im Geschäft sein muss, weil Verhandlungen für einen wichtigen Großauftrag anstehen. Er bittet seinen Rechtsanwalt die erforderlichen Schritte einzuleiten. Was wird der Rechtsanwalt empfehlen?

**Fall B**

Zur Fußballweltmeisterschaft zieht es sehr viele an die Fernseher. Nichts darf versäumt werden. Das Spiel selbst dauert nicht ganz zwei Stunden, aber das gesellige Beisammensein mit der dazugehörigen „Stimmungsmusik" hält viel länger an. Fernsehapparat und Stereoanlage werden auf die Veranda geholt, aber nicht sonderlich laut eingestellt, nur eben „gerade richtig". Tochter Andrea hat am nächsten Tag Geburtstag, also feiert man eben noch in den Geburtstag hinein. Große Verwunderung herrscht, als die Polizei und der Messtrupp vom Umweltamt vor der Tür stehen: Die „Neuen" aus der Reihenhaussiedlung haben Anzeige erstattet. Welche rechtlichen Folgen wird der Vorfall haben?

**Fall C**

Im Vorort leben alle verträglich miteinander. Frau M. bewohnt eine kleine Wohnung im zweiten Stock eines Eckhauses und ist herzkrank. Im Erdgeschoss befindet sich eine Gaststätte, wo auch ihr verstorbener Ehemann Stammgast war.

Eines Tages wird die Gaststätte von jungen Leuten übernommen, die einen „Irish Pub" daraus machen. Donnerstags ist „Talentschuppen" und freitags und samstags spielen Live-Bands. Bald ist der Ort ein Geheimtip für die jungen Leute aus der näheren und weiteren Umgebung. In der engen Straße kommen bis spät in die Nacht Autos an und fahren ab, laute Stimmen sind ebenso zu hören.

Frau M.'s Gesundheitszustand verschlechtert sich, zu sehr regt sie der Wandel in ihrer Umgebung auf. Sie weiß weder ein noch aus. Schließlich sucht sie Rat beim Rechtsanwalt. Was wird der Anwalt seiner Mandantin empfehlen?

**Fall D**

M. ist 20 und Student an der Musikhochschule mit Hauptfach Klavier. Er übt noch morgens eine Stunde Klavier, bevor er zur Vorlesung geht; weiter geht es dann am Nachmittag. Er muss täglich mindestens drei Stunden lang Klavier spielen, dazu kommt noch gelegentliches Ausprobieren von Hausaufgaben u.Ä.. Ansonsten hört er auch gerne Klassik-CDs. Am Wochenende empfängt er Klavierschüler um sich etwas dazuzuverdienen.

M. wohnt zum Glück in einem preiswerten Altbau, wo die Mauern verhältnismäßig dick sind. Nur die nachträglich gezogenen Wände zur Teilung der Wohnungen sind hellhöriger. Sein Nachbar, Herr S., ist Schlosser im Schichtdienst, er hat häufig Nachtschicht. Klar, dass er tags darauf schlafen muss.

M. und Herr S. haben im Grunde Verständnis für den jeweils beruflich bedingten Lebenswandel des anderen. Sie haben sich ein paar Mal im Flur über das Problem unterhalten – nicht einmal im gereizten Ton. Als M. weiterhin musiziert, macht Herr S. eine Mietminderung gegenüber dem Hausverwalter geltend. Dieser macht M. strenge Auflagen. Da er diese nicht einhalten kann ohne den Erfolg seines Studiums aufs Spiel zu setzen, lässt er es darauf ankommen. Schließlich wird ihm die Wohnung gekündigt, womit er nicht einverstanden ist und zum Rechtsanwalt geht.

# 6. Bausteine für den Physikunterricht

Die Bausteine beinhalten zunächst grundlegende Informationen über Schall und Töne, die Charakterisierung von Tönen, Schallquellen und die Weiterleitung von Schall. Die Experimente bauen aufeinander auf, sind aber meist nicht Voraussetzung für die folgenden.

Bei vielen Experimenten erfolgt eine vergleichende Darstellung zu den Vorgängen im Ohr. So sind einzelne Experimente auch in biologischem Zusammenhang sinnvoll und können losgelöst von der Darstellung in diesem Kapitel auch einzeln im Biologieunterricht oder in fächerübergreifenden Zusammenhängen eingesetzt werden.

Die große Zahl einfacher Schülerexperimente in den ersten beiden Bausteinen legt es nahe arbeitsteilig Schülerexperimente durchführen oder an Stationen lernen zu lassen. Lernen an Stationen ist sicherlich die anspruchsvollste und effektivste Art zu unterrichten, die Möglichkeiten hängen vom Vorwissen und den Fertigkeiten der Schülerinnen und Schüler, den zur Verfügung stehenden Geräten und nicht zuletzt von der Klassengröße und der Möglichkeit von Teilungsunterricht ab, zum Lernen an Stationen gibt Münchow (s. Literaturverzeichnis, S. 222) viele Tipps und unterbreitet weitere Unterrichtsvorschläge.

**Bezug zu anderen Bausteinen:**

Ein fächerverbindender Unterrichtsgang, der die Naturwissenschaften integriert behandelt, wird auf S. 14 vorgestellt.

BAUSTEIN 7

# Schall

**Inhalt:**

Schall, Töne, Schallquelle, Frequenz, Analyse der Klingeltöne und MP3-Kodierung

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 23: | Geräusche und ihre Entstehung |
| Versuch 5: | Erzeugung von Schall (Kochtopf, Holzlöffel, Papiertüte, Glas, Hammer u.a.m.) |
| Versuch 6: | Schallerzeugung mit einem Lineal (Lineal, mind. 40 cm) oder |
| Versuch 7: | Erzeugung von Tönen (Schraubstock, Federstahlstreifen, Stativstange, Stimmgabel, Anschlaghämmerchen, Tüte) |
| Versuch 8: | Darstellen der Schwingungen von Tönen auf einer berußten Glasplatte (berußte Glasplatte, Stimmgabel, bei der an einem Schenkel eine Spitze angebracht ist, OH-Projektor, Anschlaghämmerchen) oder |
| M 3 | Interaktives Bildschirmexperiment „Schallschwingungen“, S. 71 und Computer |
| Versuch 9: | Flaschentöne (leere Flaschen) |
| M 4 | Interaktives Bildschirmexperiment „Amplitude und Frequenz“, S. 76 und Computer |
| M 1: | Audio-Datei Nr. 5: „Abhängigkeit des Hörempfindens von der Frequenz“, S. 66 und CD-Player |
| M 24: | Schwingungsbilder |
| Versuch 10: | Oszilloskopische Darstellungen von Schwingungen (Oszilloskop, Mikrofon oder Lautsprecher, zwei verschiedene Stimmgabeln, Tüte, Schlüsselbund) oder |
| M 9 | SOUNDS, S. 85 und bis zu 2 PCs, Mikrofone und Handys |

**Zeitrahmen:**

Ca. 3 – 4 Unterrichtsstunden ohne den Einsatz von M 9: SOUNDS

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Schallentstehung**

Die Lehrkraft stellt eingangs die Frage: Welche Vorstellungen und Begriffe verbindet ihr mit dem Wort Schall? Die Schülerinnen und Schüler antworten spontan mit Kenntnissen aus ihrem Erfahrungsbereich. Die Beiträge werden in einer Tafelnotiz stichwortartig fixiert, z.B. Krach, Musik, Schreie, Läuten in der Schule, laute Geräusche, Lärm, Lautsprecher, Stimmen. Mithilfe der Tafelnotiz wird eine Definition des Begriffs Schall erarbeitet:
„Schall ist alles, was wir hören können. Dazu gehören z.B. Sprache und Musik, Geräusche und Lärm.“

Die Lehrkraft legt die OH-Folie vom Arbeitsbogen M 23: „Geräusche und ihre Entstehung“ auf. Das Materialangebot ist eine Folienvorlage, die in zwei Teile gegliedert ist. Notiert sind Wörter über alltägliche Wahrnehmungen von Schall. Darunter befindet sich ein Tabellenraster, in das die Ergebnisse des Arbeitsauftrages eingetragen werden.

Die Vorgabe der verschiedenen Wörter dient dazu sich mit dem Begriff „Schall“ auseinanderzusetzen. Sie soll auf die Vielfalt der Schallereignisse hinweisen. Die Wörter können ergänzt werden.

Mithilfe der Tabelle sollen die Schülerinnen und Schüler überlegen, wo die Geräusche vorkommen und durch wen oder durch was sie erzeugt werden. Diese Überlegungen dienen zur Klärung des Begriffs „Schallquelle“.

Die Schülerinnen und Schüler lösen die Aufgabe mit ihren bisherigen Erfahrungen und füllen gemeinsam die Tabelle aus. M 23 kann auch fotokopiert für Partner- oder Kleingruppenarbeit ausgegeben werden.

Alternativen hierzu können Unterrichtsgespräche zu folgenden Themen sein: „Alte und junge Menschen beurteilen Musik oft unterschiedlich. Wie kann man sich das erklären?“ oder „Nenne Geräusche, die dich zu Hause, auf der Straße, in der Schule oder in der Freizeit besonders stören.“

Selber Schall mit unterschiedlichen Schallquellen zu erzeugen, wird als nächstes Unterrichtsvorhaben mit den Schülerinnen und Schülern vereinbart.

Für den Versuch 5: „Erzeugung von Schall“ werden verschiedene Geräte, z.B. Kochtopf, Holzlöffel, Papiertüte usw. bereitgestellt. Die Lehrkraft erteilt einer Schülerin oder einem Schüler folgende Aufgaben:

1. Erzeuge mit den auf dem Tisch stehenden Gegenständen Schall.
2. Erkläre, wie Du das machst.

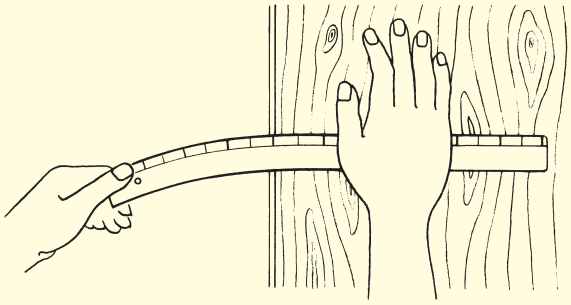
Die anderen Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag genau darauf zu achten, was sie sehen und hören.

Im Unterrichtsgespräch werden die Wahrnehmungen beschrieben, wie z.B.:

- Knallen der Tüte war lauter als das Anschlagen des Glases mit dem Löffel,
- das Geräusch bei Anschlagen des Glases klang feiner, das Geräusch beim Schlagen auf den Topf klang dumpfer.

Die Lehrkraft regt an Vermutungen anzustellen, wodurch Schall im Versuch hervorgerufen wurde. Dies ist nicht so einfach; um die Frage zu klären wird von den Schülerinnen und Schülern der zusätzliche Versuch 6: „Schallerzeugung mit einem Lineal" durchgeführt. Dazu wird folgende Anleitung gegeben:

1. Drücke das Lineal mit einer Hand fest auf die Tischplatte. Es soll ungefähr 25 cm über die Tischkante ragen. Fasse es am überstehenden Ende an und bewege es langsam auf und ab.



2. Biege das überstehende Ende nach unten und lasse es plötzlich los. Lege einen Finger auf den sich bewegenden Teil des Lineals.

Notiere deine Beobachtungen und gehe dabei sowohl auf das Gesehene als auch auf das Gehörte und Gespürte ein. Was spürst du?

In der anschließenden Diskussion werden die Ergebnisse des Versuchs zusammengefasst. Dabei wird über das Wahrgenommene berichtet:

- Wenn man das überstehende Linealende vorn anfasst und langsam auf und ab bewegt, ist kein Schall festzustellen.
- Schall entsteht nur, wenn sich das überstehende Linealende schnell hin- und herbewegt. Das geschieht, wenn man diesen Teil des Lineals nach unten biegt und loslässt: Ein „schnarrendes" Geräusch wird wahrgenommen.
- Man sieht gleichzeitig, dass sich das überstehende Linealende schnell hin und her bewegt. Es schwingt.

Durch die Lehrkraft wird den Schülerinnen und Schülern mitgeteilt, dass man schwingende Körper als Schallquellen bezeichnet. Die bisherigen Erkenntnisse werden in dem Merksatz zusammengefasst:
Schall entsteht, wenn Gegenstände schnell schwingen. Diese Gegenstände werden als Schallquellen bezeichnet.

## Entstehung von Tönen

Die Lehrkraft führt zur Demonstration der Entstehung von Tönen Versuch 7: „Erzeugung von Tönen" durch:

1. Anzupfen eines Federstahlstreifens, der in einem Schraubstock eingespannt ist.
2. Anschlagen einer Stativstange und einer Stimmgabel.
3. Knallenlassen einer aufgeblasenen Tüte.

Die Schülerinnen und Schüler sollen mitteilen, bei welchem Experiment Töne entstanden sind. Fast alle entscheiden sich für 1 und 2. Der Schall bei 3 wird als Geräusch charakterisiert. Es wird herausgearbeitet, dass Töne eine besondere Art von Schall sind. Man kann deshalb vermuten, dass Gegenstände bei der Tonerzeugung auf eine ganz besondere Art und Weise schwingen müssen.

Zur Überprüfung dieser Vermutung führt die Lehrkraft den Versuch 8: „Darstellen der Schwingungen von Tönen auf einer berußten Glasplatte“ durch:

Eine berußte Glasplatte wird auf den OH-Projektor gelegt. Dann wird eine Stimmgabel angeschlagen und vorsichtig mit der Spitze des einen Schenkels auf die Glasplatte aufgesetzt und darauf ein Stück entlanggezogen.

Die Schülerinnen und Schüler sehen, dass die Schwingungen der Stimmgabel regelmäßig „auf und ab“ gehen. Daraus kann man schließen: Töne entstehen, wenn Körper regelmäßig schwingen. Diese Erkenntnis wird im Unterrichtsgespräch mit den Ergebnissen von Versuch 7 verglichen. Dabei wird herausgestellt, dass bei dem Versuch 7 bei den ersten beiden Versuchsreihen verschiedenartige Töne, laute und leise sowie hohe und tiefe, entstanden sind.

Stehen Computer zur Verfügung, ist das Interaktive Bildschirmexperiment „Schallschwingungen“, S. 71, von den Schülerinnen und Schülern in Gruppenarbeit oder als Schülerdemonstrationsversuch durchzuführen. In dem Interaktiven Bildschirmexperiment werden die mit der Stimmgabel erzeugten Schwingungen von einem Mikrofon aufgenommen auf einem Monitor bildlich dargestellt.

## Frequenz

Zur Untersuchung der unterschiedlichen Tonhöhen wird der Versuch 6: „Schallerzeugung mit einem Lineal“ erweitert wiederholt:

Wiederhole den Versuch noch mindestens zweimal und verkürze dabei den über die Tischkante ragenden Teil des Lineals jeweils um 5 cm.

Notiere wiederum deine Beobachtungen und gehe dabei sowohl auf das Gesehene als auch auf das Gehörte ein.

Anschließend werden Vermutungen über den Zusammenhang zwischen der Art eines Tones und der dazugehörenden Schwingung angestellt und im Tafelprotokoll festgehalten:

je höher der Ton ⟶ desto schnellere Schwingungen
je tiefer der Ton ⟶ desto langsamere Schwingungen
je lauter der Ton ⟶ desto größer die Schwingungsweite
je leiser der Ton ⟶ desto kleiner die Schwingungsweite

Die Lehrkraft teilt mit, dass man in der Physik für die Schwingungsweite den Begriff Amplitude verwendet und für „mehr“ und „weniger“ Schwingungen den Begriff „Frequenz“. Die Lehrkraft erklärt, was man unter diesem Begriff versteht und hält die wichtigsten Aussagen dazu im Tafelprotokoll fest:

Die Frequenz gibt an, wie viel Schwingungen ein Körper in einer Sekunde ausführt: Frequenz = Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde (Hz)

Diese Zahl wird nach dem deutschen Physiker Heinrich Hertz (1857 – 1894) Hertz (Hz) genannt. Ein Kilohertz (kHz) sind 1.000 Hertz (Hz).

Eine experimentelle Alternative, Transfer oder auch ein Experiment für eine Lernerfolgskontrolle ist der Versuch 9: „Flaschentöne". Hierzu sind Flaschen schräg über den Rand anzupusten, wobei die Flaschen unterschiedlich hoch mit Wasser gefüllt sind. Je kürzer die schwingende Luftsäule ist, desto höher ist auch hier der Ton.



Stehen Computer zur Verfügung, ist das Interaktive Bildschirmexperiment „Amplitude und Frequenz", S. 76, von den Schülerinnen und Schülern in Gruppenarbeit oder als Schülerdemonstrationsversuch durchzuführen; hierbei werden an einem Generator die Töne verändert und diese auf einem Oszilloskop dargestellt.

Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert die gestellten Aussagen des o.g. Tafelprotokolls unter Verwendung des Begriffs Frequenz neu zu formulieren:
je höher die Frequenz ⟶ desto höher der Ton
je niedriger die Frequenz ⟶ desto tiefer der Ton

Die Audio-Datei Nr. 5 von der CD: „Abhängigkeit des Hörempfindens von der Frequenz", S. 66, demonstriert, dass Töne gleichen Pegels und unterschiedlicher Frequenz unterschiedlich laut wahrgenommen werden.

Zur Vertiefung können Tabellen aus Biologiebüchern genutzt werden, in denen Hörbereiche von Lebewesen aufgelistet sind.

## Darstellung von Schallbildern

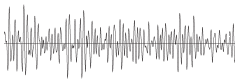
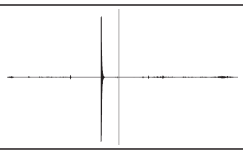
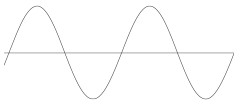
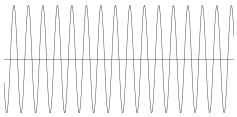
Die Lehrkraft veranschaulicht mit dem Versuch 10: „Oszilloskopische Darstellungen von Schwingungen" Schwingungen verschiedener Schallquellen mit einem Oszilloskop. Hierzu werden Tongenerator, Mikrofon, Verstärker und Oszilloskop benötigt.

Mit geringem Aufwand kann dies im Interaktiven Bildschirmexperiment „Schallschwingungen", S. 71, gezeigt werden, wie Geräusche von einer Stimmgabel, von einem Monochord und vom Zusammenknüllen von Papier aufgenommen und deren Schwingungen über ein Interface auf einem Computer dargestellt werden.

So schlicht dies aussieht, in der Regel stößt die Darstellung der unterschiedlichen Kurvenbilder auf großes Interesse. Aus diesem Grund sollten nicht vorschnell Antworten angeboten, sondern sehr genau Stimmgabel und Monochord verglichen werden, hierbei ist die Frequenzdarstellung von Vorteil, sie zeigt, dass in bestimmten Abständen Frequenzen verstärkt auftreten.

Ausgesprochen anspruchsvoll sind selbst gemachte Aufnahmen, aus denen dann mittels der Software SOUNDS, S. 85, selbst Kurvenbilder erstellt werden.

Die Schwingungen werden von den Schülerinnen und Schülern beobachtet, s.a. die Schwingungsbilder in Abb. 2, S. 21. Der Arbeitsbogen M 24 wird von den Schülerinnen und Schülern bearbeitet. Er dient der Veranschaulichung akustischer Schwingungen und wird wie im „Unterrichtsgeschehen" beschrieben eingesetzt. Ergebnisse wie die folgende Darstellung sind zu erwarten:

| Schallquelle | Schwingungsbilder | Art des Schalls |
|---|---|---|
| Rasseln mit dem Schlüsselbund |  | Geräusch |
| Platzen eines Luftballons |  | Knall |
| Anschlagen einer langen Stimmgabel | | leiser tiefer Ton |
| |  | lauter tiefer Ton |
| Anschlagen einer kurzen Stimmgabel | | leiser hoher Ton |
| |  | lauter hoher Ton |

Wenn im weiteren Verlauf geklärt werden soll, warum die Töne nicht nur unterschiedlich laut oder unterschiedlich hoch sind, sondern auch sonst unterschiedlich klingen, warum Musik manchmal fahl und ein anderes Mal voll klingt, sind die Obertöne zu untersuchen.

## Obertöne

Die Untersuchung der Obertöne ist eine Weiterführung, bei der die Software SOUNDS zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen und Tönen, S. 85, eingesetzt wird. Dabei können

- die Charakteristika männlicher und weiblicher Stimmen und
- von Musikinstrumenten,
- die Komprimierung von Musik in MP3-Dateien und deren Vergleich mit den Originalaufnahmen im WAV-Format sowie
- die Qualität von Handys

behandelt werden. Hierzu können sowohl eigene Aufnahmen gemacht als auch auf der DVD bereits vorliegende Aufnahmen verwandt werden. Für eigene Aufnahmen genügen einfache Mikrofone, die unter 15 € zu erhalten sind.

Die Aufnahme von Musik und anderen Geräuschen, die Wiedergabe übernommener Tonaufnahmen und deren Analyse mittels der Software SOUNDS sowie die Interpretation des Sonogramms und der Fourierspektren sind in der Anleitung zu Sounds, S. 85, erläutert.

Die Aufnahmen sollten in jedem Fall gespeichert und können kopiert ausgedruckt werden. Dann kann man die Maxima ausmessen, die Obertöne genau betrachten und deren Frequenz bestimmen sowie im Zweifelsfall die Aufnahme noch einmal anhören und auch mittels SOUNDS analysieren.

## Charakteristika männlicher und weiblicher Stimmen

Bei der Aufnahme von Stimmen sollte das Mikrofon so gehalten werden, dass es zwar in der Nähe des Mundes ist, nicht jedoch hineingepustet wird.

Zunächst kann man die höchsten und tiefsten Tonlagen aufnehmen und diese miteinander vergleichen. Beim Vergleich der Stimmen sollten die Versuchspersonen in möglichst gleicher Tonlage ein „a“ singen oder sprechen. Abschließend sind wiederum in möglichst gleicher Tonlage von den Versuchspersonen die einzelnen Vokale zu singen oder zu sprechen.

Auf der DVD stehen im Ordner „SOUNDS for BZgA“ unter „Sprache“ Aufnahmen von Sprechern zur Verfügung, die im Unterricht von Björn Hansen erstellt wurden und bei denen der gleiche Text mit unterschiedlichen Frequenzintervallen aufgenommen wurde. Diese Aufnahmen können hier auch verwandt werden.

Welche Regelmäßigkeiten treten auf und wo gibt es typische Unterschiede? Dabei oder im Sonogramm können die Peaks ausgemessen werden, jeweilige Frequenz und Lautstärke. Die Obertöne erscheinen im ganzzahligen Vielfachen des Grundtons, sie bestimmen die Klangfarbe. Bei den verschiedenen Vokalen bleibt der Grundton gleich, die Unterschiedlichkeit wird von den Obertönen bedingt. Und ebenso sind diese für die Stimmunterscheidung wichtig (Länge und Dicke der Stimmbänder sind Ursache unterschiedlichen Schwingverhaltens und damit verschiedenen Klanges). Daraus resultiert ihre Bedeutung bei der Entwicklung von Spracherkennungsprogrammen.

Das Ganze lässt sich spielerisch gestalten, indem z.B. in einem Memory die Aufnahmen von Vokalen zuzuordnen sind oder Aufnahmen von Stimmen mit zugehaltener Nase gemacht und dann Personen identifiziert werden, deren Stimmen bereits analysiert wurden.

## Charakteristika von Musikinstrumenten

Es gibt über tausend verschiedene Musikinstrumente, i.d.R. wird man die Vertreter der typischen Orchesterinstrumente miteinander vergleichen, Holz und Blech oder Violine und Cello etc.. Dazu wird zunächst der Tonumfang festgestellt, der höchste und der tiefste Ton gespielt.

Die Charakteristika werden im Sonogramm sehr deutlich, die Obertöne können wieder gezählt und deren Frequenz bestimmt werden. Ein weiterer Unterschied zeigt sich, wenn der Beginn eines Klanges betrachtet wird. Dazu wird ein Ton aufgenommen resp. wiedergegeben, der Anfang des Tons im Fenster „Übersicht“ markiert und dann das Fourierspektrum betrachtet. In typischer Weise setzen die jeweiligen Obertöne unterschiedlich spät erst ein.

Hierfür liegen auf der DVD im Ordner „SOUNDS for BZgA“ auch Instrumentalaufnahmen bei.

## Vergleich von Originalaufnahmen im WAV-Format mit Komprimierungen im MP3-Format

Bei der Komprimierung von Audiodateien werden Verfahren der Programmierung ebenso wie akustische Phänomene verwandt um den Umfang der Datei mit einem möglichst geringen Verlust an Hörqualität zu vermindern.

Ein Verfahren ist die Hinwegnahme von Obertönen, was mittels SOUNDS bei starker Komprimierung gezeigt werden kann. Dazu ist ein Musikstück im WAV-Format auszuwählen, stark zu komprimieren und dann das Original mit der Komprimierung zu vergleichen. Man kann ebenso gut das Saxophon-Solo aus „Summertimes" wählen, das im Original WAV-Format und als MP3 komprimiert auf der DVD im Ordner „SOUNDS for BZgA" unter „MP3-Komprimierung" zusammen mit Bildern des Sonogramms vorliegt. Hierbei ist anzumerken, dass moderne Komprimierungen deutlich weniger qualitative Einbußen aufweisen und die Unterschiede, wenn überhaupt, kaum noch hörbar sind.

Es empfiehlt sich zum Vergleich der beiden Stücke zwei Fenster von SOUNDS zu öffnen und sie nebeneinander zu betrachten.

## Qualität von Handys

In gleicher Weise werden Handys getestet. Stimmen werden aufgenommen und über Handy auf ein weiteres gesendet, dessen Lautsprecher eingeschaltet ist und dessen Wiedergabe ebenfalls aufgezeichnet wird.

Hierfür werden Mikrofon, Computer und zwei Handys benötigt.

Auf der DVD liegen im Ordner „SOUNDS for BZgA" unter „Handy" eine Originalaufnahme sowie Aufnahmen über das Telefon und über das Handy vor.

Für den Vergleich der Sonogramme sollten mehrere Fenster aufgemacht werden.

# Geräusche und ihre Entstehung

Berichte, wo die unten genannten Geräusche vorkommen und wodurch sie erzeugt werden.

Brummen Rauschen Bellen
Kreischen Schreien
Pfeifen Rumpeln Klappern
Scheppern Quietschen
Klirren Knallen

Vervollständige die folgende Tabelle.

| Geräusch | Vorkommen des Geräuschs | Erzeugung des Geräuschs durch |
|---|---|---|
| Rauschen | Bäume | Bewegung der Blätter im Wind |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

# Schwingungsbilder





Zeichne die Schwingungsbilder in das Raster ein und bezeichne die Art des Schalls.

| Schallquelle | Schwingungsbild | Art des Schalls |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

BAUSTEIN 8

# Ausbreitung von Schall

**Inhalt:**

Ausbreitung von Schall, Schallwellen und Energie, Schallleitung und -empfang, Reflexion und Physik des Mittelohres

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| Versuch 11: | Schallleitung in der Luft (elektronischer Wecker mit unbegrenztem Klingelzeichen oder Handy, Exsikkator, Wasserstrahlpumpe) |
| M 25: | Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – „Gackernde Henne“ (Versuch 12) |
| Versuch 13: | Wasserwellen-Modell (kleines Schälchen, Wasser, Stab, Styropor- oder Korkstückchen, OH-Projektor) |
| M 5 und M 6: | Interaktives Bildschirmexperiment Longitudinal- und Transversalwellenmodell, S. 78 und Computer |
| Versuch 14: | Schallausbreitung durch feste Stoffe (tickende Uhr, Schwamm, Tischplatte) |
| Versuch 15: | Schallausbreitung in Flüssigkeiten (zwei Bechergläser à 300 ml und 500 ml, Styropor- oder Korkstückchen oder kleiner Tafelschwamm, tickende Armbanduhr, Wasser) |
| Versuch 16: | Anblasen einer Kerzenflamme (leichtes Rohr, Folie, Weckgummi, Kerze, Schlägel) |
| Versuch 17: | Tanzende Reiskörner, auch „Reistopf“ genannt (Topf, Folie, Ringgummi, Kochlöffel und Backblech sowie einige Reiskörner) |
| Versuch 18: | Zwei Tamburine (2 Tamburine mit Schlägel) |
| Versuch 19: | Zwei Stimmgabeln |
| Versuch 20: | Klingende Weingläser (2 Weingläser, Draht) |
| Versuch 21: | Reflexion von Schall an der Wasseroberfläche (wasserdichte läutende Uhr) |
| Versuch 22: | Ohrdruck |

**Zeitrahmen:**

Ca. 3 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Ausbreitung von Schall**

Um zu demonstrieren, dass für die Weiterleitung des Schalles ein Medium notwendig ist (im Gegensatz zu elektromagnetischen Wellen), wird Versuch 11: „Schallleitung in der Luft“ durchgeführt:

Man stellt einen Wecker, der nach etwa 3 Minuten klingeln soll, oder ein Handy, das angerufen wird, in einen Exsikkator. In dem Exsikkator wird mittels einer Wasserstrahlpumpe ein Unterdruck erzeugt.

Mit sinkendem Luftdruck sind Wecker resp. Handy leiser zu hören, weil die Dichte des den Schall übertragenden Mediums, die Luft, abnimmt. Es wird deutlich, dass Schall eines leitenden Mediums bedarf und nicht im Vakuum weitergeleitet werden kann sowie dass der Schall in diesem Fall durch das gasförmige Medium Luft übertragen wird.

Sollten die für diesen Versuch benötigten Geräte nicht zur Verfügung stehen, kann unmittelbar mit dem folgenden Bau der „Gackernden Henne" begonnen werden.

Als Hausaufgabe sollen die Schülerinnen und Schüler den Versuch Nr. 12: „Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – ‚Gackernde Henne'" vorbereiten und erhalten für den Bau die Anleitung M 25. Der Arbeitsauftrag wird besprochen, sodass sie die Aufgabe zu Hause lösen können. Die von den Schülerinnen und Schülern hergestellten Schallquellen sollen später zur Erklärung der Schallausbreitung als Längs- oder Longitudinalwelle herangezogen werden.

Die Schülerinnen und Schüler stellen die von ihnen angefertigten „Gackernden Hennen" vor und beschreiben ihre beim Experimentieren gewonnenen Wahrnehmungen, wie z.B.:

- Wenn man mit dem Finger an dem Faden zieht, entsteht ein brummendes Geräusch, der Faden bewegt sich etwas.
- Wenn ein gackerndes Geräusch entsteht (deshalb spricht man auch von der „Gackernden Henne"), bewegt sich der Faden leicht auf und ab.
- Wenn man ein leises Schnurren hört, schwingt der Faden dabei.

Nunmehr soll die Schallausbreitung erklärt werden. Da diese Thematik für Schülerinnen und Schüler relativ schwer zu verstehen ist, sollte zunächst das Wasserwellen-Modell (Versuch 13: „Wasserwellen-Modell") demonstriert werden:

Eine mit Wasser gefüllte Schale wird auf den OH-Projektor gestellt. Mit einem Stab wird das Wasser an einer Stelle bewegt (Erregerzentrum).

Man erkennt Wellen, die vom Erregerzentrum ausgehen.

Ob sich dabei das Wasser vom Erregerzentrum selbst oder nur die vom Erregerzentrum erzeugte Wellenform der Oberfläche weg bewegt, wird im Folgenden geprüft: Man legt ein kleines Stückchen Kork auf die Wasseroberfläche und erregt das Wasser erneut.

Dabei beobachtet man, dass sich das Korkstück nicht zum Gefäßrand bewegt, sondern an der Oberfläche des Wassers in seiner ursprünglichen Position verbleibt und nur rauf und runter schwingt.

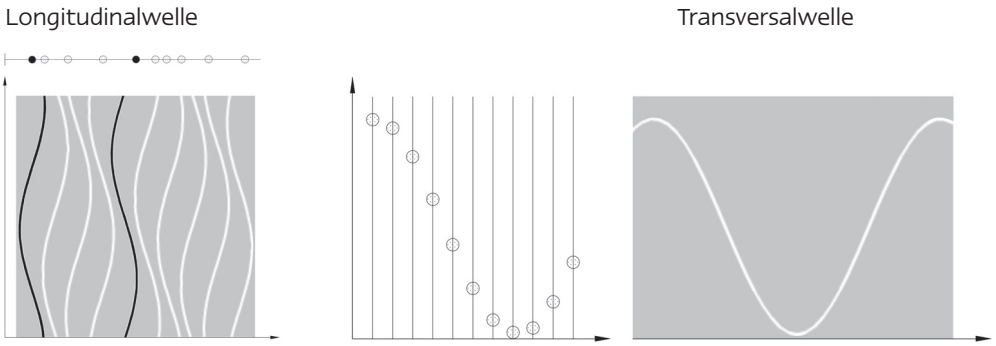
Dieses Modell zeigt sehr anschaulich und deutlicher als jedes andere, dass bei den sich ausbreitenden Wellen die schwingenden Teilchen – hier Kork oder Styropor – selber am Ort bleiben, die mit den Wellen auf und ab schwingen, jedoch im Gegensatz zur Welle am Ort bleiben und nicht fortgeleitet werden. Müssten die Teilchen mit der Welle mitlaufen, wäre die Welle auch viel langsamer.

Das Modell hat allerdings die Schwäche, dass die Wasserwellen Transversalwellen sind. Wenn das Wasserwellen-Modell zum Einsatz kommt, ist zwingend auf den Unterschied hinzuweisen, dass die Teilchen bei den Schallwellen nicht auf und ab, sondern vor und zurück schwingen.

Der Versuch 12: „Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – ‚Gackernde Henne'" zeigt dies sehr deutlich: Ein Festkörper schwingt hin und her und verdichtet und verdünnt dabei die Luft: Schallwellen als Luftdruckschwankungen, Wechseldruck.

Stehen Computer zur Verfügung, kann das Interaktive Bildschirmexperiment: „Longitudinal- und Transversalwellenmodell", S. 78, eingesetzt werden, bei dem die Schülerinnen und Schüler wiederholt die unterschiedlichen Wellenverläufe sowie die Beziehung von Schwingung und Welle zueinander beobachten und sich so die Denkmodelle aneignen können.

Eine Welle ist ein physikalisches Phänomen, das sich durch die zeitlich und räumlich periodische Änderung der physikalischen Größe beschreiben lässt. Die Wellenausbreitung entsteht dabei durch die Kopplung räumlich benachbarter Schwingungen, s. S. 19.




Grafische Darstellung des Interaktiven Bildschirmexperiments M 5 und M 6: Longitudinal- und Transversalwellenmodell.

Die **Längs-** oder **Longitudinalwelle** zeigt eine Wellenbewegung, bei der die Schwingungen längs der Wellenbewegung erfolgen. Sieht man durch einen „Sehschlitz" – wie in dem Interaktiven Bildschirmexperiment –, dann sieht man entlang der Ausbreitungsrichtung unterschiedlich dicht verteilte Teilchen, die im Laufe der Zeit in Richtung der Ausbreitung hin und her schwingen.

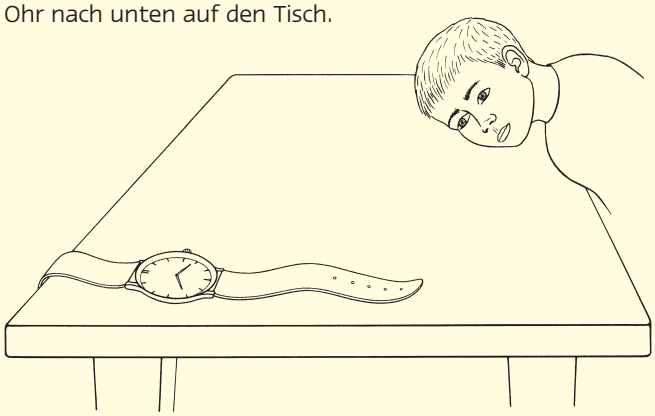
Der Schall breitet sich in Luft durch regelmäßig aufeinanderfolgende Verdichtungen und Verdünnungen, Luftdruckschwankungen, aus.

Die Ausbreitung dieser Schwankungen in Raum und Zeit wird Welle genannt.

Bei der **Quer-** oder **Transversalwelle** schwingen die Teilchen dagegen senkrecht zur Ausbreitungsrichtung. Sieht man wiederholt durch einen Sehschlitz, sieht man – senkrecht zur Ausbreitungsrichtung – die Teilchen in ihren jeweiligen Lagen beim Hin- und Herschwingen.

Zur Klärung der Frage, ob Schall nicht nur in der Luft, sondern auch in Festkörpern und flüssigen Stoffen weitergeleitet wird, wird für Festkörper und Flüssigkeiten je ein weiterer Versuch durchgeführt, für Festkörper Versuch 14: „Schallausbreitung durch feste Stoffe":

Im Versuch liegt eine Uhr auf einer Tischplatte. Die Schülerin oder der Schüler legt den Kopf mit einem Ohr nach unten auf den Tisch.



Anschließend wird die Uhr auf einen Tafelschwamm gelegt. Die Schülerin oder der Schüler beschreibt erneut seine Wahrnehmungen und stellt einen Vergleich an.

In beiden Fällen war das Ticken der Uhr zu hören. Als sie direkt auf dem Tisch lag, hörte man es stärker als mit dem Schwamm zwischen Tisch und Uhr. Als Ergebnis wird im Tafelprotokoll festgehalten:
Harte Stoffe übertragen den Schall gut. Weiche Stoffe dämmen den Schall.

Die Schallleitung in Flüssigkeiten zeigt der Versuch 15: „Schallausbreitung in Flüssigkeiten".

Es werden zwei Bechergläser (300 ml und 500 ml) benötigt. Eine Armbanduhr kommt in das kleinere Becherglas. Das Becherglas mit 300 ml Inhalt wird in das Becherglas mit 500 ml Inhalt gesetzt und wird dort auf ein Stückchen Styropor, Kork oder einen kleinen Schwamm gelegt. Anschließend wird das größere Becherglas vorsichtig mit etwas Wasser gefüllt. Hierbei darf kein Wasser in das Glas mit der Uhr gelangen. Mehrere Schülerinnen und Schüler legen ihr Ohr an das äußere Becherglas (500 ml) und beschreiben, was sie hören.

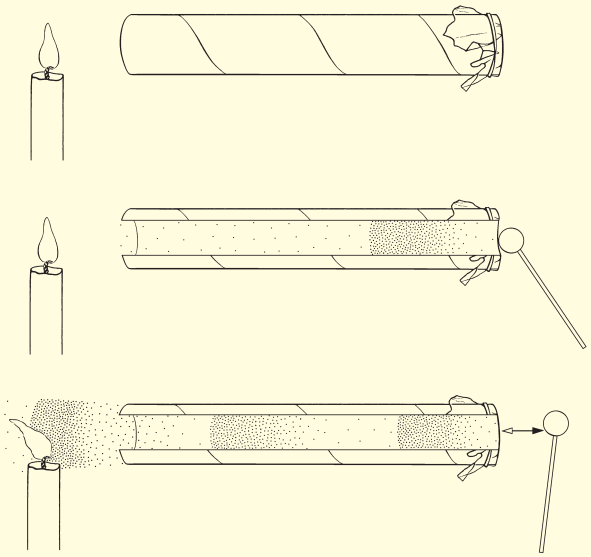
Das Ticken der Armbanduhr ist deutlich zu hören. Aufgrund dieser Erkenntnis erweitern die Schülerinnen und Schüler das Tafelprotokoll:
Wasser und andere Flüssigkeiten übertragen den Schall gut.

## Schallwellen und Energie

Körper schwingen, unabhängig von ihrem Aggregatzustand, Schallwellen breiten sich aus. Für all das – es ist trivial – wird Energie benötigt. Ein Umstand, der, da nicht unmittelbar wahrgenommen, häufig negiert wird, wenn es um Lautstärke geht: Energie, die – im Übermaß – das Gehör schädigt.

Die Übertragung der Bewegungsenergie wird sehr deutlich, wenn man im Versuch 16: „Anblasen einer Kerzenflamme" mit den Schallwellen eine Kerze auspustet.

Es wird ein Rohr genommen und das eine Ende mit einer starken Folie bespannt. Das andere Ende wird dann auf eine brennende Kerze ausgerichtet und anschließend mit einem Schlägel kräftig auf die Folie geschlagen.

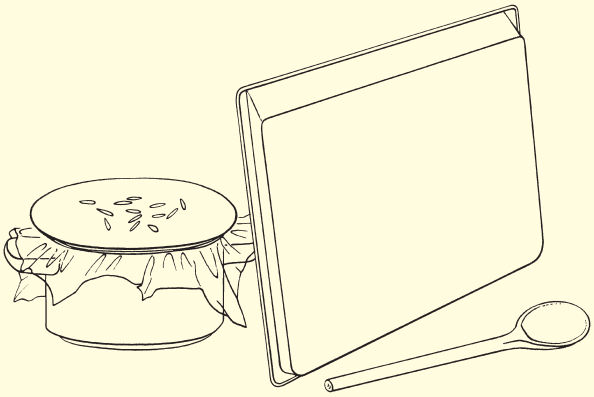


Die Kerze erlischt. Dass dies mit Energie verbunden ist, können die Schülerinnen und Schüler aus der Alltagserfahrung herleiten: Zum Anblasen wird Energie benötigt, was besonders dann deutlich wird, wenn man aus großer Entfernung eine Kerze erlöschen lassen möchte.

## Schallleitung und -empfang

Die Schallweiterleitung überzeugend darstellende Experimente sind die „Tanzenden Reiskörner", auch „Reistopf" genannt, und die „Zwei Tamburine":

Beim Versuch 17: „Tanzende Reiskörner", auch „Reistopf" genannt, wird ein Stück Plastikfolie oder ein zerschnittener Luftballon mittels eines Gummirings über einen Topf gespannt und auf diese dann Reiskörner gelegt. Dann wird mit einem großen Holzlöffel auf ein Backblech oder eine Kasserolle kräftig geschlagen.

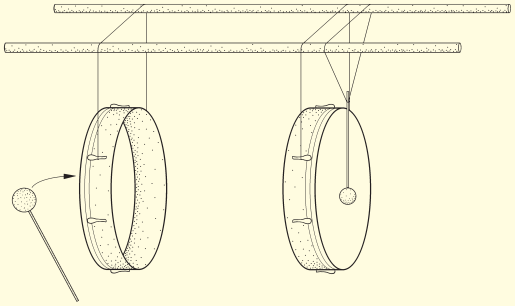


Im auswertenden Gespräch sollen die Schülerinnen und Schüler festhalten: Die Schallwellen bringen die Folie zum Schwingen und diese lässt dann die Reiskörner tanzen, so wie die Schallwellen das Trommelfell zum Schwingen bringen, das dann die Knöchelchen bewegt. Das Blech ist die Schallquelle und der Reistopf der Empfänger, so wie die Stimmbänder eines Menschen und die Membran eines Mikrofons.

Sehr deutlich und dem Hörvorgang ähnlich werden die Zusammenhänge beim Versuch 18: „Zwei Tamburine“:

Zwei Tamburine werden eng nebeneinander gehalten, ohne dass sie sich berühren. Sie sind jeweils an zwei Punkten aufzuhängen, sodass sie sich nicht drehen können, z.B. an zwei Stativstangen oder auch von zwei Schülerinnen und Schülern gehalten.

An einem der Tamburine wird ein kleiner (möglichst leichter) Schlägel mit einer Schnur befestigt. Der Schlägel berührt das Fell dieses Tamburins. Schlägt man auf das andere Tamburin, springt der Schlägel des zuerst genannten Tamburins weg.



Die Schülerinnen und Schüler erweitern das Tafelprotokoll:
Die mechanische Schwingung wird vom Fell des einen Tamburins über die – zwischen den Tamburinen befindliche – Luft auf das Fell des zweiten Tamburins und schließlich auf den zweiten Schlägel übertragen.

Die durch die Luft weitergeleiteten und auf das zweite Tamburin auftreffenden Schallwellen werden auf die Festkörper des Tamburins, Fell und Schlägel, übertragen und in Bewegung gesetzt, ganz so wie das Trommelfell und die Mittelohrknöchelchen des menschlichen Gehörs. Diese Analogie sollte systematisch erarbeitet werden.

Als Übung oder Lernerfolgskontrolle eignet sich Versuch 19: „Zwei Stimmgabeln“:

Eine Stimmgabel wird angeschlagen und danach festgehalten, so dass sie nicht mehr schwingt. Man hört dann den Ton der anderen, die mitschwingt, also aufgrund der Schallübertragung durch die Luft in Schwingung gebracht sein muss.

Im Mittelohr werden die Schallwellen über die Ohrknöchelchen auf das ovale Fenster zum Innenohr übertragen.

Dies zeigt dann modellhaft der Versuch 20: „Klingende Weingläser“ sehr gut:

Zwei dünnwandige halb gefüllte Weingläser werden nebeneinandergestellt. Dann wird ein vorher nass gemachter dünner Draht, z.B. eine aufgebogene Büroklammer, auf die Ränder der beiden Gläser gelegt. Anschließend wird auf dem Rand eines Glases langsam mit nassem Zeigefinger entlanggefahren und im zweiten Glas schwingt die Wasseroberfläche und das Glas tönt mit.

Beim genauen Beobachten wird auch deutlich, dass der Draht viel weniger als die Wasseroberfläche schwingt, die scheint dem Schall weniger Widerstand entgegenzusetzen, s. 2.1: „Schall“, S. 19.

Der Draht entspräche den Knöchelchen, die ihre Schwingungen auf das zweite Glas, wie die Knöchelchen die Schwingungen auf das ovale Fenster übertragen, das zweite Glas resp. das ovale Fenster sind in Schwingungen gebracht und übertragen diese dann auf die „dahinter“ liegenden Flüssigkeiten, Wasser, resp. beim ovalen Fenster auf die Innenohrlymphe.

## Reflexion und Physik des Ohres

Das Echo ist ein allen bekanntes Phänomen des Schalls. Schallwellen werden ebenso wie andere Wellen teilweise reflektiert, wenn sie auf ein anderes Medium treffen, das sie dann weiterleitet. Dies ist beim Hören bedeutsam: Die Schallwellen in der Luft werden im Mittelohr so an die Flüssigkeitswellen im Innenohr angepasst, dass die Umwandlung ohne starke Verluste durch Reflexion erfolgt.

Die Bedeutung des Mittelohres wird beim Versuch 21: „Reflexion von Schall an der Wasseroberfläche“ erfahrbar.

Eine wasserdichte, läutende Uhr wird in ein kleines Aquarium gelegt. Die Schülerinnen und Schüler halten ein Ohr in das Wasser des Beckens und vergleichen die Lautstärke, die sie im Wasser gehört haben, mit der an der Wasseroberfläche.

Außerhalb des Wassers ist der Schall deutlich leiser. Er ist offenkundig nicht in voller Stärke durch die Wasseroberfläche gelangt. An der Tafel wird festgehalten: Der Schall tritt nicht vollständig von einem Medium in ein anderes Medium über. Ein Teil wird an der Grenzfläche reflektiert. Dieser Teil ist oft recht groß.

Das Mittelohr verhindert, dass beim Eintritt des Schalls in das Ohr und den Übertritt in die Innenohrflüssigkeit nicht der Großteil der Schallenergie durch die schalldämmende Reflexion verloren geht. Die Energie des Luftschalls wird nämlich zunächst in Bewegungsenergie der Knöchelchen umgewandelt. Diese übertragen dann diese Energie auf das ovale Fenster und wandeln dabei die Schallwellen zu Wellen mit kleinen Amplituden und großem Druck (s. 2.2: „Hören“, S. 26) um, schließlich erreichen diese die Innenohrflüssigkeit mit der Basilarmembran, die die eigentlichen Sinneszellen trägt.

Das Ohr wirkt im Ganzen als Schalldruckempfänger, wie ein kleiner Versuch 22: „Ohrdruck“ zeigt:

Die Schülerinnen und Schüler halten sich die Nase zu und erhöhen bei geschlossenem Mund den Druck in der Mundhöhle.

Dabei beobachten sie zum einen das Druckgefühl in den Ohren und zum anderen die Hörempfindung.

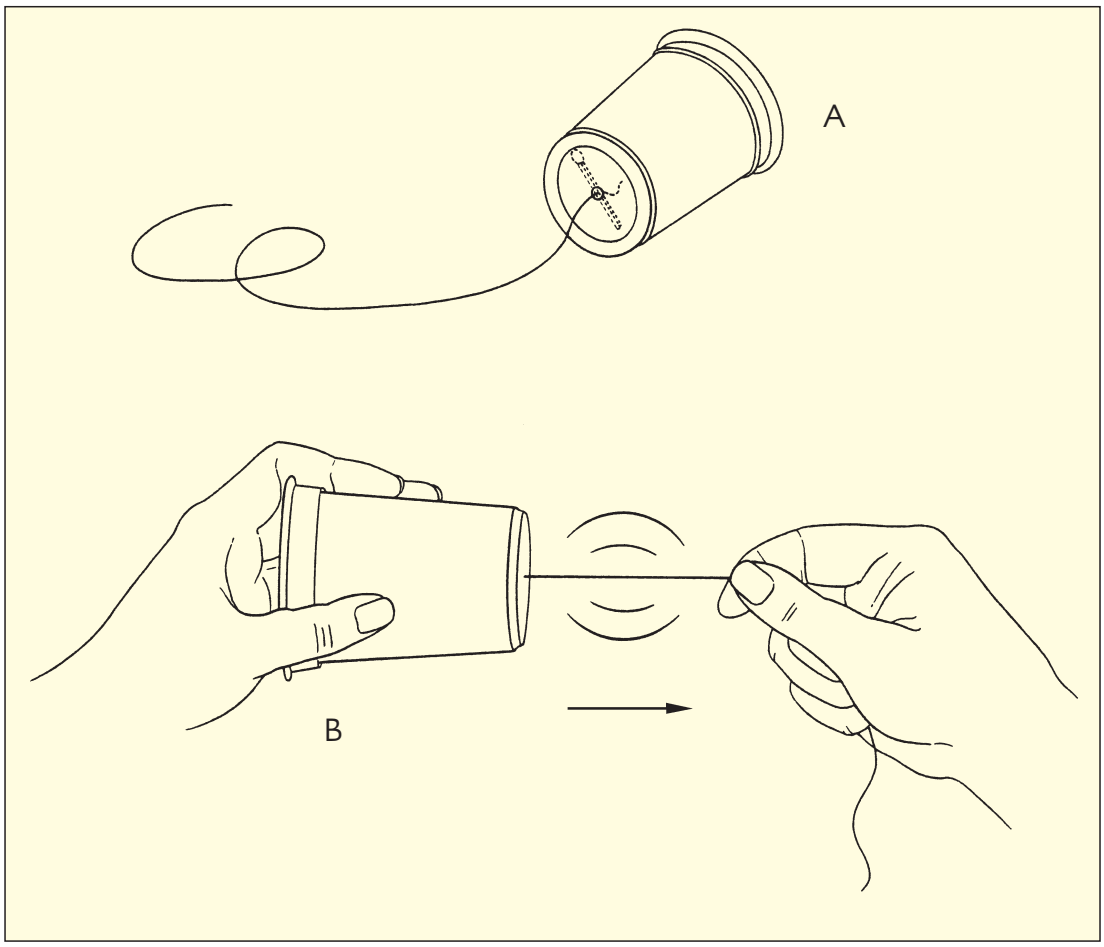
Der Druck kann leicht wahrgenommen werden, ebenso die verminderte Hörfähigkeit. Offenkundig wird Schallwahrnehmung durch Druckunterschiede beeinflusst, da das Ohr wie auch Mikrofone Schalldruckempfänger sind.

Das Mittelohr reicht aber die aufgenommenen Schallwellen nicht 1:1 weiter. Die beiden wichtigsten Aufgaben des Mittelohres mit seinen Knöchelchen sind erstens die Vermeidung von Reflexionsverlusten und zweitens eine reflektorische Schutzfunktion gegen zu große Schallbelastungen, s. Baustein 14: „Bau und Funktion des Ohres“, S. 190.

# Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – „Gackernde Henne“

**Arbeitsaufträge:**

1. In einen leeren und sauberen Joghurtbecher ist in die Mitte des Bodens eine winzige Öffnung zu bohren. Durch diese wird ein Zwirnsfaden (ca. 20 bis 30 cm lang) gezogen. Der Faden wird innen um ein Streichholzstückchen geknotet, so dass er nicht mehr aus dem Loch rutschen kann (A).




2. Ziehe mit den Fingern einer Hand am gestrafften Faden (B). Was beobachtest und was hörst Du?

3. Was stellst Du fest, wenn Du so vorgehst wie bei 2., aber die Öffnung des Bechers mit einer Hand im Wechsel abdeckst und öffnest?

BAUSTEIN 9

# Messung der Lautstärke

**Inhalt:**

Lautstärke, Schallpegel, dB, Pegelmessgerät, Entfernung und Lautstärke.

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 26: | Aufbau und Funktion eines Schallpegelmessers |
| OH-Folie | und/oder Vervielfältigungen von Abb. 3: „Angabe der Schallleistung und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen“, S. 23 |
| M 1: | Audio-Datei Nr. 3: „Abhängigkeit des subjektiven Hörempfindens vom Pegel“, S. 65 und CD-Player |
| M 7 | Interaktives Bildschirmexperiment „Schallpegelmessung“, S. 81, und Computer |
| M 27: | Übungen zu Schallpegelmessungen (Schallpegelmesser, OH-Folie und/oder Vervielfältigungen der Abb. 3: „Angabe der Schallleistung, des Schalldrucks und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen“, S. 23) |
| M 1: | Audio-Datei Nr. 4: „Wahrnehmbarkeit von Pegelsprüngen“, S. 66 und CD-Player, ggf. Schallpegelmesser resp. Oszilloskop und Mikrofon |
| Versuch 23: | Entfernung (Niederfrequenzverstärker, Miniaturlautsprecher, Schallpegelmessgerät) |

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 – 2 Unterrichtsstunden.

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Messung der Lautstärke**

Die Lehrkraft erzählt zum Einstieg folgende Geschichte:
Peter hört gern laute Musik. Er findet das schön. Er hat zum Wechseln der CD den CD-Player ausgeschaltet und den Kopfhörer abgelegt. Danach dreht er die Lautstärke an seinem Discman wieder auf. Als seine Schwester Nina ins Zimmer kommt, möchte sie auch einmal die Musik hören. Geschockt gibt sie den Kopfhörer an Peter zurück und sagt: „Bei dieser Lautstärke machst du dir ja die Ohren kaputt.“ Peter dagegen entgegnet ihr: „Sieh mal, ich habe den Lautstärkeregler erst auf 3/4 stehen“.

Wenn Zeit ist, lässt sich eine ähnliche Geschichte auch als Rollenspiel von zwei Schülerinnen oder Schülern aufführen.

Im Unterrichtsgespräch soll deutlich werden, dass Menschen Schall unterschiedlich laut empfinden. Mit den Begriffen „laut“, „sehr laut“, „leise“ usw. kann man Schall nur ungefähr kennzeichnen. Um herauszubekommen, wie laut Schall wirklich ist, muss man die Lautstärke messen, dafür benötigt man ein Gerät und eine Maßeinheit.

Die Lehrkraft projiziert die Folie von M 26 und erläutert anhand des Blockschaltbildes den Aufbau und die Funktion eines Schallpegelmessers.

Die wichtigsten Teile eines Schallpegelmessers sind ein Mikrofon, ein Verstärker, ein sogenannter A-Filter (für die gehörrichtige Frequenzbewertung), eine Zeitbewertung (Anzeigemitteilung: langsam/schnell) und ein Anzeigeinstrument zum Ablesen der Werte.

Bei Messungen mit diesem Gerät tritt die Größe dB (Dezibel) auf. Hierzu bedarf es einiger Erläuterungen, s. 2.1: „Schall“, S. 19. Zum besseren Verständnis der Größe „dB“ projiziert die Lehrkraft eine OH-Folie der Abb. 3: „Angabe der Schallintensität und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen“, S. 23. Der Zusammenhang zwischen Schallintensität und der Größe „dB“ ist für die Schülerinnen und Schüler schwer zu verstehen und benötigt die Veranschaulichung mittels Beispielen seitens der Lehrkräfte:

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Dezibelangaben der Geräte auf „Gehörrichtigkeit“ eingestellt sind und deshalb hinter das Zeichen für Dezibel dB in Klammern der Buchstabe A gesetzt wird, also: dB (A), und dass, sofern nicht etwas anderes beabsichtigt wird, die Zeitbewertung auf schnell (fast) geschaltet wird.

Wenn man von einem Lautsprecher Musik hört und anschließend einen zweiten Lautsprecher zuschaltet, so empfindet man die Lautstärke mit zwei Lautsprechern keinesfalls als doppelt so laut. Das wäre erst bei 10 Lautsprechern der Fall (Audio-Datei Nr. 3 der CD: „Abhängigkeit des subjektiven Hörempfindens vom Pegel“, S. 65). Eine Vervierfachung der Lautstärke erhält man erst durch das Aufstellen von 100 Lautsprechern. Mit einem Schallpegelmesser oder einem Oszilloskop und angeschlossenem Mikrofon kann dies quantitativ demonstriert werden.

Die Messung wird im Interaktiven Bildschirmexperiment M 7: „Schallpegelmessung“, S. 81, gezeigt.

Zusätzlich kann folgende Erklärung gegeben werden: Mit den Begriffen „laut“ und „leise“ wird die subjektiv empfundene Lautstärke eines Schalleindrucks beschrieben. Objektiv feststellbar ist mit physikalischen Messgeräten der wechselnde Luftdruck. Als Maß für die vom Schall ausgelösten Reize hat man die Dezibelskala geschaffen. Dabei wird die Schallstärke, die die Schallwelle erzeugt, mit der verglichen, die gerade noch wahrgenommen werden kann (Hörschwelle). Markante Werte sind der Tabelle zu entnehmen:

| | |
|---|---|
| 0 dB (A) | Hörschwelle des menschlichen Ohres, |
| 60 dB (A) | Stressreaktionen im Schlaf (häufig ohne Aufweckreaktion!), |
| 90 dB (A) | Auftreten von Hörschäden bei längerer Einwirkung, |
| 130 dB (A) | Schmerzgrenze des menschlichen Ohres und |
| 150 dB (A) | führt zu irreparablen Schäden vom Innenohr in ca. 1 Sekunde. |

Tab. 16: Markante Schallpegel, Schwellen- und Grenzwerte.

In einem weiteren Experiment sollen die Schülerinnen und Schüler Schallpegel messen. Vorher sollen dafür Beispiele von Lärm ausgewählt werden,

- die im Schulalltag untersucht werden können (z.B. Pausenklingel, Pausenlärm, Schallpegel während des Unterrichts, in der Turnhalle oder bei der Essenausgabe).
- Weitere Möglichkeiten sind Messungen während des Schulwegs, Straßenlärm und Schallpegel innerhalb der öffentlichen Verkehrsmittel.
- Die Lautstärke in der Wohnung, der eindringende Straßenlärm, evt. bei geöffnetem Fenster in Zimmern, in denen geschlafen wird, sowie die der Haushaltsgeräte können ebenso gemessen werden wie die
- MP3- und CD-Player, Kino-Innenräume oder Discos, beliebte Geräte resp. Orte zur Unterhaltung.

Die Schülerinnen und Schüler schätzen zunächst die Dezibelwerte für die von ihnen ausgewählten Lärmbeispiele und überprüfen sie anschließend durch die Messungen.

Da die Gruppen jeweils ein Messgerät benötigen und i.d.R. nicht genügend Geräte vorhanden sind, ist ein Arbeitsablauf zu verabreden, bei dem zum einen die jeweiligen Messzeitpunkte festgehalten werden und zum anderen für die Unterrichtszeiten vereinbart wird, was diejenigen tun, die gerade nicht im Besitz eines Schallpegelmessers sind.

Die Schülerinnen und Schüler bestimmen die Schallpegel der von ihnen gewählten Beispiele mit dem Schallpegelmesser und tragen ihre Ergebnisse in das Tabellenraster von M 27: „Übungen zu Schallpegelmessungen“ ein. Die gemessenen Werte werden mit den vorher geschätzten Werten verglichen.

Es hat sich gezeigt, dass es für Schülerinnen und Schüler interessanter ist, wenn sie selbst gewählte Beispiele untersuchen können. Große Abweichungen traten bei einigen Schülergruppen zwischen den geschätzten und den gemessenen Werten auf. Viele Schülerinnen und Schüler kamen dadurch zu der Erkenntnis, dass die Gefährlichkeit des „Alltagslärms“ häufig unterschätzt wird.

Zum besseren Verständnis der ermittelten Werte wird die Abb. 3: „Angabe der Schallintensität und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen“, S. 23, herangezogen und wird die Audio-Datei Nr. 4 der CD: „Wahrnehmbarkeit von Pegelsprüngen“, S. 66, vorgespielt resp. mit Schallpegelmesser oder Oszilloskop und Mikrofon demonstriert. Sie können mit den Angaben der Grafik verglichen werden. Gleichzeitig besteht die Möglichkeit, die gemessenen Werte bezüglich ihrer gesundheitlichen Folgen einzuschätzen.

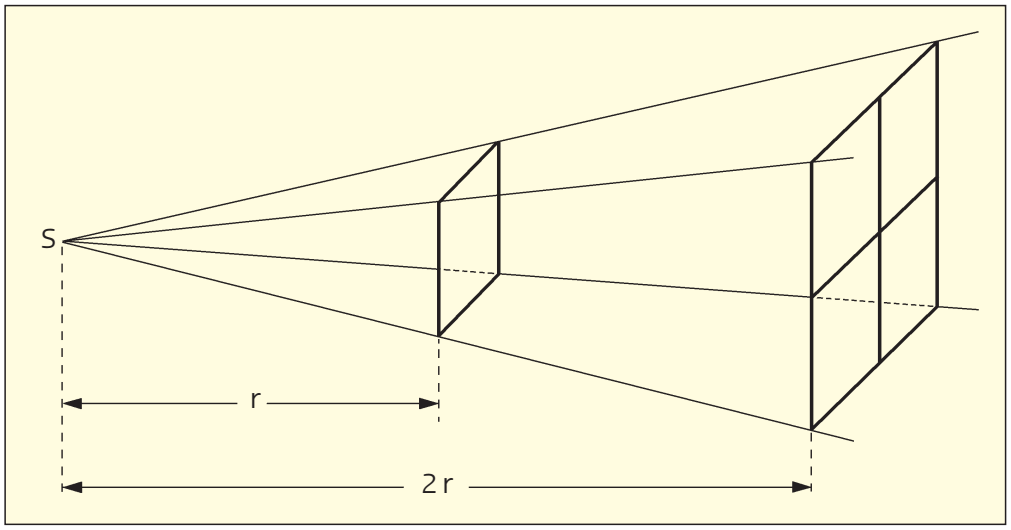
Die wesentlichen Ergebnisse werden in einer Tafelnotiz festgehalten:
Die Lautstärke gibt an, wie stark oder wie laut man verschiedene Arten von Schall empfindet. Sie hängt mit dem Schallpegel zusammen, der mit dem Schallpegelmesser in dB (A) gemessen wird (Verdoppelung der Schallintensität ergibt eine Schallpegelzunahme von 3 dB; doppelt so laut wahrgenommene Lautstärke ergibt eine Schallpegelzunahme von 10 dB und damit eine Verzehnfachung der Schallintensität).

## Entfernung und Lautstärke

Natürlich ist die wahrgenommene Lautstärke abhängig von der Entfernung der Geräuschquelle; die quadratische Beziehung (umgekehrte Proportionalität) von Reizstärke und Entfernung der Reizquelle wird im Physikunterricht meist an der Beleuchtungsstärke vermittelt, kann jedoch auch bei der Lautstärke gezeigt und experimentell gemessen werden, Versuch 23: „Entfernung".

Ein Miniaturlautsprecher dient als Schallquelle. Zur Vermeidung störender Reflexionen ist er auf einem Stativ möglichst weit entfernt von Tischplatte, Wand und Boden zu befestigen. Der Schallpegel niederfrequenten Rauschens wird dann in unterschiedlicher Entfernung von der Schallquelle gemessen. Rauschen als Signalquelle vermeidet die Bildung stehender Wellen und niederfrequent klingt für die Schülerinnen und Schüler angenehm.

Die Schülerinnen und Schüler skizzieren, dass mit der Verdoppelung der Entfernung Breite und Höhe der „Schallwellenfront" sich verdoppeln, also die „Schallfront" viermal größer und damit die Schallleistung viermal (22) kleiner ist:

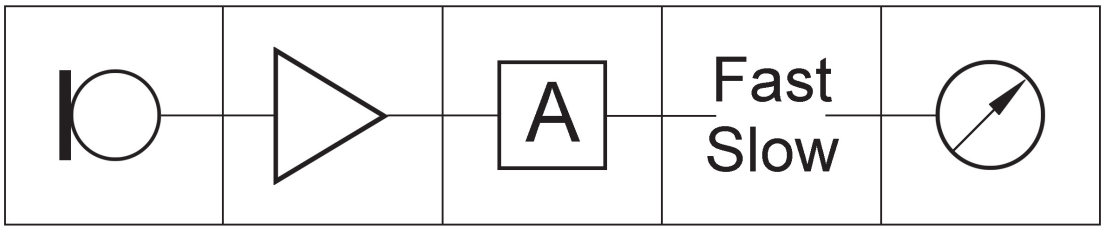



Zusammenfassend wird formuliert:
Die Lautstärke hängt ab von der Schallquelle und von deren Abstand zum Ohr: Je weiter entfernt die Schallquelle ist, desto geringer ist die empfundene Lautstärke.

Dies gilt nur für punktförmige Schallquellen, bei denen sich die Schallwellen kugelförmig um die Quelle ausbreiten. Da die Kugeloberfläche mit dem Quadrat des Radius anwächst, nimmt der Schallpegel bei Entfernungsverdoppelung um 6 dB ab.

Bei linienförmigen Schallquellen, wie z.B. bei stark befahrenen Straßen und Autobahnen, kommen ja von allen Punkten Fahrgeräusche, die sich addieren. Um die linienförmige Schallquelle breitet sich der Schall zylinderförmig aus. Die Zylinderoberfläche wächst proportional mit dem Radius. Deshalb nimmt dort der Schalldruck mit der Entfernung nur langsamer ab: bei doppelter Entfernung um 3 dB.

# Aufbau und Funktion eines Schallpegelmessers




Mikrofon | Verstärker | A-Filter | Geschwindigkeit | Spannungsmesser für die Anzeige

# Übungen zu Schallpegelmessungen

Schätzt und messt den Schallpegel bei fünf Beispielen, die ihr selbst aussucht.

| **Geräuschbeispiel**<br>**Abstand von der Schallquelle** | **Schallpegel**<br>**geschätzt** | <br>**gemessen** |
|---|---|---|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

BAUSTEIN 10

# Lärm

**Inhalt:**

Definition von Lärm, Möglichkeiten von Lärmminderungen

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| Versuch 24: | Belästigung durch Lärm (Audio-Dateien Nr. 38 bis 42 der CD: „Kompressor“, „Schmiedehammer mit Stanze“, „Plastzerkleinerungsmaschine“, „Kantenfräser“ und „Abfüllanlage“, S. 69 und CD-Player) |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 25 bis 28: „Kompressor ohne und mit Schallschutz“, „freistehende Presse“ und „Presse mit Einhausung“, S. 68 und CD-Player |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 22 und 23: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand“, S. 68 und CD-Player |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 29 und 30: „Werkhalle ohne und mit Reflexionsschutz an Decken und Wänden“, S. 68 und CD-Player |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 31 bis 37: „Wirkung von Gehörschützern“, „richtige und falsche Anwendung von Gehörschützern“, „Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz“ S. 68 und 69 und CD-Player |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 35 und 37: „Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz“, S. 69 und CD-Player |

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 Unterrichtsstunde

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Was ist Lärm?**

Die Behandlung des Themas Lärm beginnt mit der Definition des Begriffs. Im Zusammenhang damit wird Versuch 24: „Belästigung durch Lärm“ durchgeführt:

Die anschließende Darstellung und Auswertung der Beobachtungsergebnisse der beiden Schülerinnen und Schüler ergab in den Erprobungen z.B. Folgendes:

Die Lehrkraft spielt den Schülerinnen und Schülern ohne Kommentar mit den Audio-Dateien 38 bis 42 von der CD, S. 69, unangenehme Geräusche vor. Der mittlere Schallpegel sollte dabei 85 bis 90 dB (A) betragen (vor dem Unterricht Wiedergabegerät entsprechend einstellen). Nach etwa 3 bis 4 Minuten wechselt die Lehrkraft und spielt mit gleicher Lautstärke Popmusik vor. Zwei Schülerinnen und Schüler werden heimlich vor der Stunde beauftragt, während des Versuchs die Mimik und Gestik der Mitschülerinnen oder Mitschüler zu beobachten und anschließend zu beschreiben.

- Einige Schülerinnen und Schüler haben während der „Geräuschphase“ einen verkrampften und ärgerlichen Gesichtsausdruck.
- Andere halten sich die Ohren zu.
- Bei der Discomusik hingegen hellen sich die Gesichter auf, einige freuen sich und gehen im Rhythmus der Musik mit.

Die Schülerinnen und Schüler nennen in der anschließenden Diskussion ihre Argumente, weshalb ihnen die Discomusik besser gefallen hat als die Beispiele aus der „Geräuschphase“. Die Meinungen werden in einer Tafelnotiz festgehalten, wie z.B.:

| Argumente | |
|---|---|
| **für Discomusik** | **gegen Geräusche** |
| angenehm, höre ich auch zu Hause | viel zu laut |
| empfand ich nicht als laut | hat mich „genervt“ |
| toller Rhythmus | davon kann man krank werden |

Ausgehend von diesen Argumenten wird im Unterrichtsgespräch eine Definition für Lärm erarbeitet und ebenfalls als Tafelnotiz festgehalten:

Lärm ist Schall, der als störend empfunden wird (subjektives Merkmal) und der gesundheitsgefährdend oder gesundheitsschädigend ist (objektives Merkmal).

Die Ohren werden bei gleichem Schallpegel (und gleichem Frequenzbereich) durch Musik genauso stark gefährdet wie durch Geräusche.

## Möglichkeiten von Lärmminderungen

Nicht nur der wiedergegebene Gewerbelärm belästigt und schädigt die Menschen, sondern auch Nachbarschafts- und neben zu lauter Musik vor allem Verkehrslärm, s. Baustein 3: „Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt“, S. 114. Viele Initiativen wurden zu seiner Bekämpfung ins Leben gerufen und der Versuch der technischen Lösung lag nahe.

Beim Auspufftopf eines Motorrades oder Pkws wird ein wesentlicher Teil des Schalls an den Querschnittsprüngen der Auspuffanlage zum Zylinder reflektiert, dies nennt man Schalldämmung. Die Bezeichnung „Schalldämpfer“ ist daher für Kraftfahrzeuge im Grunde genommen falsch. Bei Lüftungsanlagen werden dagegen echte Schalldämpfer verwendet. Hier wird der Schall durch Kammern mit Schall absorbierendem Material geleitet. Da jeder Punkt einer Wellenfront Ausgangspunkt einer Kugelwelle ist, tritt ein großer Teil der Schallenergie in das poröse Material ein. Die in dieses Material eintretende Schallenergie wird durch Reibung in Wärme umgewandelt. Hinweis: Heutzutage ist aufgrund von „Schalldämpfern“ und bei Lkws zum Teil durch Motorkapselung das Motorengeräusch wesentlich leiser und die entscheidende belastende Größe im Stadtverkehr das Rollgeräusch der Reifen. Bei hohen Geschwindigkeiten auf Landstraßen und Autobahnen überwiegen dagegen die Windgeräusche.

Die Lehrkraft regt an darüber nachzudenken, welche Möglichkeiten es gibt um Lärm zu mindern und besonders dessen Entstehung zu verhindern (s. Baustein 2: „Geräuschpegelmessungen im Straßenraum“, S. 104). Die Äußerungen der Schülerinnen und Schüler lassen sich in drei Bereiche einteilen und als Tafelbild wiedergeben:

**Lärmminderung**
und
**Schutz vor Lärm**
durch

**Verringerung des Lärms am Entstehungsort** | **Behinderung der Schallausbreitung** | **persönlichen Lärmschutz**

Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag Beispiele aus ihren Erfahrungen diesen Bereichen zuzuordnen:

**Verringerung des Lärms am Entstehungsort:**
Musik leiser stellen, Teppich bzw. Teppichboden reduziert Trittschall, langsames Anfahren von Autos, Schalldämpfer am Auto, leise Maschinen verwenden (s. Audio-Dateien Nr. 25 bis 28 der CD: „Kompressor ohne und mit Schallschutz", „freistehende Presse" und „Presse mit Einhausung", S. 68).

**Behinderung der Schallausbreitung:**
Schallschutzwände an der Autobahn (s. Audio-Dateien Nr. 22 und 23 der CD: „Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand", S. 68), Schalldämmung bei Gebäuden, Schalldämpfung in Räumen, z.B. Werkräumen oder Turnhallen (s. Audio-Dateien Nr. 29 und 30 der CD: „Werkhalle ohne und mit Reflexionsschutz an Decken und Wänden", S. 68).

**Persönlicher Schallschutz:**
Bei der Arbeit Gehörschutzkapseln tragen, Ohrenstöpsel, (Watte getränkt mit Hautöl) (s. Audio-Dateien Nr. 31 bis 37 der CD: „Wirkung von Gehörschützern", „richtige und falsche Anwendung von Gehörschützern", „Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz", S. 68).

Ohrenstöpsel bei lauten Musikveranstaltungen benutzen.

Gehörschutz bei der Nutzung lauter Heimwerkergeräte verwenden.

Mithilfe der Software SOUNDS, S. 85, können im Versuch 25: „Sonogramm zweier Hörbeispiele" diese genauer analysiert werden. So zeigen die Sonogramme der Audio-Dateien Nr. 35 und 37 der CD: „Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz", S. 69, in welchem Ausmaß unterschiedliche Frequenzen durch den Hörschutz gefiltert werden und wie es möglich ist, dass trotz starker Filterung die wichtigen Signalgeräusche für den Menschen hörbar bleiben.

Im Unterrichtsgespräch werden als wesentliche Erkenntnisse aus den Bausteinen genannt:
Gesetze allein helfen nicht um die Lärmbelästigung zu mindern.
Jeder einzelne von uns muss dabei mithelfen.

Abschließend kann Gehörschutz demonstriert werden, wenn mit Ohrstöpseln und Gehörschutzkapseln Musik oder Straßenlärm gehört wird. Einen deutlichen Eindruck vermitteln die Audio-Dateien Nr. 22 bis 37 der CD, S. 68, bei denen in unterschiedlichen Situationen Aufnahmen mit und ohne Lärmschutzmaßnahmen erfolgten.

Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine Schallquelle mit unterschiedlichen Dämmmaterialien zu verpacken und die Verringerung der Lautstärke zu messen.

Basierend auf einem Unterrichtsmodell von Ralf Kaiser in der 1. Auflage dieser Materialien.

# 7. Baustein für Arbeitslehre/Werken

**BAUSTEIN 11**

## Erprobung schallschützender Materialien in einem selbst gefertigten Modellhaus

Lärmschutz ist im Fach Arbeitslehre z.B. ein Thema bei Fragen des Haushalts und der Arbeitswelt (s. a. Audio-Datei Nr. 24 der CD: „Lärm am Arbeitsplatz“, S. 68). Lärmschutz kann auch Inhalt von Arbeitsvorhaben im Werkunterricht sein. Dies gilt ebenso für Probleme aus dem Bereich der Architektur im Kunstunterricht.

Im Folgenden wird ein Vorhaben vorgestellt, das sich mit Fragen der Lärmdämmung im Hausbau beschäftigt. Die Weiterleitung von Geräuschen zwischen Zimmern und zwischen Wohnungen soll eingeschränkt werden. Vor allem aber sollen in Ballungsgebieten die Lärmimmissionen von Verkehrs- und Nachbarschaftslärm gemindert werden. Hierbei ist zwischen Schalldämmung und Schalldämpfung zu unterscheiden. Bei der Dämmung wird der Schall reflektiert und dringt nicht durch trennende Wände o.Ä. Bei der Dämpfung handelt es sich um eine Energieumwandlung, bei der die Schallenergie in Wärmeenergie umgewandelt und damit vermindert wird. Hierbei ist im Wohnungsbereich zwischen der Dämpfung von Körperschall mit elastischen Stoffen (z.B. Teppiche) und der Dämpfung von Luftschall mit porösen Stoffen zu unterscheiden. Die porösen Stoffe (z.B. Mineralwolle) haben einen großen Strömungswiderstand für Luft. Das nutzen z.B. Musiker, die Nadelfilzmatten oder Eierkartons an den Decken und Wänden ihrer Übungsräume befestigen.

Zum Schallschutz steht eine Reihe von Werkstoffen zur Verfügung. Die Bereitschaft derartige Werkstoffe zu verwenden ist jedoch nicht sehr groß. Oft wird Wärmedämmung, deren Notwendigkeit vor allem aus finanziellen Gründen anerkannt ist, mit Schalldämmung gleichgesetzt. Mit dem Bau des Modellhauses und anschließenden Lärmmessungen wird beabsichtigt den Schülerinnen und Schülern deutlich zu machen, dass verschiedene Dämmstoffe, die zwar alle eine gute Wärmedämmung bewirken, den Schall aber sehr unterschiedlich dämmen.

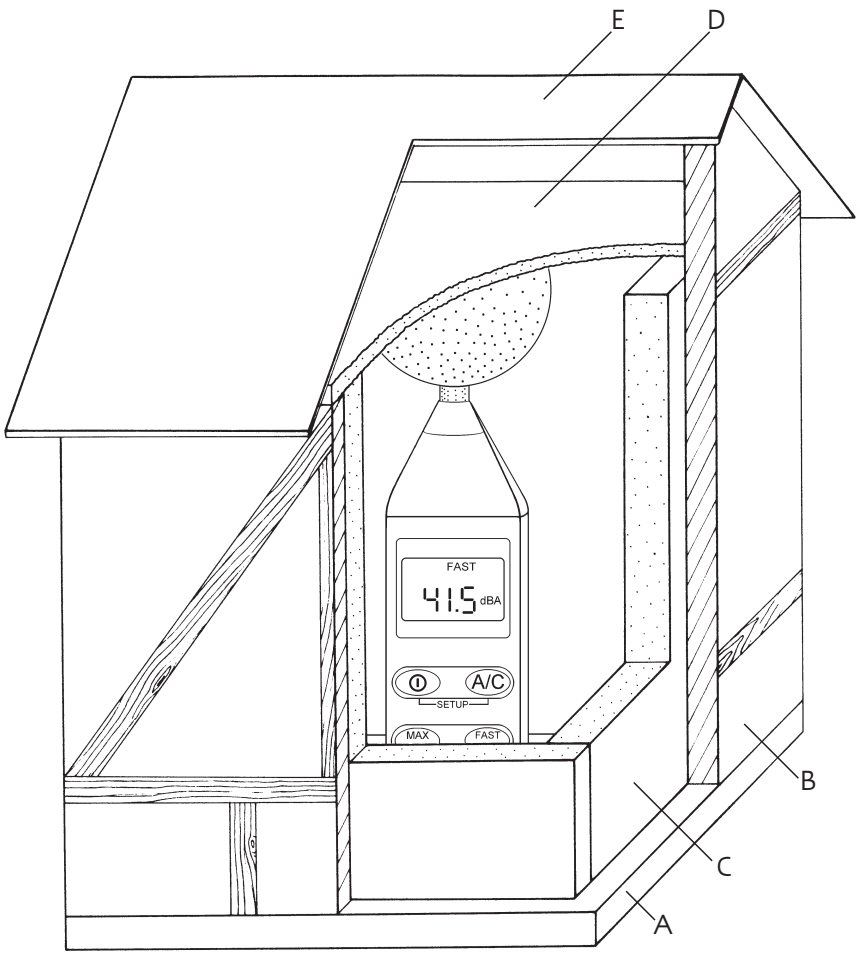
Die Erprobungen zeigten, dass die Durchführung des Projektes bei guter Vorbereitung vier Vormittage in Anspruch nimmt.

Das Vorhaben gliedert sich in zwei Schritte. Zunächst wird ein Modellhaus gebaut, das mit unterschiedlichen Dämmmaterialien bestückt werden kann. Anschließend erfolgen Messungen zu den Dämmeigenschaften dieser Materialien, die probeweise in das Haus eingebracht werden. Zur Minderung oder Vermeidung von Kosten empfiehlt es sich frühzeitig bei den örtlichen Baumärkten und bei den Eltern der Schülerinnen und Schüler nachzufragen, ob Reste von Bau- und Dämmmaterialien abgegeben werden können. Bei den Erprobungen brachten die Eltern Materialien in größerem Umfang mit.

Beim Modellhaus handelt es sich um einen dicht geschlossenen Raum, der aus üblichen Baumaterialien zu fertigen ist (Tischlerholz, Sperrholz, Gipskarton o.Ä.). Der Raum kann oben mit einem flachen Deckel verschlossen werden. Ansprechender ist es (s. Konstruktionsskizze), diesen Deckel mit einem Dreieck zu überbauen, sodass er wie ein Satteldach aussieht. Die Größe des Modellhauses ist beliebig. Wichtig ist, dass der Innenraum so groß ist, dass nach Einbringen der Dämmmaterialien hinreichend viel Platz vorhanden ist, dass ein Lautstärkemessgerät hineingelegt werden kann. Damit bestimmt sich die minimale Größe durch die Größe des in der Schule vorhandenen Messgeräts.

Mögliche zu testende Dämmmaterialien sind Kork, Hartschaum, Mineralwolle, Styropor, Wellpappe, Blähton o.Ä.. Die Dämmstoffe können hineingelegt oder angeheftet werden. Dabei können Klebstoffe oder noch besser Klettverschlüsse verwandt werden. Loses Material, wie Mineralwolle, sollte kaschiert sein. In diesem Falle muss die Mineralwolle zum Innenraum hin weisen. Andere Dämmmaterialien, wie zum Beispiel Blähton, erhält man nur lose. Sie sind auf Pappen aufzukleben, wobei das Material wiederum zum Innenraum und die Pappe nach außen weisen.

Es entspricht einer ganzheitlichen Erziehung, einer Orientierung an den Lebenswelten sowie einem Unterricht mit Alltagsbezug, wenn der Bau des Modellhauses nicht nur unter dem Aspekt der Lärmminderung gesehen wird. Landestypische Stilmittel können berücksichtigt werden. Die Wände des Modellhauses können mit Holzstreifen als Fachwerk belegt werden. Mit unterschiedlichen Farben und/oder Spachtelmassen können die Fassaden gestaltet und farblich nuanciert werden. Sowohl für den Unterrichtsauftrag als auch für die Anteilnahme an diesem Projekt ist es sinnvoll, wenn den Schülerinnen und Schülern wenig vorgegeben wird, sodass sie sich selbst mit Fragen der Konstruktion des Hauses, seiner ästhetischen Gestaltung und der Möglichkeit der Lärmdämmung beschäftigen.




Konstruktionsskizze der „Schallscheune“ mit Bodendämmung (A), Fachwerk und Hauswand (B), Schalldämmung (C), Decke aus Dämmmaterial (D) und Dach (E).

Nachdem das Haus fertiggestellt wurde, beginnt der Versuch 26: „Messung der Schalldämmung“ mit den Messungen.

- Als Erstes muss ein Lärmpegelmessgerät in das Innere des Hauses gelegt werden, bevor dieses schalldicht verschlossen wird. Dies macht es notwendig, dass das Gerät ohne ein Strom führendes Kabel batteriebetrieben werden muss. Dieses Gerät muss über einen Zeitraum von mindestens einer Minute messen, ferner muss das Ergebnis nachträglich ablesbar sein. Für Schulen, die nicht im Besitz eines Gerätes sind, das derartigen Ansprüchen genügt, wird weiter unten eine Alternative vorgeschlagen.
- Schulen, die im Besitz anderer (meist sofort ablesbarer) Lärmpegelmessgeräte sind, müssen das Mikrofon des Schallpegelmessers durch ein passendes Loch in der Hauswand in den Innenraum einführen und an dieser Stelle auch keinen Dämmstoff anbringen. Die Wanddurchführung wird zusätzlich mit Plastiline abgedichtet.
- Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine automatisch ablaufende Lärmquelle zu verwenden (z.B. ein Handy mit einem markanten Klingelton, das dann von außen angerufen wird), die in das Haus hineingelegt wird. Das Haus wird verschlossen. Die Dämmeigenschaft wird nun geprüft, indem der von innen kommende Schallpegel bei unterschiedlichen Dämmmaterialien gemessen wird. Für dieses Experiment ist deshalb Ruhe im Klassenraum notwendig. Die Auswertung erfolgt wie oben angegeben.

Nachdem das Gerät in das Haus gelegt und das Haus verschlossen wurde, wird es je nach Fragestellung von innen oder von außen beschallt. Da nacheinander verschiedene Dämmstoffe getestet werden, benötigt man für diese Beschallung eine konstante Tonquelle. Dazu wird ein Musikstück o.Ä. ausgewählt, das bei den Versuchen mit dem gleichen Gerät bei gleicher Einstellung der Lautstärke und in gleicher Entfernung der Lautsprecher vom Modellhaus abgespielt wird. Nacheinander werden die verschiedenen Dämmstoffe in das Haus eingesetzt. Es erfolgen die Messungen. Die jeweiligen Messwerte werden unter Angabe des Dämmmaterials an der Tafel notiert.

Zwei Untersuchungen können durchgeführt werden:

1. Um die Wirkung von Undichtigkeiten zu demonstrieren wird der Deckel bei einer Messung nur bis auf einen Spalt von einigen mm Breite geschlossen. Dadurch wird die Schalldämmung des gesamten Modellhauses um ca.10 dB (A) verschlechtert, was durch Vergleich zu einer Messung mit fest verschlossenem Deckel gezeigt wird. Bei diesen Messungen wird der Schalldurchgang durch die Wände untersucht, indem entweder die Schallquelle außen und der Schallpegelmesser im Haus sind oder umgekehrt.
2. In einer zweiten Messreihe wird die Schalldämmung verschiedener Dämmstoffe im Innenraum untersucht, indem sowohl die Schallquelle als auch der Schallpegelmesser im Innenraum installiert werden. In diesem Fall bildet der Schallpegel, den die Quelle im leeren Haus erzeugt, den Bezug. Bei Auskleidung des Hauses mit porösem Material (z.B. Mineralwolle) ist ein deutlich niedrigerer Schallpegel zu erwarten. Geschlossenporige Dämmstoffe wie Styropor verringern den Schallpegel dagegen kaum.

Die Auswertung erfolgt wie oben angegeben.

Bei der Erprobung wurden z.B. bei einer 3 m entfernten 85 dB (A) lauten Geräuschquelle folgende Ergebnisse im Innenraum erzielt:

| Isolationsmaterial | Schallpegel |
|---|---|
| Keine | 77 db (A) |
| Mineralfaser | 66 db (A) |
| Hartschaum | 71 db (A) |

Tab. 17: Schalldämmung verschiedener Materialien.

Zur Erweiterung kann man die Ergebnisse dann mit den Wärmedämmeigenschaften dieser Materialien vergleichen und dabei feststellen, dass Lärm- und Wärmedämmung (der den Wärmeverlust angebende K-Wert bei 10 cm Dämmung) zwar zwei notwendige, jedoch verschiedene Dinge sind:

| Isolationsmaterial | Wärmedämmwert |
|---|---|
| Mineralfaser | 0,3 – 0,45 $W/m^2K$ |
| Hartschaum | 0,2 – 0,35 $W/m^2K$ |

Tab. 18: Wärmedämmung verschiedener Materialien.

# 8. Bausteine für den Biologieunterricht

Die klassischen biologischen Fragestellungen nach dem Gehör sind die nach Bau und Funktion sowie nach möglichen Erkrankungen. In den Sachinformationen ist deutlich dargestellt, dass die Wirkungen aufgenommener Schallereignisse auch andere Organsysteme betreffen und nicht unerhebliche Konsequenzen für die geistige Tätigkeit haben können. So betreffen die folgenden Bausteine den Lärm in einer erweiterten Sichtweise, die Wirkungen von Musik auf Konzentrations- und Lernfähigkeit, den Bau und die Funktion des Ohres, die Schädigungen des Ohres und die anderer Organe. Soweit irgend möglich werden für diese Inhalte Experimente vorgestellt.

**Bezug zu anderen Bausteinen:**

Ein fächerverbindender Unterrichtsgang, der die Naturwissenschaften integriert behandelt, wird auf S. 14 vorgestellt.

BAUSTEIN 12

# Was ist Lärm?

**Inhalt:**

Definition von Lärm, Subjektivität der Lärmwahrnehmung, Gefährdung durch Lärm

**Materialien und Medien:**

Versuch 27: Schallaufnahmen (2 tragbare Aufnahmegeräte)
M 1: Audio-Dateien Nr. 16: „Trompetenübung“, S. 67, 18: „Gesangsübung“, S. 67, 22: „Verkehrslärm ohne Schallschutzwand“, S. 68, 38 bis 42: „Kompressor“, „Schmiedehammer mit Stanze“, „Plastzerkleinerungsmaschine“, „Kantenfräse“, „Flaschenabfüllanlage“, S. 69 und CD-Player

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 Unterrichtsstunde

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Lärmaufnahmen**

In Vorbereitung für den Unterricht erhalten die Schülerinnen und Schüler etwa acht Tage vorher die Aufgabe allein oder zu zweit mit Aufnahmegeräten für den Versuch 27: „Schallaufnahmen“ anzufertigen. Dabei ist sicherzustellen, dass genügend Aufnahmegeräte organisiert werden können, da viele MP3-Player noch kein Mikrofon besitzen oder nur schlechte Aufnahmen zulassen.

Die Schülerinnen und Schüler sollen Schallereignisse aufnehmen, von denen ein Teil typisch für Lärm ist. Ihre Tonaufnahmen hören sie anschließend ab und suchen einen besonders geeigneten Ausschnitt mit einer Spieldauer von ca. einer halben Minute heraus. Die Lehrkraft sollte selbst einige Aufnahmen parat haben, falls die der Schülerinnen und Schüler nicht ausreichen oder nicht typisch genug sind (hierzu bieten sich die Audio-Dateien Nr. 16: „Trompetenübung“, 18: „Gesangsübung“, S. 67, 22: „Verkehrslärm ohne Schallschutzwand“, S. 68, 38 bis 42: „Kompressor“, „Schmiedehammer mit Stanze“, „Plastzerkleinerungsmaschine“, „Kantenfräse“, „Flaschenabfüllanlage“, S. 69, an).

**Auswertung der „Lärmaufnahmen“**

Zu Beginn schreibt die Lehrkraft ein Tabellenraster an die Tafel und fordert die Schülerinnen und Schüler auf dieses für die Auswertung der „Schallaufnahmen“ zu übernehmen, z.B.:

| Lfd. Nr. | Beispiel | Lärm | Kein Lärm |
|---|---|---|---|
| 1 | Bohrmaschine | X | |

Danach werden die ausgewählten Ausschnitte der Klasse vorgespielt. Vor dem Abspielen jedes Ausschnitts wird dieser benannt und die Benennung wird auf der Tafel angeschrieben. Die Beispiele werten die Schülerinnen und Schüler zunächst für sich aus und tragen die Bewertung unter „Lärm“ bzw. „Kein Lärm“ in ihre Tabelle ein.

Es ist nicht sinnvoll, etwa wegen der Zeitersparnis, nur einige Aufnahmen vorspielen zu lassen. Das Engagement der Schülerinnen und Schüler und die Unterschiedlichkeit der Wahrnehmungen machen es nötig und den Schülerinnen und Schülern Spaß, eine größeren Anzahl ausgewählter Beispiele vorzuspielen. Um Zeit zu sparen sollten die Aufnahmegeräte vorher eingesammelt werden und möglichst zwei Geräte zum wechselseitigen Abspielen vorhanden sein. Falls nötig, spielt die Lehrkraft eigene Aufnahmen (oder von der CD) vor.

Bei der anschließenden Auswertung wird unter jeder Ziffer in die Tabelle an der Tafel eingetragen, wie viele Schülerinnen und Schüler die jeweilige Aufnahme als „Lärm“ bzw. „Kein Lärm“ bewertet haben.

Wie die Erprobungen gezeigt haben, sind die Bewertungen sehr unterschiedlich (ergänzend M 33: „Fragen zum Lärm“, S. 212). Das führt zu der Frage: Was ist Lärm?

## Einfache Definitionen von Lärm: Lärm ist negativ bewerteter Schall

Die Antworten der Schülerinnen und Schüler aus den Erprobungen zeigen, dass es keine einheitliche Meinung gibt. Dies gilt auch für die Bewertungsmaßstäbe, die individuell ausgerichtet sind und daher z.T. erheblich schwanken. Einige Schülerinnen und Schüler verweisen z.B. auf die Lautstärke, andere auf die Dauer der Beschallung. Besonders wichtig ist die Art des Schalls (z.B. Impuls, Rhythmus, Monotonie, Tonhöhe). Ebenso wichtig ist auch die aktuelle Tätigkeit der Person, während der der Schall einwirkt.

Trotz aller Unterschiedlichkeiten in der Bewertung der Aufnahmen werden alle Schülerinnen und Schüler Beispiele für Lärm finden. Im Unterrichtsgespräch ergibt sich, daraus dass sie bei der Beschreibung dessen, was für sie Lärm ist, negative Charakterisierungen verwenden, was zu der einfachen Definition von Lärm führt (s.a. Versuch 24: „Belästigung durch Lärm“, S. 172):
Lärm ist negativ bewerteter Schall

Diese Aussage wird unter die Tabelle geschrieben und von den Schülerinnen und Schülern übernommen.

BAUSTEIN 13

# Lärm stört

**Inhalt:**

Konzentrationsfähigkeit und Lernerfolg während des Hörens von Musik, erste erweiterte Definition von Lärm: Lärm ist negativ bewerteter Schall, der stört.

**Materialien und Medien:**

Versuch 28: Konzentrationsfähigkeit bei Musik (M 28.1 - 28.3: Testbogen des Konzentrationstests, Audio-Datei Nr. 20: „Klaviersonate professionell gespielt", S. 67, weitere CDs oder MP3- Files, z.B. Pop- oder Rock-Musik, Chopin o.Ä. und Player)

Versuch 29: Beeinflussung des Lernerfolgs durch Musik (Fingerlabyrinthe, Audio-Datei Nr. 20: „Klaviersonate professionell gespielt", S. 67, weitere CDs oder MP3-Files, z.B. Pop- oder Rock-Musik, Chopin o.Ä. und Player)

**Zeitrahmen:**

Dieser Baustein muss in mehreren Stunden unterrichtet werden. Die Experimente erstrecken sich über drei Wochen, s.u., innerhalb derer jedoch Zeit für andere Unterrichtsvorhaben zur Verfügung steht.

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Vorbereitung**

In Vorbereitung für den Unterricht müssen für den Versuch 28: „Konzentrationsfähigkeit bei Musik" zwei der drei Tests 14 resp. 7 Tage vor Beginn der Lerneinheit durchgeführt werden.

Falls in der Schule noch keine Fingerlabyrinthe vorhanden sind, sollten diese rechtzeitig vor Beginn der Lerneinheit hergestellt werden (z.B. auch in Vertretungsstunden).

**Konzentrationsfähigkeit und Lernerfolg während des Hörens von Musik**

Im Mittelpunkt der Lerneinheit stehen ein Konzentrationstest und ein Lernexperiment. Sie werden durchgeführt um die Beeinflussung der Konzentrationsfähigkeit und des Lernerfolges durch Musik zu untersuchen.

## Vorlauf

Der erste Teil des Versuchs 28: „Konzentrationsfähigkeit bei Musik" muss zwei Wochen vor der weiteren Behandlung im Unterricht oder als Hausaufgabe zu Hause durchgeführt werden, dann sollen die Schülerinnen und Schüler ihre Lieblingsmusik wählen.

Der Konzentrationstest ist dreiteilig und sollte immer zur gleichen Uhrzeit erfolgen, der erste Teil muss zwei Wochen vor Beginn der Unterrichtseinheit durchgeführt werden:

- 14 Tage vorher wird der Testbogen M 28.1 von den Schülerinnen und Schülern bearbeitet. Die Geräuschkulisse bleibt unverändert. Die Bearbeitungszeit beträgt max. 5 Minuten. Anschließend werden die Testbogen eingesammelt (Auswertung s.u.).
- 7 Tage vorher wird der 2. Test (M 28.2) durchgeführt. Im Unterschied zum 1. Test wird während des 2. Tests Pop- oder Rock-Musik gespielt. Anschließend werden auch diese Testbogen eingesammelt (Auswertung s.u.).
- Eine Woche später erfolgt dann der 3. Test (M 28.3). Diesmal wird als Musikkulisse ein Klavierstück von Schumann (Audio-Datei Nr. 20 der CD: „Klaviersonate professionell gespielt", S. 67, oder weitere CDs oder MP3-Files), Chopin o.Ä. ausgewählt. Die Testbogen verbleiben jetzt bei den Schülerinnen und Schülern.

Mit der Wiederholung der Definition von Lärm aus der dem vorigen Baustein (Lärm ist negativ bewerteter Schall) beginnt die Unterrichtseinheit. Es schließt sich die Frage nach den Wirkungen von positiv bewertetem Schall auf die Konzentration an. Dazu werden die Konzentrationstests ausgewertet und später der Versuch 29: „Beeinflussung des Lernerfolgs durch Musik" durchgeführt.

Die Auswertung der Testbogen des Konzentrationstests wird von den Schülerinnen und Schülern vorgenommen:

- Die Testbogen M 28.1 und M 28.2 werden an die Schülerinnen und Schüler zurückgegeben.
- Die Schülerinnen und Schüler tauschen ihre Testbogen mit den Nachbarinnen und Nachbarn wechselseitig aus.
- Die Bogen werden korrigiert, die Fehlerzahl festgestellt und auf den Bogen notiert.
- Die durchschnittliche Fehlerzahl der Klasse wird bei jedem der drei Tests ermittelt und an der Tafel notiert.

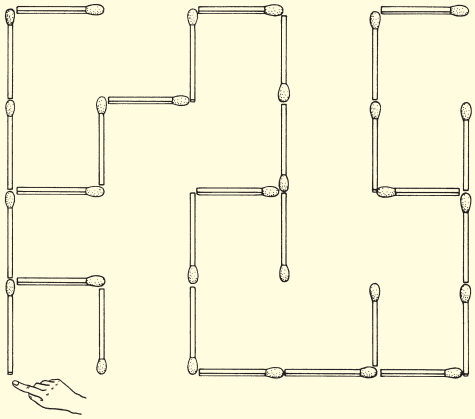
Bei den Erprobungen wurden folgende Ergebnisse erzielt:

1. Test: Nach zwei Minuten sind die ersten fertig und bald auch die anderen. Es ist mit einem Fehlerquotienten (Anzahl der Fehler geteilt durch Anzahl der Versuchspersonen) von 1,5 zu rechnen.
2. Test: Die ersten Teilnehmer sind nach vier Minuten fertig. Ein Fehlerquotient von knapp 4 ist zu erwarten.
3. Test: Bereits nach drei bis vier Minuten wird der Test mit einem Fehlerquotienten von 1,5 beendet.

Mittels des Versuchs 29: „Beeinflussung des Lernerfolgs durch Musik" wird der Einfluss von Musik auf den Lernerfolg geprüft. Einige der Schülerinnen und Schüler führen als Versuchsleiter mit den restlichen Mitschülerinnen und Mitschülern dazu folgenden Test durch:

Um den Einfluss der Musik zu prüfen, werden die Versuchspersonen in drei Gruppen aufgeteilt:

- Der ersten Gruppe wird bei der natürlichen Geräuschkulisse des Klassenraumes das Labyrinth vorgelegt, während
- der zweiten Pop- oder Rock-Musik und
- der dritten ein Klavierstück von Schumann (Audio-Datei Nr. 20 der CD: „Klaviersonate professionell gespielt“, S. 67, oder weitere CDs oder MP3-Files) vorgespielt wird.



Während der Durchführung des Versuchs müssen die nicht beteiligten Gruppen das Klassenzimmer verlassen. Sollte aus organisatorischen Gründen (Problem der Beaufsichtigung) dies nicht möglich sein, können auch drei unterschiedliche Fingerlabyrinthe verwendet werden, die die Versuchspersonen nacheinander benutzen. Dann wird jeder der drei Versuche mit je einem der drei Labyrinthe von allen Versuchspersonen durchgeführt, sodass dann alle Schülerinnen und Schüler alle Versuchsbedingungen durchlaufen. Die Schülerinnen und Schüler können dann im Raum bleiben, wenn ihre Mitschülerinnen und Mitschüler Versuchspersonen sind.

Diese schulorganisatorisch einfachere Variante hat jedoch zwei Nachteile:

- Wenn alle Versuchspersonen alle drei Versuchsvarianten durchlaufen, wird für den Versuch mehr Zeit benötigt.
- Daneben kommen zusätzliche Variablen (z.B. Tagesform, Trainingseffekte) ins Spiel, die sich auf die Versuchsergebnisse auswirken und zu einem weniger eindeutigen Ergebnis führen.

Für den Versuch sind rechtzeitig vorher Labyrinthe aus Streichhölzern zu bauen. Diese werden auf Pappe geklebt. Sie können auch in anderen Lerngruppen verwendet werden.

Die Versuchsleiter verbinden den Versuchspersonen die Augen, sodass diese nicht die Labyrinthe sehen können. Der Versuchsleiter setzt einen Finger der Versuchsperson auf die Startposition. Die Versuchspersonen erhalten die Aufgabe solange das Labyrinth mit dem Finger zu verfolgen, bis sie zweimal hintereinander fehlerfrei die Zielposition erreicht haben. Sobald sie vom Weg abweichen, müssen sie wieder von vorne beginnen. Das Erreichen des Zieles wird ihnen angesagt.

Der Lernerfolg wird entweder an der Anzahl der fehlerhaften Versuche oder der benötigten Zeit gemessen.

In den Erprobungen ergaben die Versuche, dass die Konzentrationsfähigkeit und der Lernerfolg durch Musik beeinflusst werden. Dabei erweist sich Pop- resp. Rockmusik als störend. Klaviermusik wirkt manchmal störend. Lediglich in einer 7. Klasse konnte keine negative Auswirkung des Lernerfolgs durch das Abspielen von Musik während des Tests festgestellt werden.

## Erste Erweiterung der Definition von Lärm (störender Schall)

Das anschließende Unterrichtsgespräch, das sich mit der Diskussion der Testergebnisse beschäftigt, ist im Allgemeinen nicht widerspruchsfrei. Es werden eine Reihe von Schülerinnen und Schülern erklären, dass sie es gewohnt sind mit Musik zu arbeiten. Einige werden behaupten, dass sie nachweislich ohne Musik schlechter arbeiten. Dabei sind die einzelnen Positionen deutlich herauszuarbeiten. Zum einen ist zu beachten, dass es unterschiedliche Arten von Arbeiten und Aufgaben gibt, die zu erledigen sind. Zum anderen können auch die mit Musik besser arbeitenden Schülerinnen und Schüler recht haben, weil sie sich daran gewöhnt haben. Das heißt aber nicht, dass es für das Arbeitsergebnis notwendig und für den Einzelnen günstig ist sich an ständig begleitende Musik gewöhnt zu haben. Es ist nachgewiesen, dass Menschen bei ähnlichen Tätigkeiten unterschiedlich durch Musik beeinflusst werden. Musik kann einerseits während einer Autobahnfahrt die Konzentrationsfähigkeit des Fahrers fördern, andererseits ist sie bei der Fahrt auf kurvenreichen Straßen nachweislich ablenkend. Bei den schulischen Hausaufgaben macht es einen Unterschied, ob man stereotype Aufgaben erledigt oder schwierigere Probleme lösen und Einfallsreichtum haben muss.

Im Unterrichtsgespräch wird herausgestellt, dass Lärm störende Wirkungen hat und damit die Definition von Lärm zu erweitern ist (s.a. Baustein 10: „Lärm“, S. 172): Lärm ist negativ bewerteter Schall, der stört.

# Konzentrationstest 1

**M 28.1**

**Name:**

**1. Welcher Begriff passt nicht?**

Beispiel:
a) Johannisbeere b) Ananas c) Pfirsich d) Erdbeere e) ~~Torte~~

Aufgaben:
a) Montag b) Sonntag c) Donnerstag d) Freitag

a) Musik b) Chemie c) Biologie d) Physik e) Mathematik

a) Berlin b) Paris c) London d) Zürich e) Rom

a) Eiche b) Ahorn c) Erle d) Birke e) Tanne

**2. Welches Wort hat eine ähnliche Bedeutung?**

Beispiel:
Computer
a) Telefon b) Rechner c) Tasten d) Fernseher

Aufgaben:
Atlas
a) Welt b) Buch c) Land d) Staat

langsam
a) kurz b) lang c) stockend d) rasch

Baum
a) Pflanze b) hoch c) grün d) Garten

**3. Streiche alle 6en durch. Wie viele hast Du in jeder Zeile durchgestrichen?**

Beispiel:
5~~6~~95~~6~~985~~6~~955~~6~~95999~~5~~~~6~~9~~6~~9~~6~~555~~6~~9999 **8**

Aufgaben:
1. 959565695955999569599965595
2. 566959569956955596959569596
3. 659699659599995569599556999
4. 996955599595695956695695965
5. 699665969599955656995965959
6. 569596659569659559695695996
7. 599559956959555959599595995
8. 659699659569569656959995659
9. 599695959559966995595969595
10. 559999696566969595695999959

# Konzentrationstest 2

**Name:**

**1. Welches der angegebenen Wörter (a, b, c, d) passt so zum 3. Wort, wie das 2. Wort zum 1. passt?**

Beispiel:
hoch : niedrig = dick : ?
a) groß b) dünn c) Umfang d) lang

Aufgaben:
1. Büro : Schreibtisch = Schlafzimmer : ?
a) Globus b) Schreibtisch c) Bett d) schlafen

2. Veilchen : Pflanze = Habicht : ?
a) Tier b) sitzen c) jagen d) Geschöpf

3. Tag : Nacht = hell : ?
a) sonnig b) unheimlich c) dunkel d) dämmerig

4. Buch : Buchstabe = Kalender : ?
a) Horoskop b) Abend c) bunt d) Tag

5. Wetter : sonnig = Temperatur : ?
a) Thermometer b) hoch c) Kelvin d) kalt

6. Brief : Umschlag = Blumenstrauß : ?
a) Eimer b) Allee c) Vase d) Haus

7. Deutschland : Europa = Japan : ?
a) Antarktis b) Amerika c) Afrika d) Asien

8. schwarz : weiß = kalt : ?
a) lau b) heiß c) süß d) Eis

**2. Streiche alle 6en durch. Wie viele hast Du in jeder Zeile durchgestrichen?**

Beispiel:
95~~6~~99~~6~~9595599~~6~~959~~6~~9555~~6~~959~~66~~9995 **7**

Aufgaben:
1. 5999695695569695595999596959999 5
2. 5955695995569599559595995595956 9
3. 6956695966999995565959596599959 6
4. 9969695965595999656596955969696 9
5. 9596955996569599955556595969555 9
6. 9969569595995565959695959599959 5
7. 6959969595969596959969959569569 9
8. 9695969599696959695995696996955 9
9. 5699969595695695699959565995699 9

# Konzentrationstest 3

M 28.3

**Name:**

**1. Vergleiche Original und Abschrift. Streiche durch, was nicht stimmt.**

Beispiel:

| **Original** | **Abschrift** |
|---|---|
| 9568745236 | 9568~~8~~45236 |
| JLöpMVfzF | JL~~ü~~pMVfzF |

Aufgaben:

| **Original** | **Abschrift** |
|---|---|
| WAGFTZJ | WAGFLZJ |
| VCHGzTK | VCHGxTK |
| lkhftjuibvdt | lkhftiuibvdt |
| Yfmnkiojg | yfmnkiojg |
| 2365412 | 2365422 |
| 5698215 | 5694215 |
| 0124589 | 1124589 |
| 3654795 | 3454795 |

**2. Welches der angegebenen Wörter (a, b, c, d) passt zum 3. Wort, wie das 2. Wort zum 1.?**

Beispiel:

Ost : West = Nord : ?

a) Richtung b) Süd c) südlich d) Äquator

Aufgaben:

1. Biologie : Chemie = Kunst : ?
   a) Naturwissenschaft b) Bilder c) Musik d) Physik

2. Affe : Banane = Pferd : ?
   a) Hafer b) Zaumzeug c) Stall d) Reiter

3. Fuchs : Bau = Mensch : ?
   a) Wald b) Wohnung c) Auto d) Stadt

**3. Streiche alle 6en durch. Wie viele hast Du in jeder Zeile durchgestrichen?**

Beispiel:

95~~6~~9~~66~~9595599~~6~~959~~6~~95~~6~~59~~6~~959~~66~~9995 **9**

Aufgaben:

1. 5999695695569695699959565995699 9
2. 5955695995569595595999596959999 5
3. 6956695966999999559595995595956 9
4. 9969695965595995565959596599959 6
5. 9596955996569599656596955969696 9
6. 9969569595995569955556595969555 9
7. 6959969595969595959695959599959 5
8. 9695969599696956959969959569569 9
9. 5699969595695699695995696996955 9

BAUSTEIN 14

# Bau und Funktion des Ohres

**Inhalt:**

Bau und Funktion des Ohres und seiner Teile, Richtungshören mittels der Ohrmuschel, Schallleitung und -verstärkung durch das Mittelohr, Erregung der Sinneszellen im Innenohr

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 29: | Kreuzworträtsel |
| Versuch 30: | Richtungshören |
| | Modell oder Lehrtafel vom Ohr |
| | OH-Folie oder Vervielfältigungen Abb. 5.2: „Anatomischer Bau des Ohres“, S. 26, Abb. 5.4: „Schnecke in natürlicher Lage und ausgerollt“, S. 27, Abb. 5.5: „Corti-Organ“ und Abb. 5.6: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht“, S. 28. |
| | Abgusspräparat von Mittelohrknöchelchen |
| Versuch 17: | Tanzende Reiskörner, auch „Reistopf“ genannt, S. 162 |
| Versuch 18: | Zwei Tamburine, S. 163 |
| Versuch 20: | Klingende Weingläser, S. 164 |
| Versuch 21: | Reflexion von Schall an der Wasseroberfläche, S. 164 |
| Versuch 22: | Ohrdruck, S. 165 |
| Versuch 31: | Schwingungen und Töne (Saiteninstrument) |

**Zeitrahmen:**

Ca. 2 Unterrichtsstunden, ohne Kreuzworträtsel

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Bau des Ohres**

Im Anschluss an ein Brainstorming zum Bau des Ohres lernen die Schülerinnen und Schüler die noch unbekannten Begriffe spielerisch mithilfe eines Kreuzworträtsels kennen. Hierbei ordnen sie die vorgegebenen Lösungswörter den verschlüsselten Beschreibungen zu. Das Rätsel ermöglicht zugleich die selbstständige Überprüfung der Lösungen durch die Lernenden. In der Folge werden unter Zuhilfenahme des gelösten Rätsels, d.h. der Lösungswörter und der in den Verschlüsselungen enthaltenen Informationen, die Abbildungen des Ohres beschriftet (Abb. 5.2: „Anatomischer Bau des Ohres“, S. 26, 5.4: „Schnecke in natürlicher Lage und ausgerollt“, S. 27). Anhand von Ohrmodellen werden die erarbeiteten Begriffe in Partner- oder Gruppenarbeit vertiefend angewandt, indem die Lage der einzelnen Teile in der Dreidimensionalität von außen nach innen nachvollzogen wird und die Bereiche äußeres Ohr, Mittelohr und Innenohr voneinander abgegrenzt werden.

## Funktion der Ohrmuscheln

Die funktionelle Bedeutung der Ohrmuscheln lässt sich am folgenden Versuch 30: „Richtungshören“ leicht demonstrieren:

Einer Versuchsperson werden die Augen verbunden. Sie wird aufgefordert, einmal die linke und dann die rechte Ohrmuschel mit der ganzen hinter dem Ohr anliegenden Hand nach vorn zu biegen. Dadurch wird die „Ohrmuschel vergrößert“. Vor der Versuchsperson werden von verschiedenen Stellen aus Töne erzeugt.

Im Protokoll ist zu vermerken, von wo der Ton kam und was die Versuchsperson angab.

Bei einer Ohrmuschel, die mit der Hand trichterförmig vorgebogen wird, sind die Angabe der Richtung des Schalls nicht immer zutreffend, da die „vergrößerte Ohrmuschel“ zu einer veränderten Wahrnehmung der Töne auf dieser Seite führt. Damit wird die Bedeutung der Ohrmuschel für das Richtungshören deutlich, sie bündelt jedoch nicht die Schallwellen, die viel zu langwellig dafür sind.

Es ist nicht sinnvoll hierzu einen Arbeitsbogen heraus zu geben. Es ist vielmehr von Gewinn, wenn sich die Klasse vor Beginn des Versuchs überlegt, wie das Protokoll zu erstellen ist. Damit wird gesichert, dass die Schülerinnen und Schüler tatsächlich das Experiment verstanden haben; geht man darüber hinweg, rächt sich dies später bei der Auswertung, bei der Erklärungen zum Experiment nachgeschoben werden müssen.

## Funktion des Mittelohres

Der Aufbau des Mittelohres wurde bereits beim „Bau des Ohres“ besprochen. Bei der Behandlung der Ohrknöchelchen ist es sehr eindrucksvoll, Abgusspräparate der Knöchelchen in Originalgröße den Schülerinnen und Schülern zu zeigen. Diese sind für ca. 40 € im Lehrmittelhandel erhältlich.

Das Mittelohr schützt das Innenohr vor dem Eindringen von Fremdpartikeln aus der Umwelt. Die Schallwellen werden vom Trommelfell auf das Innenohr übertragen und dabei werden die Schallwellen zu Wellen mit kleineren Amplituden und größeren Drücken umgewandelt. Dieser Vorgang ist sehr wichtig, sonst wäre die Hörfähigkeit stark verringert, s. 2.2: „Hören“, S. 26, und M 30: „Wo schädigt Lärm das Ohr?“, S. 202.

Die einzelnen Schritte und die dem zugrunde liegende Bedeutung können mit einfachen Experimenten aus dem 2. Baustein für den Physikunterricht: „Ausbreitung von Schall“, S. 158, demonstriert werden. Die große Zahl einfacher hier zur Verfügung stehender Schülerexperimente legt es nahe arbeitsteilig Schülerexperimente durchführen oder an Stationen lernen zu lassen. Lernen an Stationen ist sicherlich die anspruchsvollste und effektivste Art zu unterrichten, die Möglichkeiten hängen vom Vorwissen und den Fertigkeiten der Schülerinnen und Schüler ab, den zur Verfügung stehenden Geräten und nicht zuletzt von der Klassengröße und der Möglichkeit von Teilungsunterricht ab. Zum Lernen an Stationen gibt Münchow (s. Literaturhinweise zu den Bausteinen für den Physikunterricht, S. 222) viele Tipps.

Die Erregung des Trommelfells zeigt sehr deutlich Versuch 17: „Tanzende Reiskörner“, auch „Reistopf“ genannt, S. 162:

Schallwellen treffen auf die über den Topf gespannte Membran, bringen diese zum Schwingen und lassen damit die darauf liegenden Reiskörner springen.

Ebenso bewegen die Schallwellen des gasförmigen Luftkörpers das Trommelfell. Das schwingende Trommelfell gibt diese Schwingungen an die Mittelohrknöchelchen weiter, ein Vorgang, der mit dem Versuch 18: „Zwei Tamburine“, S. 163, gezeigt wird:

Zwei Tamburine werden einander zugewandt jeweils mit 2 Schnüren aufgehängt und das erste Tamburin angeschlagen. Das zweite Tamburin empfängt die Schallwellen des ersten und gibt diese weiter. Der lose hängende und das zweite Tamburin berührende Schlägel nimmt die Schallwellen auf und schwingt weg; ganz so, wie die Ohrknöchelchen bewegt werden.

Dabei werden Schwingungen eines gasförmigen Körpers auf einen Festkörper übertragen und dieser in Schwingungen versetzt. Die Übertragung von Schall von einem Ort mit Schallträgern unterschiedlichen Aggregatzustandes zeigt der Versuch 20: „Klingende Weingläser“, S. 164.

Zwei dünnwandigen halb gefüllten und nebeneinander stehenden Weingläsern wird ein dünner Draht auf den Rand gelegt. Mit einem feuchten Finger wird der Rand des einen Glases gerieben. Sobald man den Rand des einen Glases gerieben hat, wird der Schall über den Draht auf das andere Glas übertragen und man sieht dort die Wasserschwingungen.

Beim genauen Beobachten wird auch deutlich, dass der Draht viel weniger als die Wasseroberfläche schwingt, die scheint dem Schall weniger Widerstand entgegenzusetzen.

Die biologische Bedeutung dessen, dass mittels der Ohrknöchelchen an der Weiterleitung Festkörper und nicht eine Flüssigkeit beteiligt ist, zeigt der Versuch 21: „Reflexion von Schall an der Wasseroberfläche“, S. 164:

Eine wasserdichte, läutende Uhr wird in ein kleines Aquarium gelegt. Die Schülerinnen und Schüler halten ein Ohr in das Wasser des Beckens und vergleichen die Lautstärke, die sie im Wasser gehört haben, mit der an der Wasseroberfläche.

Außerhalb des Wassers ist der Schall deutlich leiser. Er ist offenkundig nicht in voller Stärke durch die Wasseroberfläche gelangt, ein Teil muss reflektiert worden sein. Damit dies nicht bei der Innenohrlymphe passiert, erfolgt die Weiterleitung der Schallwellen aus der Luft über Festkörper im Mittelohr.

Die Lösung des Reflexionsproblems wird im Mittelohr durch eine Erhöhung des Schalldrucks bewirkt. Im Wesentlichen beruht diese auf dem Flächenverhältnis zwischen dem 60–90 $mm^2$ großen Trommelfell und dem 3–3,5 $mm^2$ großen ovalen Fenster (Druck = Kraft/Fläche), Druckwandlung. Diese Anpassung wird durch die Hebelwirkung der Knöchelchen noch etwas verstärkt, da der Hebelarm des Hammers 1,3-mal länger als der des Ambosses ist (genau genommen sind es Winkelhebel und die Drehmomente von Hammer und Amboss, die sich wie 1,3 : 1 verhalten), Kraftwandlung.

Dies kann man die Schülerinnen und Schüler auch berechnen lassen. Gegeben sind dann die Radien, im Durchschnitt 8,7 und 1,8 mm für Trommelfell und ovales Fenster sowie das Längenverhältnis von 1,3 : 1 für Hammer und Amboss.

Ohne Mittelohr würden ca. 99 % der Schallenergie beim Übergang in das mit Flüssigkeit gefüllte Innenohr reflektiert. Durch das Mittelohr wird die Effektivität der Schallübertragung auf das Innenohr erheblich gesteigert, von ca. 1 % der aufgenommenen Schallenergie auf 65 % (im Einzelnen s. 2.2: „Hören", S. 26).

Eine weitere wichtige Aufgabe des Mittelohres mit seinen Knöchelchen ist aber eine Schutzfunktion. Bei sehr hohen Schallintensitäten zieht ein kleiner Muskel den Steigbügel in eine Schräglage, sodass nur noch 10 % der Schallenergie ins Innenohr gelangen. Dieser Schutzmechanismus wird „Stapedius-Reflex" genannt (Stapes = Steigbügel). Gleichsinnig wirkt ein Muskel, der am Hammer ansetzt und damit das Trommelfell spannt, sodass das Ausmaß der Schwingungen gemindert wird.

Ein Beispiel aus der Natur soll die Wirkung des Schutzmechanismus im Mittelohr verdeutlichen: Eine singende Amsel erzeugt an ihren Ohren einen Schallpegel von ca. 120 dB. Da der Schutzmechanismus im Gegensatz zum Menschen nicht kurzfristig ist, sondern beim Singen wirksam bleibt, werden die Ohren der Singvögel vor Überlastung und Schädigung bewahrt.

Während also im Mittelohr zu große Schallpegel gemindert werden, werden sehr kleine im Innenohr cochleär verstärkt, s. S. 30. Aber auch diese Verstärkung wird bei zu großen Schallpegeln gemindert, s. S. 32, sodass in summa an zwei Stellen des Ohres Schutzmechanismen vor Überlastung vorhanden sind.

### Funktion des Innenohres

Das Ohr ist ein Schalldruckempfänger, wie der Versuch 22, S. 165: „Ohrdruck" zeigt:

Die Schülerinnen und Schüler halten sich die Nase zu und erhöhen bei geschlossenem Mund den Druck in der Mundhöhle.

Dabei beobachten sie zum einen das Druckgefühl in den Ohren und zum anderen die Hörleistung.

Der Druck kann leicht wahrgenommen werden, ebenso die verminderte Hörfähigkeit. Offenkundig wird die Schallwahrnehmung durch Druckunterschiede beeinflusst, Ohren sind halt ebenso wie Mikrofone Schalldruckempfänger.

Durch ein Gespräch darüber, was mit dem Schall geschieht, sobald er das ovale Fenster am Innenohr erreicht hat, soll die Erkenntnis angebahnt werden, dass sich der Schall in der Schnecke ausbreitet. Wenn der Schall in der Flüssigkeit der Schnecke schwingt, wird die in der Schnecke befindliche Basilarmembran in Schwingungen versetzt.

Hierzu wird Versuch 31: „Schwingungen und Töne“ durchgeführt:

In Analogie dazu wird auf einem Saiteninstrument eine Saite mehrfach angestrichen oder gezupft und dabei mit der freien Hand an unterschiedlichen Stellen abgedrückt.

Je nach Länge des schwingenden Saitenteils ergeben sich unterschiedliche Tonhöhen.

Die Lehrkraft erklärt hierzu Folgendes: Während beim Anstreichen oder Zupfen der Saite diese in Schwingungen versetzt wird und Schallwellen erzeugt, führen im Innenohr die einlaufenden Schallwellen zu Schwingungen der Basilarmembran.

Anhand einer OH-Folie und/oder mit Vervielfältigungen der Abb. 5.4: „Schnecke in natürlicher Lage und ausgerollt“, S. 27, Abb. 5.5: „Corti-Organ“, S. 28, und Abb. 5.6: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht“, S. 28, wird der Feinaufbau der Basilarmembran erläutert. Dabei wird zunächst auf die Übertragung der Schallwellen auf die Deckmembran hingewiesen. Die Deckmembran stößt gegen die Zilien und verbiegt sie etwas. Durch diese Ausscherung werden die Zilien gereizt. Die Erregung wird auf Nerven übertragen, die diese Information an das Gehirn weiterleiten: Wir hören!

# Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

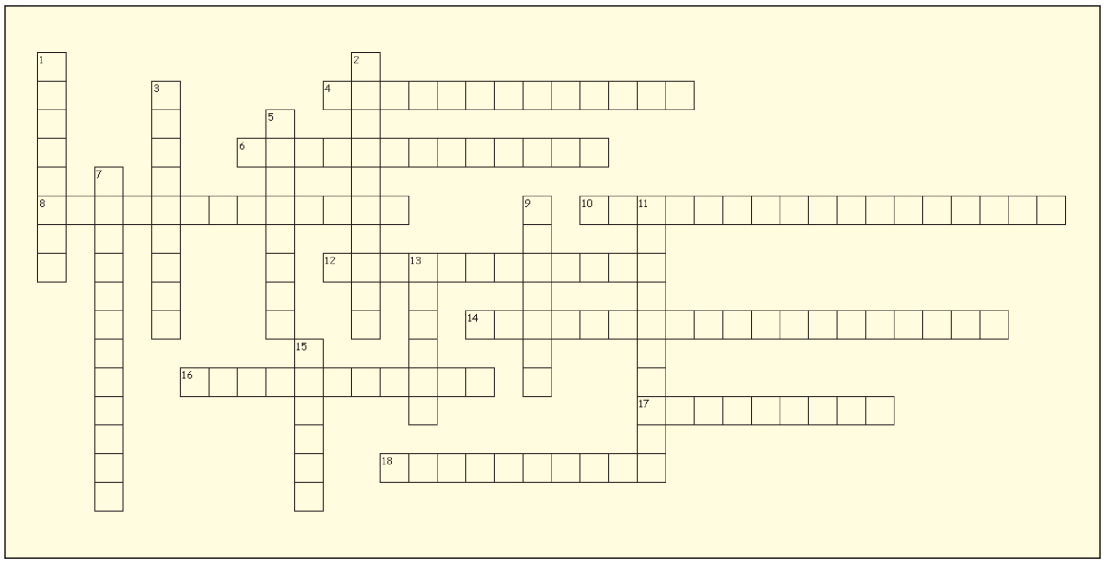
## M 29: Kreuzworträtsel

**Lösungen:**

1 Innenohr
2 äußeres Ohr
3 Mittelohr
4 rundes Fenster
5 Schnecke
6 Schneckengang
7 Paukentreppe
8 ovales Fenster
9 Hörnerv
10 Eustachische Röhre
11 Steigbügel
12 Vorhoftreppe
13 Hammer
14 Gleichgewichtsorgan
15 Amboss
16 Trommelfell
17 Gehörgang
18 Ohrmuschel

# Bau des Ohres

Amboss, äußeres Ohr, Eustachische Röhre, Gehörgang, Gleichgewichtsorgan, Hammer, Hörnerv, Innenohr, Mittelohr, Ohrmuschel, ovales Fenster, Paukentreppe, rundes Fenster, Schnecke, Schneckengang, Steigbügel, Trommelfell, Vorhoftreppe



Hinweise: ä/ö/ß = ä/ö/ß  Begriffe aus zwei Wörtern werden zusammengeschrieben.

1. Bereich des Ohres, beherbergt zwei unterschiedliche Sinne
2. einer von drei Bereichen des Ohres, wird nach innen durch das Trommelfell begrenzt
3. Bereich des Ohres zwischen Trommelfell und ovalem Fenster, luftgefüllter Hohlraum
4. Ausgangsöffnung der Schnecke, durch elastisches Häutchen verschlossen
5. Teil des Innenohrs; knöchernes, flüssigkeitsgefülltes System spiralig gewundener Gänge, dient dem Hörsinn
6. mittlerer von drei Gängen innerhalb der Schneckenwindungen
7. Gang in der Schnecke, grenzt an das runde Fenster
8. Eingangsöffnung der Schnecke, durch elastisches Häutchen verschlossen, steht mit einem der Gehörknöchelchen in Verbindung
9. Verbindung zwischen Innenohr und Gehirn
10. Verbindungsgang zwischen Mittelohr und Nasenrachen
11. eines von drei Gehörknöchelchen im Mittelohr, der kleinste Knochen im menschlichen Körper
12. Gang in der Schnecke, grenzt an das ovale Fenster, geht in der Spitze der Schnecke in den Paukengang über
13. eines von drei Gehörknöchelchen im Mittelohr, steht mit dem Trommelfell in Verbindung
14. Teil des Innenohres, bestehend aus drei Bogengängen, dient nicht dem Hörsinn
15. das mittlere von drei gelenkig miteinander verbundenen Gehörknöchelchen im Mittelohr
16. Membran, wird durch Schallwellen in Schwingungen versetzt und schützt das Mittelohr vor dem Eindringen von Schmutz und Krankheitserregern
17. Teil des äußeren Ohres, wird durch das Trommelfell begrenzt
18. äußerlich sichtbarer Teil des Ohres

BAUSTEIN 15

# Lärm schädigt das Innenohr

**Inhalt:**

Das Innenohr als Ort der Schädigung, Irreversibilität der Schädigung, zweite erweiterte und abschließende Definition von Lärm: Lärm ist negativ bewerteter Schall, der stört und/oder schädigt.

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 30: | Wo schädigt Lärm das Ohr? |
| Versuch 32: | Wo schädigt Lärm das Ohr? (Stimmgabel) |
| OH-Folie | und/oder Vervielfältigungen Abb. 5.5: „Corti-Organ“, S. 28 und Abb. 5.6: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht“, S. 28 |
| OH-Folie | Abb. 10.1 - 10.3, S. 35: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von intakten, aufgrund von energetischer Erschöpfung metabolisch geschädigten, verklebten und Steifeverlust zeigenden sowie mechanisch geschädigten, abgebrochenen und Zilien“ |
| M 1: | Audio-Datei Nr. 6: „Hörtest“, S. 66 und CD-Player |
| M 8: | Interaktives Bildschirmexperiment „Audiometrie“, S. 83 und Computer |
| M 31: | Audiogramme |
| M 1: | Audio-Dateien Nr. 7 und 8 der CD: „Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 9 und 10 der CD: „Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 11 bis 13 der Audio-CD: „Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden und mit Tinnitus wahrnimmt“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 14 und 15 der CD: „Hörgeräte sind kein Allheilmittel“, S. 67 und CD-Player |

**Bezug zu anderen Bausteinen:**

Wenn es die Unterrichtssituation zulässt, empfiehlt es sich Teile des Bausteines „Messung der Lautstärke“, S. 167, zu unterrichten, bei denen die Bedeutung der Obertöne und damit der Wahrnehmung hoher Frequenzen – sowohl zum Hören von Musik als auch für die Kommunikation – experimentell gezeigt werden.

**Zeitrahmen:**

Ca. 2 – 3 Unterrichtsstunden

# Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

## Das Innenohr – Ort wesentlicher Hörschädigungen

Der Unterricht wird mit der Frage begonnen, welches Organ oder welcher Teil eines Organs bei einer Hörschädigung durch Lärm verletzt wurde. Es wird auf die bisher erworbenen anatomischen Kenntnisse über das Ohr (s. voriger Baustein „Bau und Funktion des Ohres“, S. 190) verwiesen und zur Beantwortung der Frage der Versuch 32: „Wo schädigt Lärm das Ohr?“ durchgeführt.

Eine angeschlagene Stimmgabel wird an verschiedenen Stellen des Kopfes aufgesetzt. Der von ihr erzeugte Schall wird umso lauter empfunden, je mehr die Stimmgabel einem Ohr genähert wird. Auch bei zugehaltenen Ohren kann man den Schall der Stimmgabel hören, da er über Schädelknochen (Festkörper) weitergeleitet wird.

Nach der Durchführung des Versuchs 32 verbunden mit der Bearbeitung von M 30: „Wo schädigt Lärm das Ohr?“ durch die Schülerinnen und Schüler steht fest, dass nicht das Mittelohr die gehörgeschädigte Struktur ist. Damit muss es das Innenohr sein.

Mit dieser Aussage wird die Frage verbunden, welcher Teil des Innenohres wahrscheinlich in Mitleidenschaft gezogen wird. Dazu werden eine Folie oder Vervielfältigungen der Abb. 5.5: „Corti-Organ“ und 5.6: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht“, S. 28, eingesetzt. Die Vermutung der Schülerinnen und Schüler, dass die Zilien die empfindlichsten Strukturen des Innenohres sind, wird von der Lehrkraft bestätigt und besonders darauf hingewiesen, dass sie durch Lärmeinwirkungen geschädigt werden können. Hierzu werden den Schülerinnen und Schülern auf einer OH-Folie oder als Vervielfältigungen die Abb. 10.1 – 10.3, S. 35: „Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von intakten, aufgrund von energetischer Erschöpfung metabolisch geschädigten verklebten und steifeverlust zeigenden sowie mechanisch geschädigten abgebrochenen Zilien“ gezeigt.

Zusätzlich erhalten die Schülerinnen und Schüler durch die Lehrkraft Informationen über die Schädigungen des Innenohres (2.4: „Gehörschäden durch Schallüberlastung“, S. 33).

## Zweite erweiterte und abschließende Definition von Lärm: Lärm ist negativ bewerteter Schall, der stört und/oder schädigt

Nach der Erarbeitung der schädigenden Wirkung von Lärm auf das Innenohr wird die Begriffsbestimmung von Lärm abschließend erweitert:
Lärm ist negativ bewerteter Schall, der stört und/oder schädigt.

## Irreversible Schädigung des Innenohres

In einem Unterrichtsgespräch wird herausgearbeitet, dass ein Maß für den Grad der Schädigung des Innenohres die Einschränkung der Hörfähigkeit ist. Im Lehrervortrag wird dB als Maß des Schalldrucks (s. Abb. 3: „Angabe der Schallleistung, des Schalldrucks und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen“, S. 23, und Baustein 9: „Messung der Lautstärke“, S. 167) erläutert.

Mit dem „Hörtest“, Audio-Datei Nr. 6 der CD, S. 66, kann in einfacher Weise die individuelle Hörfähigkeit den Schülerinnen und Schülern demonstriert werden.

Als Methode zur Bestimmung von Hörschwellen wird die Audiometrie (s. S. 33) vorgestellt.

Wenn ein Computerraum zur Verfügung steht oder ein an einem Computer angeschlossener Beamer genutzt werden kann, empfiehlt sich die Simulation einer Audiometrie mithilfe des Interaktiven Bildschirmexperiments „Audiometrie“, S. 83. Mit ihm kann die Aufnahme eines Audiogramms simuliert werden, dabei wird deutlich, wie die Kurven erstellt werden und zu interpretieren sind.

Das 1. Audiogramm des Arbeitsbogens M 31: „Audiogramme“ zeigt das eines Normalhörigen und eines Hörgeschädigten. Diese Abbildung wird im Unterricht interpretiert. Anschließend werden arbeitsteilig die Audiogramme 2 – 4 des Arbeitsbogens gemäß den Arbeitsaufträgen ausgewertet. In einem Klassengespräch werden die Ergebnisse der Bearbeitung wie folgt zusammengefasst:

Sehr große Lautstärken (Audiogramm 3) oder lange Verweilzeiten bei hohen Schallpegeln (Audiogramm 4) schädigen den Hörsinn. Je höher die Intensität und je länger die Dauer des Schalls sind, desto stärker ist die schädigende Wirkung. Stärke und Dauer der schädigenden Einwirkung können sich kompensieren, s. Tab. 7: „Risiko für 16-jährige Jugendliche für eine Hörminderung (bei 4 kHz gemessen) nach 5 Jahren bei häufigeren und zu lauten Discothekenbesuch“, S. 46.

Die Auswirkung von Schwerhörigkeit sollte am Beispiel von Beiträgen von der CD: Audio-Dateien Nr. 7 und 8: „Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 9 und 10: „Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 11 und 12: „Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden wahrnimmt“, S. 67, demonstriert werden. Die Beispiele mögen trivial erscheinen, zumal die Wahrnehmung des Tinnitus simuliert wird; es hat sich jedoch gezeigt, dass gerade diese Hörbeispiele immer wieder großes Erstaunen auslösen und noch einige Zeit später Schülerinnen und Schüler darauf zurückkommen und die Beispiele noch einmal hören wollen.

Hörgeräte kompensieren den Schaden deutlich weniger als vergleichsweise Brillen bei Augenfehlern, Audio-Dateien Nr. 14 und 15: „Hörgeräte sind kein Allheilmittel“, S. 67, zeigen dies sehr deutlich.

# Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien



## M 30: Wo schädigt Lärm das Ohr?

1. Einige Informationen können nicht im Unterricht experimentell gewonnen werden. Bestimmte Kenntnisse werden den Schülerinnen und Schülern in den Sachinformationen von M 30 vermittelt. Mittels eines Versuchs mit der Stimmgabel als diagnostischem Instrument wird die das Innenohr schädigende Wirkung des Lärms gezeigt. Es empfiehlt sich, auf einem weiteren Bogen resp. auf der Rückseite von M 30 Kopien von Teilen der Abb. 5: „Ohr", S. 26 ff. den Schülerinnen und Schülern zu geben.

2. Normalhörige und schwerhörige Menschen nehmen bei dem Experiment gleichermaßen wahr, dass bei der Luftleitung leisere Töne als bei der Knochenleitung zu hören sind.

   Die übliche Meinung, dass bei lautem Schall das Trommelfell platzt, trifft so nicht zu. Erst bei Explosionen mit mehr als 185 dB platzt das Trommelfell und heilt dann wieder. Die als Folge geplatzter Trommelfelle oftmals auftretende chonische Mittelohrentzündung muss operativ geheilt werden. Innenohrschäden sind jedoch irreparabel.

3. Die analoge Reaktion der Normal- und Lärmschwerhörigen weist darauf hin, dass die lärmbedingte Schädigung hinter dem ovalen Fenster und damit im Innenohr liegen muss.

   Mit dieser Herleitung und mit der Frage, welcher Teil des Innenohres (s. Abb. 5: „Ohr", S. 26 ff.) besonders empfindlich und leicht verletzbar sein könnte, ist die Grundlage für die Betrachtung rasterelektronenmikroskopischer Aufnahmen der Zilien gelegt.

   Beim Einsatz von M 30 im Unterricht ist auf die genaue Abfolge der einzelnen Arbeitsschritte zu achten. Insbesondere sollen die Schülerinnen und Schüler zu Beginn ihre eigenen Vermutungen über den Ort der Schädigung des Ohres aufschreiben und später ggf. begründet verwerfen.

## M 31: Audiogramme

1. Die Abbildungen 2 – 4 werden in arbeitsteiliger Gruppenarbeit ausgewertet und die Ergebnisse der Klasse vorgestellt. Die Auswertung, die nicht sehr einfach ist, erfolgt anhand der Arbeitsaufträge von M 31.

   Es werden folgende Merksätze erwartet:
   **Zu Audiogramm 2:** Nachweisbare Lärmschäden waren reversibel.
   **Zu Audiogramm 3:** Die Lärmschäden bleiben bestehen und sind irreversibel.
   **Zu Audiogramm 4:** Auch geringere Lärmbelastung führt zu irreversiblen Hörschäden, wenn sie lange angedauert hat. Hohe Frequenzen – etwa 4 kHz – werden zuerst betroffen. Bei sehr langer Schallbelastung wird der Schaden breitbandiger (1,5 bis 8 kHz).

2. Eine ungewöhnlich reizvolle Alternative und Erweiterung ist das Aufzeichnen von Audiogrammen.

   Die wenigsten Schulen besitzen jedoch ein Audiometer. Ein gebrauchtes Audiometer erhält man im Fachhandel für etwa 1.000 €. Vorab sollte man jedoch in der Elternschaft fragen, ob nicht eventuell eine Ärztin oder ein Arzt für HNO unter den Eltern sind, die ein Gerät ausleihen können. Auf eine Anleitung wird hier verzichtet, man möge auf die des Herstellers achten.

   Wenn ein Computerraum oder ein Beamer zur Verfügung stehen, empfiehlt sich die Simulation einer Audiometrie. Hierzu steht das Interaktive Bildschirmexperiment M 8: „Audiometrie“, S. 83, zur Verfügung.

   Ein einfacher Test ist auch mit der Audio-Datei Nr. 6 der CD: „Hörtest“, S. 66, möglich.

   Die Audio-Dateien Nr. 7 und 8: „Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 9 und 10: „Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 11 bis 13: „Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden und mit Tinnitus wahrnimmt“, S. 67, Audio-Dateien Nr. 14 und 15: „Hörgeräte sind kein Allheilmittel“, S. 67, vermitteln sehr gut Folgen der Schwerhörigkeit. Insbesondere beeindrucken die Audio-Dateien 11 und 12.

# Wo schädigt Lärm das Ohr?

**Schreibe zunächst deine Vermutungen auf, welche Teile des Ohres durch Lärm geschädigt werden können:**

_____

_____

_____

_____

**Sachinformationen:**
Schwingungen der Luft oder eines anderen das Ohr umgebenden schallleitenden Mediums führen zu Schwingungen der Luft im äußeren Gehörgang und dann zu Schwingungen des Trommelfells. Sie werden von diesem in Bewegungen der drei Gehörknöchelchen (Hammer, Amboss, Steigbügel) im Mittelohr umgesetzt. Diese über die Luft im äußeren Gehörgang, über das Trommelfell und über die Kette der Gehörknöchelchen vermittelte Schallleitung wird als Luftleitung bezeichnet. Erreichen die Schwingungen das ovale Fenster des Innenohres, entstehen Wellenbewegungen der Flüssigkeit in der Vorhof- und der Paukentreppe, die sich auf die Flüssigkeit im Schneckengang übertragen. Das führt zu Bewegungen der Basilarmembran, wodurch schließlich die Zilien der Sinneszellen gereizt werden, die auf der Basilarmembran sitzen.

Auch die Knochen des Schädels leiten Schall, jedoch mit einem wesentlich größeren Energiebedarf von 40 – 50 dB. Normalerweise hört man darum über Luftleitung und nur bei höheren Pegeln zusätzlich über Knochenleitung. Ausgenommen ist dabei die Wahrnehmung der eigenen Stimme, da die Vibrationen des Kehlkopfes und des Ansatzrohres unter Umgehung des Mittelohres mechanisch unmittelbar auf die Schädelbasis übertragen und damit direkt ohne Einschaltung des Luftschalles zum Innenohr geleitet werden.

**Stimmgabeltest zur Prüfung des Hörvermögens:**

Versuchsdurchführung:

Halte den Fuß der angeschlagenen Stimmgabel auf den Knochenvorsprung hinter dem zu prüfenden Ohr. Wenn der Ton nicht mehr zu hören ist, wird die Stimmgabel direkt vor das Ohr gehalten.

Beschreibe deine Wahrnehmungen:

_____

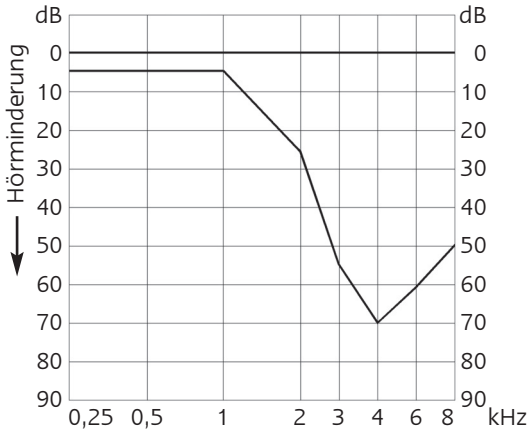
_____

_____

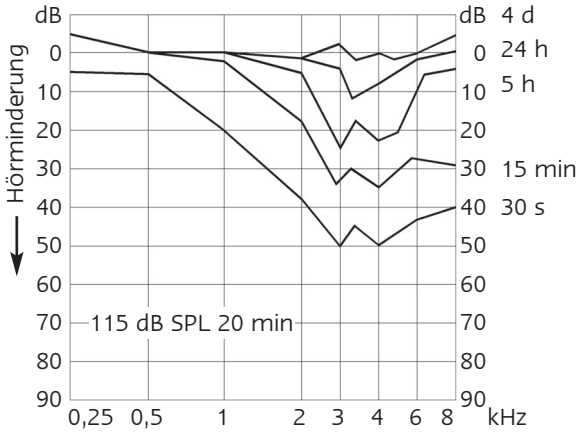
**Zusätzliche Information:**
Ein durch Lärm schwerhörig Gewordener hat die gleichen Wahrnehmungen. Er hört den Ton im Vergleich zum Normalhörigen allerdings sowohl bei der Luft- als auch bei der Knochenleitung gleich stark verschlechtert.

Welche Folgerung kann daraus über den Ort der Schädigung des Ohres vermutet werden?

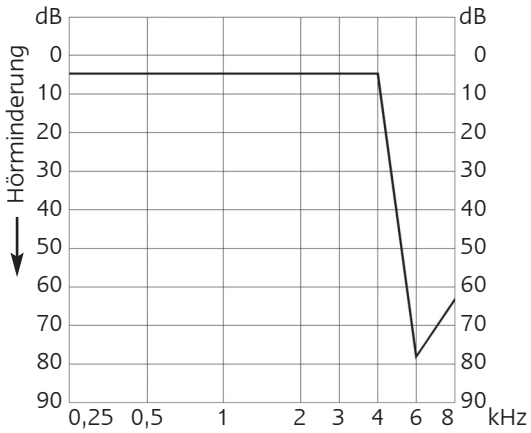
## Audiogramme



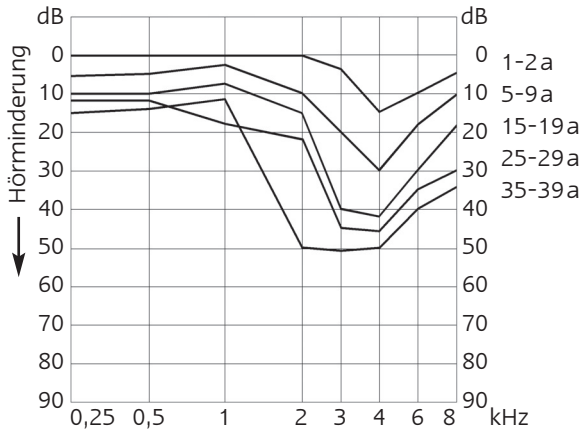

Audiogramm 1




Audiogramm 2




Audiogramm 3




Audiogramm 4

**Audiogramm 1:** Audiogramm eines Normalhörigen und eines Hörgeschädigten. Vereinbarungsgemäß wird die Frequenz auf der X-Achse und die Hörfähigkeit auf der Y-Achse aufgetragen. Dabei wird der Wert 0 Normalhörigen zugeordnet. Die Werte Hörgeschädigter werden nach unten aufgetragen, da die Hörgeschädigten ja weniger hören.

**Audiogramm 2:** Fünf Audiogramme der temporären Hörminderung, gemessen nach unterschiedlichen Zeiträumen (30 Sek., 15 Min., 5 Std., 24 Std. und 4 Tage) nach einer 20-minütigen Lärmbelastung mit 115 dB.

**Audiogramm 3:** Audiogramm einer Konzertbesucherin, die 3 Stunden neben einem Lautsprecher saß, aufgenommen nachdem 6 Tage verstrichen waren.

**Audiogramm 4:** Audiogramme von Arbeiterinnen einer Weberei, die unterschiedlich lang (1 – 2, 5 – 9, 15 – 19, 25 – 29 und 35 – 39 Jahre) in der Weberei beschäftigt waren.

1. **Beschreibe die Audiogramme.**

2. **Erkläre die Messkurven in diesen Audiogrammen mithilfe deiner Kenntnisse über das Innenohr.**

3. **Formuliere einen Merksatz, der den Sachverhalt zusammenfasst.**

BAUSTEIN 16

# Lärm wirkt nicht nur auf das Ohr

**Inhalt:**

Physiologische und psychische Reaktionen auf Lärm, nichtlineare Wirkungen, Rückkoppelungen, Risiko für das Herz-Kreislauf-System, Arbeitseffektivität und Lärmschutz

**Materialien und Medien:**

| | |
|---|---|
| M 32: | Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm |
| Tab. 5: | Lärmminderung und Leistungssteigerung in verschiedenen Arbeitsbereichen, S. 45 |
| Tab. 6: | Lärmminderung und Abnahme des Gesundheitsrisikos in verschiedenen Arbeitsbereichen, S. 45 |
| Tab. 7: | Risiko für 16-jährige Jugendliche für eine Hörminderung [bei 4 kHz gemessen] nach 5 Jahren bei häufigerem und zu lautem Discothekenbesuch. |

**Zeitrahmen:**

Ca. 1 – 2 Unterrichtsstunden

## Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung:

**Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm**

Die Schülerinnen und Schüler bearbeiten unter Anleitung der Lehrkraft den Informationstext M 32: „Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm“. Dazu erhalten sie zunächst lediglich Informationen aus dem ersten Absatz von M 32, der noch nicht in Form von Vervielfältigungen verteilt und von der Lehrkraft vorgelesen wird. Die Schülerinnen und Schüler werden aufgefordert Vermutungen über das Ausmaß der Hörschädigung bei Schallpegeln von 60 dB zu äußern (s. Tab. 7: „Risiko für 16-jährige Jugendliche für eine Hörminderung [bei 4 kHz gemessen] nach 5 Jahren bei häufigerem und zu lautem Discothekenbesuch“, S. 46).

Anschließend erhalten sie entgegen der meist geäußerten Vermutung (Schädigung ist gering) die Information, dass keine direkten Schädigungen beobachtet werden. Es sollte erörtert werden, ob nicht doch Wirkungen – und zwar indirekt – beobachtbar sind. Eine derartige Vermutung müsste durch Untersuchungen experimentell überprüft werden. Das ist geschehen. Vervielfältigungen von M 32 werden verteilt.

Die folgenden drei Absätze werden schrittweise besprochen, ggf. in Kleingruppenarbeit arbeitsteilig diskutiert. Es wird darauf geachtet, dass bei der Interpretation die indirekte Wirkung, die positive Rückkoppelung und die Wechselwirkung von den Schülerinnen und Schülern selbst erkannt und entsprechend beschrieben werden.

Im Unterrichtsgespräch soll herausgearbeitet werden, dass Lärm gesundheitsgefährdend ist. Damit im Zusammenhang wird die Frage gestellt, ob Lärm die Leistungsfähigkeit mindert.

### Arbeitseffektivität und Lärmschutz

Diese Vermutungen werden mit dem Hinweis auf krankheitsbedingte Fehltage bei Weberinnen, bei Werktätigen in verschiedenen Industriebetrieben sowie bei im Büro Tätigen bestätigt. Dazu sind die entsprechenden Tabellen, z.B. Tab. 5: „Arbeitslärm: Lärmminderung und Leistungssteigerung in verschiedenen Arbeitsbereichen“ und Tab. 6: „Lärmminderung und Abnahme des Gesundheitsrisikos in verschiedenen Arbeitsbereichen“, S. 45, den Schülerinnen und Schülern vervielfältigt auszuhändigen oder an die Tafel zu schreiben.

Bei der Auswertung der Tabelle zeigt sich, dass Lärm am Arbeitsplatz die Gesundheit und die Arbeitsfähigkeit der Menschen beachtlich beeinträchtigt. Umgekehrt kann eine verbesserte Gesundheit und ein Leistungsanstieg nachgewiesen werden, wenn lärmschützende Maßnahmen getroffen wurden.

## Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

### M 32: Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm

1. In den Informationen werden die Reaktionen des menschlichen Körpers referiert, die bei Menschen auftreten können, wenn Menschen unter Lärmbelastung wohnen und/oder arbeiten. Deutlich wird von Laboruntersuchungen abgehoben, die zwar eindeutige und einfach zu erklärende Ergebnisse zeitigen, jedoch mit künstlich hohen Pegeln und unter lebensfernen Bedingungen.

   Die indirekten Wirkungen von Lärm, die nicht direkt auf das Ohr, sondern auf den übrigen Organismus einwirken, sind schwerer zu erkennen. Sie sind in ihrem Wirkungsmechanismus kompliziert. Die Erkenntnisse sind bis heute den meisten Menschen kaum bewusst.

   Im 2. Absatz von M 32 wird von einem Experiment berichtet, das die indirekte Wirkung deutlich macht. Es wird verständlich, warum zwar viele Menschen, jedoch nicht alle von Lärm belästigt und geschädigt werden. Die Gesamtkonstitution ist bestimmend dafür, inwiefern Lärm schädigend wirken kann.

   Im 3. Absatz von M 32 wird auf die Abnahme von Magnesium (Mg) bei Lärmbelästigung hingewiesen. Umgekehrt führt Mg-Mangel zu erhöhter Lärmempfindlichkeit. Ein Circulus vitiosus entsteht hier, der klassische Fall einer positiven Rückkoppelung.

Im letzten Absatz von M 32 wird der wechselwirkende Mechanismus deutlich: Die Kombination eines lauten Arbeitsplatzes mit einer lauten Wohnung führt zu einer Interaktion und zu erhöhtem Blutdruck. Ein Faktor allein hat noch keine, auch nicht graduelle Erhöhung zur Folge. Erst die gemeinsame Wirkung beider Faktoren führt zu einer Reaktion.

2. Der Tatbestand ist kompliziert. Aus diesem Grund sollte die Behandlung des Themas durch schrittweise Ableitungen erfolgen, wie sie im „Vorschlag für die Unterrichtsgestaltung“ erläutert wird.

# Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm





Im Laborexperiment wurde beobachtet, dass Lärm mit einem Pegel von über 90 dB (A) das sympathische Nervensystem erregt und dadurch vermehrt die sogenannten Stresshormone Adrenalin und Noradrenalin aus dem Mark der Nebenniere ausgeschüttet werden. Diese nervöse Erregung und hormonelle Aktivität hat u.a. eine Erhöhung des Blutdrucks, des Herzzeitvolumens und der Menge der Blutfette zur Folge, wie es von typischen Stressreaktionen bekannt ist. Untersucht man jedoch Menschen bei Lärmpegeln mittlerer Lautstärke, ca. 60 dB (A), so kann man keine direkten Reaktionen beobachten. Sind 60 dB (A) also unbedenklich?

In einen Seminarraum wurden 42 Männern einen Tag lang 60 dB (A) Straßenverkehrslärm eingespielt und die Reaktion der Männer an diesem Tage mit ihren Reaktionen an üblichen Tagen verglichen. Die Abnahme der Verständlichkeit der Silben, während die Sätze verständlich blieben, erforderte eine höhere Konzentration, bei der Hälfte der untersuchten Personen nahm die psychische Anspannung zu, stieg die Konzentration des Stresshormons Noradrenalin an und veränderte sich der Blutdruck. Dabei stieg er bei 3/4 der Männer an, bei 1/4 nahm er ab. Erhöhter Blutdruck ist ein Risikofaktor für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, besonders für Herzinfarkt.

Im Tierexperiment wurde außerdem beobachtet, dass die vermehrte Freisetzung von Noradrenalin zu einer Abnahme von Mg- und Zunahme von Ca-Verbindungen im Herzmuskel führt. Dies lässt das Herz beschleunigt altern. Derartige biochemische Veränderungen konnten auch beim Menschen festgestellt werden. Zusätzlich führt die Abnahme von Mg im Organismus zu einer Zunahme der Lärmempfindlichkeit.

Ähnliche Stressreaktionen waren während des Schlafs zu verzeichnen, wenn die Fenster zu lauten Straßen hin geöffnet wurden. In weiteren Untersuchungen zeigte sich, dass bei mittlerem Verkehrslärmpegel von über 65 dB (A) außerhalb der Wohnung das Risiko für Herzinfarkt um 20 % und bei über 70 dB (A) um 30 % steigt. Bezogen auf die gesamte Bevölkerung Deutschlands (also auch Menschen, die leise wohnen) bedeutet dies, dass bei einer Verkehrslärmsanierung von Wohnungen mit einem Außenpegel von 65 dB (A) tagsüber und von 55 dB (A) nachts die Anzahl der Infarkte um 3 % abnehmen würde.

(Nach Ising, H., Günther, Th.: Verkehrslärm und Herzinfarkt. AICB-Kongress Bologna, 1995)

# 9.
# Baustein zum Ruhe-Finden

**BAUSTEIN 17**

## Übungen zum Ruhe-Finden

**Ziele der Übungen:**

Lärm meiden, vermeiden oder mindern wird nur derjenige, der Ruhe genießen kann. So beginnt Lärmprävention bereits beim Kampf gegen die innere Unruhe, da man kaum für äußere Ruhe eintreten kann, wenn man nicht innere Ruhe kennt.

Die Übungen sollen vornehmlich dazu dienen den Teufelskreis zu durchbrechen, der Überforderungen mit neuen Überforderungen, Störungen mit neuen Störungen beantwortet.

Mit den Übungen können Schülerinnen und Schüler angeleitet werden bewusster zu hören, ihre Muskeln zu spüren, den Atem zu kontrollieren, sich auf einzelne Sinne zu konzentrieren. Sie lernen Möglichkeiten kennen Anspannungen zu lockern, aus Spannungen „abzutauchen" und dadurch Ruhe in sich selbst finden und diese zu genießen.

Vor allem sollen die Schülerinnen und Schüler
- Stille in ihrer Umgebung und in sich selbst erleben,
- Wahrnehmungen gezielt schulen,
- bewusste Körpererfahrungen machen,
- Techniken lernen, mit deren Hilfe sie Ruhe in sich selbst erzeugen und Anspannungen des Alltags abbauen können.

**Unterrichtsmittel:**

M 1: Audio-Dateien Nr. 43 bis 46 der CD: „Meditation Dive“, „Meditation Yantra“, „Meditation Yantra mit Text“, „Meditation Asana“, S. 70 und CD-Player
M 33: Fragen zum Thema „Lärm“
M 34: Anleitung für eine Übung zur Sensibilisierung des Hörens
M 35: Anleitung für eine Übung zur Körperwahrnehmung und Entspannung
M 36: „Marionette“ – Anleitung für eine kleine Entspannungsübung
M 37: Anleitung für eine Atemübung
M 38: Anleitung für eine Übung zum Empfinden von Berührungen
M 39: Anleitung für eine Übung zum Malen oder Schreiben mit Entspannungsmusik
M 40: „Traumreise“ – Anleitung für eine Entspannungsübung

**Über den Einsatz der Übungen:**

Bevor Übungen durchgeführt werden, sollte der Informationsbogen M 33: „Fragen zum Thema ‚Lärm‘“ ohne Vorgespräch von den Schülerinnen und Schülern beantwortet werden. Dabei wird ermittelt, inwieweit sie akustische Störungen bewusst wahrnehmen.

Im Gespräch über die Notwendigkeit Ruhe zu finden, werden Schülerinnen und Schüler interessiert Techniken kennenzulernen, mit deren Hilfe sie sich entspannen und besser konzentrieren können.

Dazu können verschiedene Übungen durchgeführt werden, die ihnen vor allem helfen sollen Ruhe in sich selbst zu entwickeln. So können die Schülerinnen und Schüler feststellen, welche Übungen ihnen am besten helfen, und diese auch außerhalb der Schule durchführen.

Die anleitende Lehrkraft benötigt wenig Vorerfahrung. Die Übungen können in den Unterricht eingeplant werden. Wenn Schülerinnen und Schüler und Lehrkräfte geübt sind und eine gewisse Sicherheit gewonnen haben, ist es auch möglich sie spontan anzuwenden. Die Übungen sind dann in jede sich anbietende Situation integrierbar um Anspannung abzubauen und Konzentration wiederzufinden.

Die Schülerinnen und Schüler müssen an den Entscheidungen über Art, Zeitpunkt usw. der Übung beteiligt werden und sich partnerschaftlich ernst genommen fühlen. Niemand sollte zu den Übungen gezwungen werden. Es wirkt sich aber positiv auf das Gemeinschaftsverhalten aus, wenn alle Schülerinnen und Schüler daran teilnehmen. Absprache ist, dass niemand seine Mitschülerinnen und Mitschüler stören darf.

Für einen Großteil der Übungen ist ein Vertrauensverhältnis zwischen Schülerinnen und Schülern und Lehrkräften nötig. Die Schülerinnen und Schüler müssen der Lehrkraft Vertrauen entgegenbringen, sicher sein, dass diese ihnen helfen will. Es sollte eine experimentelle Offenheit vorhanden sein. Dies gelingt am besten, wenn alle Spaß an den Übungen haben.

In Gesprächen, die an die Übungen anschließen, sollten Beobachtungen und Erfahrungen der Schülerinnen und Schüler und der Lehrkräfte besprochen werden. Die Äußerungen von Schülerinnen und Schülern nach einer Übung über ihre Empfindungen und Beobachtungen, die sie dabei hatten, geben Aufschluss über den Erfolg oder Misserfolg dieser Übung. Lehrkräfte können dabei Verständnis für bestimmte Schwierigkeiten von Schülerinnen und Schülern entwickeln, das diesen bisher nicht entgegengebracht werden konnte. Es hat sich gezeigt, dass viele Schülerinnen und Schüler ein großes Bedürfnis haben sich über ihre Eindrücke und Erlebnisse während der Übungen zu äußern und sich darüber auszutauschen.

Ebenso erstaunlich wie erfreulich ist es, dass Schülerinnen und Schüler ganz still sein können, die das in „normalen" Unterrichtssituationen selten schaffen.

Die Übungsanleitungen sind für die Lehrkräfte gedacht, nicht für die Hand der Schülerinnen und Schüler. Der Wortschatz der Texte kann an den lokalen Sprachgebrauch und Wortschatz der Schülerinnen und Schüler angepasst werden.

Die hier beschriebenen Übungen zum Ruhe-Finden wurden bei Eprobungen sehr oft positiv aufgenommen. In einigen Fällen wurde die Stille als bedrohlich wahrgenommen, ein bedrohlicher Tatbestand. Einige Schülerinnen und Schüler, die anfangs Probleme mit den Übungen hatten, überwanden ihre Widerstände nach einigen Wiederholungen. In einer 5. Klasse wurde beobachtet, dass hyperaktive Kinder wider Erwarten keine Schwierigkeiten hatten bei den Übungen die Augen zu schließen und abzuschalten.

Schüler einer 9. Klasse eines Gymnasiums beurteilten die Entspannungsübungen als „hervorragend entspannend", als Möglichkeit „sich wegtragen zu lassen", als vom „Stress im Alltag abgelenkt zu werden". Weitere Schüleräußerungen lauteten: „Die Stille-Übungen waren ungewohnt für mich, aber trotzdem entspannend.", „So was könnte man ruhig öfter machen.", „Die Entspannungsübungen haben ihren Zweck sehr gut erfüllt, zum ersten Mal wurde in unserer Klasse richtige Stille erzeugt."

Auch eine eher unruhige Klasse war nach Aussage der Lehrerin bei den Übungen zum Ruhe-Finden sehr konzentriert und entspannt: „Die verschiedenen Übungen führten durchweg zu wirklicher Ruhe und auch zu anschließender Lärmminderung. Lärmprophylaxe im täglichen Miteinander wurde von den Schülern daraufhin auch als notwendig erachtet." Nach Aussagen einer Lehrerin entwickelten sie im Laufe des Unterrichts sogar „ein Bewusstsein für die Unterscheidung von Lärm und Ruhe".

# Hinweise für die Nutzung der Materialien und Medien

**Materialangebot M 33:**

**Fragen zum Thema „Lärm“**

Es zeigte sich bei den Erprobungen in fast allen Klassen, dass den Schülerinnen und Schülern bewusst ist, dass Lärm die Gesundheit schädigt, wobei Mädchen sensibler reagierten als Jungen.

Nach Aussagen der Schülerinnen und Schüler wird vor allem durch Geschwister, Nachbarn, durch Radio und Fernsehen ihre Ruhe zum Lernen gestört. Einerseits findet ein Teil der Schülerinnen und Schüler Musik während der Erledigung von Hausaufgaben als störend, andererseits meinen andere, sie seien daran gewöhnt (deutlich zeigte sich dies auch beim Versuch 28: „Konzentrationsfähigkeit bei Musik“, S. 184). Häufige Hintergrundmusik kann auch die innere Unruhe der Schülerinnen und Schüler verstärken. Mangelnde Zuwendung und häusliche emotionale Überforderung kommen als störende Faktoren oft hinzu. Konzentration ist manchmal nur sehr schwer möglich. Ruhe, Besinnlichkeit und Nachdenken sind für viele Kinder wenig bekannte Erfahrungen.

# Fragen zum Thema „Lärm“

Schreibe zu den folgenden Fragen Deine Antwort auf einen Extrabogen.

1. Was ist Lärm?

2. Welcher Lärm stört Dich? Gib Beispiele an.

3. In welchen Fällen findest Du es gut, wenn es laut ist?

4. In welchen Situationen findest Du es angenehm, wenn es ganz ruhig ist?
   Schreibe Beispiele auf.

5. Welche Geräusche empfinden Deine Eltern als störend?

6. Welche Geräusche empfinden Lehrkräfte als störend?

7. Kannst Du Dir vorstellen, dass Lärm krank machen kann?
   Wenn ja, schreibe Beispiele auf.

# Anleitung für eine Übung zur Sensibilisierung des Hörens

Diese Übung verdeutlicht den Schülerinnen und Schülern, dass ein Großteil des Hörens unbewusst bleibt und regt sie an Geräusche bewusster wahrzunehmen.

**Vorbereitung:**

Alle haben vor sich ein leeres Blatt und einen Stift liegen.

**Durchführung:**

„Hört etwa 6 Minuten genau hin und schreibt dabei auf, was Ihr hört. Dabei muss es im Raum so still wie möglich sein.“

Während der Übung wird alle zwei Minuten die Geräuschsituation verändert, indem z.B. die Tür oder das Fenster geöffnet wird. Bei älteren Schülerinnen und Schülern können die Zeiträume auch verkürzt werden.

Umfang und Inhalte der Notizen variieren stark. Fast alle Schülerinnen und Schüler geben zu erkennen, dass sie die Stille als angenehm empfanden. Einige sind erstaunt, wie viel man hören kann, wenn es still ist. Geräusche im Haus werden meist eindeutig identifiziert. Dass man bei geöffnetem Fenster mitten in der Stadt außer z.B. Autos auch zwitschernde Vögel hören kann, erstaunt manche Schülerinnen und Schüler. Erfahrung eines Neunklässlers mit dieser Übung: „Man hat viel bewusster auf die Geräusche in unserer Umgebung gehört, welche man sonst gar nicht so wahrnimmt.“

# Anleitung für eine Übung zur Körperwahrnehmung und Entspannung





Es handelt sich um eine umfangreiche Übung zum Abbau von Anspannungen und innerer Unruhe.

Im Stuhlkreis wird bei möglichst entspannter Sitzhaltung (entweder bequem zurückgelehnt oder nach vorn gebeugt mit Ellbogen auf den Oberschenkeln) folgender Text langsam vorgetragen:

„Schließe bitte Deine Augen.

Pause

Atme tief ein und l a n g s a m wieder aus.

Pause

Spüre, ob Du bequem sitzt. Wenn nicht, korrigiere j e t z t Deine Sitzhaltung.

Pause

Spanne Deine Fußzehen an und zähle still bis fünf.
(Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Entspanne Deine Fußzehen wieder.

Pause

Spanne die Zehen- und die Fußmuskeln an.
Zähle wieder still bis fünf. (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Entspanne alle Muskeln wieder.

Pause

Spanne Zehen, Füße und Beine an. Zähle wieder. (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Pause

Spanne noch einmal nach! Zähle! (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Und wieder locker lassen!

Pause

Wir beginnen wieder mit den Zehen, den Füßen, den Beinen und spannen dazu noch die Pomuskeln an:
Anspannen, festhalten, noch fester anspannen! (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Und jetzt werden alle Muskeln wieder entspannt. Locker lassen, ganz locker!

Pause

Wir beginnen wie bisher mit der Anspannung: Füße,

Pause

Beine,

Pause

Sitzfläche

Pause

und nehmen jetzt auch noch die Bauchmuskeln dazu. Anspannen!

Pause

Noch fester! (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Und alles wieder locker lassen! Ganz locker!

Pause

Noch einmal den ganzen Unterkörper anspannen – an - span - nen, die Fäuste schließen, die Arme anziehen, die Schultern zusammendrücken und den Kopf einziehen. (Lehrkraft zählt sehr leise mit: 1–2–3–4–5)

Und langsam wieder alles entspannen.

Pause

Macht Euch jetzt bewusst, wie Euer Körper sich anfühlt. Ist alles locker und entspannt?

Pause

Fühlt Ihr Euch anders, als vor der Übung?

Wer möchte etwas dazu sagen?“

Die Übung kann auch schrittweise an den Anfang zurückgeführt werden, indem man alle Körperpartien in umgekehrter Reihenfolge wieder auslässt. Dies sollte man von der vorhandenen Zeit und von der Ausdauer der Schülerinnen und Schüler abhängig machen.

Die meisten Schülerinnen und Schüler empfinden diese Muskelan- und -entspannungsübungen als angenehm. Es fallen Äußerungen wie: „Mein Körper fühlt sich jetzt viel leichter an!“, „Das ist ja, als wenn ich geschlafen hätte!“, „Ich fühle mich wie neugeboren!“

# „Marionette“ – Anleitung für eine kleine Entspannungsübung

Diese Übung eignet sich zur Lockerung nach angespanntem Sitzen.

Alle sitzen auf ihren Stühlen im Kreis oder etwas vom Tisch abgerückt auf ihren Plätzen. Die Schülerinnen und Schüler erhalten den Auftrag:

„Stellt Euch vor, Ihr seid eine Marionette. Der Puppenspieler zieht an den Fäden und stellt die Marionette auf. Macht nach, was man an der Marionette beobachten kann: Ihr steht langsam auf. Eure Arme strecken sich nach oben. Euer Kopf sitzt aufrecht. Die Wirbelsäule ist gerade. Der Körper ist durchgestreckt.

Jetzt lässt der Puppenspieler die Fäden los, an denen die Arme hängen. Sie sinken nach unten und baumeln schlaff. Der Kopf sinkt langsam nach unten. Nun lockert der Puppenspieler die Fäden, die zu den Schultern führen. Der Körper sackt langsam zusammen, die Beine knicken ein und die Marionette landet langsam auf dem Stuhl.“

Am Anfang sollte diese Übung mehrmals hintereinander ausgeführt werden, erst dann lockern die Schülerinnen und Schüler ihre Muskeln richtig.

Einige Schüler fanden diese Übung nicht angenehm, andere widersprachen dieser Beurteilung aber sehr deutlich und beurteilten sie für sich als sehr entspannend: „Die Marionettenübung war eine raffinierte Methode, um die Muskeln zu lockern.“

# Anleitung für eine Atemübung

Die Schülerinnen und Schüler sollen sich bei dieser Übung auf ihre Atmung konzentrieren und sich gleichzeitig umsichtig durch den Raum bewegen ohne ihre Mitschüler zu berühren.

Alle stehen verteilt in einem leeren Raum (z.B. Flur oder Turnhalle). Lehrkraft spricht langsam und leise, aber eindringlich:

„Stellt Euch vor, über Eurem Kopf schwebt eine Seifenblase. Diese wollt Ihr möglichst lange in der Luft halten.

Spitzt Euren Mund zu und pustet ganz vorsichtig.

Geht langsam hinter der Seifenblase her.

Achtet darauf, dass Ihr niemanden anstoßt, verliert Eure Seifenblase nicht.

Holt zwischendurch tief Luft und pustet vorsichtig weiter.

Welche Farbe hat die Seifenblase in Eurer Fantasie?

Schillert sie?

Pustet die Seifenblase noch einmal ganz hoch. Langsam verschwindet sie in der Luft.

Atmet jetzt ganz gleichmäßig weiter und spürt Eurem Atem im Körper nach.“

Diese Übung lässt sich variieren. Die Seifenblase kann auch eine Feder, eine Wolke o.Ä. sein.

# Anleitung für eine Übung zum Empfinden von Berührungen

Die Konzentration auf einzelne Sinne kann auch ein Ruhigwerden zur Folge haben. In dieser Übung geht es um den Tastsinn, der sich in der Haut befindet. Da Schülerinnen und Schüler sich ab einem bestimmten Alter nicht mehr ohne Hemmungen gegenseitig berühren, wird hier eine Feder als Medium eingesetzt.

Je zwei Schülerinnen und Schüler sitzen sich gegenüber. Eine Schülerin oder ein Schüler erhält eine Feder und die oder der andere die Aufforderung die Augen zu schließen. Die- oder derjenige mit der Feder berührt nacheinander drei Stellen im Gesicht oder auf Armen und Händen der Partnerin resp. des Partners. Die sollen anschließend in der richtigen Reihenfolge zeigen, welche Körperstellen berührt wurden.

Im nächsten Durchgang werden vier, dann fünf Stellen berührt. Wenn die betroffene Schülerin oder der betroffene Schüler sich die Reihenfolge nicht mehr richtig merken kann, werden die Rollen getauscht.

Am Anfang sollte man etwas Geduld haben, da in den meisten Fällen einige Schülerinnen und Schüler erst einmal kichern müssen, bevor sie die Übung ernsthaft angehen können.

# Anleitung für eine Übung zum Malen oder Schreiben mit Entspannungsmusik

„Wie sieht ein Ort aus, an dem es angenehm ruhig ist?“, über diese Frage soll ein kurzes Gespräch stattfinden, in dem einige Beispiele genannt werden. Danach soll dieser Ort entweder gemalt oder in einem Text beschrieben werden.

Je nach Wahl malen die Schülerinnen und Schüler mit Yaxon- bzw. Wachskreiden oder beschreiben einen Ort, von dem sie sich vorstellen, dass es dort sehr ruhig ist. Während dieser Arbeit soll nicht gesprochen werden.

Gleichzeitig läuft eine Kassette mit Entspannungsmusik bei niedriger Lautstärke. Der dargestellte Ort muss nicht realistisch, er kann auch erträumt sein.

Die Reaktionen der Schülerinnen und Schüler sind jedoch uneinheitlich, es sind auch ausgesprochen aversive und aggressive Reaktionen auf die als synthetisch empfundene Musik erfolgt. In diesen Fällen wäre die Musik auszuschalten resp. eine Alternative anzubieten.

Wichtig ist, dass es im Raum still ist und die Schülerinnen und Schüler konzentriert arbeiten. Die Erprobungen haben gezeigt: Einige füllen das Blatt auf abstrakte Weise mit Farben. Bei den Gegenständen dominieren Bäume und Naturdarstellungen. Auch die schriftlichen Arbeiten beinhalten Naturmotive und oft damit verbunden Darstellungen von besonders harmonischen zwischenmenschlichen Beziehungen.

Die **Musik** (Audio-Dateien Nr. 43 bis 46 der CD: „Dive“, „Yantra“, „Yantra mit Text“ und „Asana“, S. 69) empfinden die Schülerinnen und Schüler als entspannend. Nach wenigen Minuten der Einstimmung sollte die Lautstärke noch etwas mehr zurückgenommen werden.

**Alternative:** Zu entspannender Musik kann auch ein stimmungsvolles Dia mit einer Naturaufnahme gezeigt werden. Anschließend schreiben die Schülerinnen und Schüler auf oder sprechen darüber, was ihnen dazu eingefallen ist.

# „Traumreise“ – Anleitung für eine Entspannungsübung





Die „Traumreise“ nutzt die Vorstellungsfähigkeit der Schülerinnen und Schüler um sie für kurze Zeit aus der Realität zu entführen, sie abzulenken von der Unrast des Alltags.

Alle Schülerinnen und Schüler sitzen entweder im Sitzkreis oder an ihren Plätzen, wo sie die Arme verschränken und den Kopf auflegen können.

Der folgende Text wird langsam und sehr ruhig von der Lehrkraft vorgelesen. Dabei sollten Atempausen etwas länger ausfallen. Entspannungsmusik (Audio-Dateien Nr. 43 bis 46 der CD: „Dive“, „Yantra“, „Yantra mit Text“ und „Asana“, S. 69) kann eventuell kaum hörbar im Hintergrund abgespielt werden.

Text: „Setze Dich so hin, dass Du längere Zeit still sitzen kannst.

Schließe die Augen oder konzentriere sie auf einen Punkt im Raum.

Stelle Dir vor, Du sitzt auf einer grünen Wiese unter einem großen Baum. Man sieht Dich kaum, so hoch ist das Gras. Bunte Blumen blühen um Dich herum – gelbe – blaue – weiße – ein wunderschöner Teppich. Sie duften angenehm. Du hörst Bienen und Hummeln, die um die Blüten herumsummen. Auch über Dir in der Baumkrone summt es.

In Deiner Nähe plätschert ein kleiner Gebirgsbach. Die Sonne scheint. Einige Strahlen scheinen durch eine Lücke zwischen den Blättern auf Dein Gesicht. Das fühlt sich angenehm warm an.

In der Ferne siehst Du hohe Berge, deren Gipfel mit Schnee bedeckt sind. Raubvögel kreisen hoch oben in der Luft.

Du stellst Dir vor, dass Du mit ihnen fliegen könntest und die Welt von oben betrachtest: die saftig grüne Wiese mit den bunten Blumen, den großen Baum, in dessen Zweigen Bienen summen, den kleinen Bach, der zwischen großen Felsen hindurchrinnt. Hier oben hörst Du nur noch weit entfernte Geräusche und das Windgeräusch, das beim Gleiten durch die Luft entsteht.

Jetzt setzt Du langsam zur Landung an. Du schwebst langsam auf die Wiese zu und landest vorsichtig etwas entfernt von Deinem Baum. Du siehst Dich um und nimmst Abschied von Deiner Traumwiese.

Wenn Du willst, kannst Du jederzeit hierher zurückkehren.

Jetzt kommst Du erst einmal zurück in den Klassenraum, spürst Deinen Stuhl unter Dir, erinnerst Dich, wer rechts und wer links von Dir sitzt und bist wieder ganz hier. Du öffnest die Augen, spürst wieder Arme und Beine, setzt Dich gerade hin und bist wieder ganz da.“

Nach Erfahrungen mit Traumreisen sind Schülerinnen und Schüler auch gern bereit ihre Lieblingsfantasien aufzuschreiben, die dann für die Übung verwendet werden können. Hier die „Reise“ einer elfjährigen Schülerin:

„Ich stelle mir vor durch einen Urwald in einem fernen Land zu fahren. Mein Floß gleitet langsam durch das klare Wasser. Die Sonne scheint durch die Blätter der riesigen Urwaldbäume und wirft bizarre Muster auf das Wasser. Es ist angenehm warm. Irgendwo klopft ein Specht. Ich tauche meine Hand in das ruhig vorbeifließende Wasser. Es ist weich wie Samt. Das Gezwitscher von Vögeln mischt sich mit dem leisen Rauschen und Gurgeln des Flusses, auf dem ich mit dem Floß treibe. Ein Schimpanse hangelt sich von Ast zu Ast. Auf einem anderen Ast thront ein Papagei. Ich strecke meinen Arm aus und er fliegt auf meine Schulter. Ich streichle seine schönen Federn und wünsche, dass diese Traumreise niemals endet.“

Die Traumreise war bei den Erprobungen in allen Klassen die beliebteste Entspannungsübung. Einige Schülerinnen und Schüler waren sehr erstaunt über die Fähigkeit am Tage träumen zu können. Viele forderten eine regelmäßige Wiederholung dieser Übung. Sie konnten „sich fallen lassen“, „sich wegtragen lassen“ und „abtauchen“ aus dem alltäglichen Stress. Schülerinnen und Schüler einer 9. Klasse, die „so etwas noch nie gemacht“ hatten, bezeichneten die Übung als wichtige neue Erfahrung und einige legten Wert darauf ihre Erlebnisse während der „Traumreise“ zu schildern und die der anderen hören zu können. Eine Klasse malte ihre erträumten Bilder im Kunstunterricht bei leiser Entspannungsmusik. Anschließend stellten sie sich ihre Bilder gegenseitig vor.

# 10. Literaturhinweise


**Zu: Einführung:**

**Münchow, J. (2000):**
Lärm-Stationen. Unterricht Physik 4/58, S. 24 – 34.

http://de.wikipedia.org/wiki/Selbstorganisation_in_Schule_und_Unterricht

**Zu: Sachinformationen:**

**Babisch, W.; Bohn, B. (2000):**
Schallpegel in Diskotheken und bei Musikveranstaltungen. Berlin (Umweltbundesamt): WaBoLu-Hefte 3 und 4/00. Im Internet unter: www.apug.de/archiv/pdf/DISKO_1.pdf und www.apug.de/archiv/pdf/DISKO_2- 3.pdf

**Babisch, W. (2006):**
Transportation Noise and Cardiovascular Risk Review and Synthesis of Epidemiological Studies; Doseeffect Curve and Risk Estimation.
Im Internet unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/2997.pdf

**Berge, O. E. (2000):**
Lärm. Unterricht Physik, 11, H. 58, S. 4 – 10.

**Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1999:**
Umwelt und Gesundheit – Risiken richtig einschätzen.
Sondergutachten. Stuttgart (Metzler-Poeschel).

**Dieroff, H.-G. (1994):**
Lärmschwerhörigkeit. Jena (Gustav Fischer).

**Greiser, E.; Janhsen, K.; Greiser, C. (2007):**
Beeinträchtigung durch Fluglärm: Arzneimittelverbrauch als Indikator für gesundheitliche Beeinträchtigungen.
Im Internet unter: www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-1/3153.pdf

**Hoffmann, H.; von Lüke, A.; Maue, J. H. (2003[8]):**
0 dB + 0 dB = 3 dB. Berlin (Erich Schmidt).

**Huber, L.; Kahlert, J.; Klatte M. (Hrsg.) (2002):**
Die akustisch gestaltete Schule. Göttingen (Vandenhoeck & Ruprecht).

**Ising, H. (Hrsg.) (2003):**
Verstärkung der Schadwirkungen von Kraftfahrzeug-Abgasen durch lärmbedingte Erhöhung von Stresshormonen. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. 112 WaBoLu-Verein, Berlin.

**Ising, H.; Kruppa, B. (Hrsg.) (1993):**
Lärm und Krankheit. Stuttgart (Gustav Fischer).

**Ising, H.; Kruppa, B.; Babisch, W.; Gottlob, D.; Guski, R.; Maschke, C.; Spreng, M. (2001):**
Kapitel VII-1: Lärm, in: Wichmann, Schlipköter, Fülgraff (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. Erg. Lfg.7/01 Landsberg (Ecomed).

**Ising, H.; Sust, Ch. A.; Plath, P. (1995):**
Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Berlin. Bezug: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund, Tel. (02 31) 90 71-0, Fax (02 31) 90 71-4 54.

**Ising, H.; Sust, Ch. A.; Plath, P. (1995):**
Gehörschäden durch Musik. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Berlin. Bezug: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund, Tel. (02 31) 90 71-0, Fax (02 31) 90 71-4 54.

**Maschke, C.; Wolf, U.; Leitmann, T. (2003):**
Epidemiologische Untersuchungen zum Einfluss von Lärmstress auf das Immunsystem und die Entstehung von Arteriosklerose. Berlin (Umweltbundesamt): WaBoLu-Hefte 01/2003.

**„NaRoMi"-Studie (2004)**:
Chronischer Lärm als Risikofaktor für den Myokardinfarkt. Berlin (Umweltbundesamt): WaBoLu-Hefte 02/2004.

**Rebentisch E.; Lange-Asschenfeldt H.; Ising H. (1994):**
Gesundheitsgefahren durch Lärm. bga Schriften 1/94. München (MMV Medizinverlag).

**Schönwälder, H.-G.; Berndt, J.; Ströver, F.; Tiesler, G. (2004):**
Lärm in Bildungsstätten. Dortmund (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin).

Umweltrecht, Beck-Texte im dtv, München.
Bundesrecht wird durch Länderrechte ergänzt, die eigenständig publiziert werden.

**Zschiesche, M.; Sedlak, W. (1994):**
Rechtliche Gebietsbeschränkungen des Flugverkehrs aus ökologischer Sicht. Halle (UfU). Bezug: Unabhängiges Institut für Umweltfragen, Friedrichstr. 165, 10117 Berlin, Tel./Fax (0 30) 2 04 44 59/35 49, E-Mail: UfU@IPN-B.comlink.apc.org

**Abb. 9** (nach Ising u.a. [1995]: Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung, S. 24)

**Abb. 14** (Quelle: nach Born et al. 2000)

**Abb. 5** (Quelle: Maschke, in Ising et al. [2001])

**Internet:**

http://www.umweltbundesamt.de
http://www.umweltbildung-berlin.de/laerm (Schulinfos, insbes. Messgeräte)
http://www.dalaerm.de (Lärminfos und dB Rechenprogramm)
http://www.german.hear-it.org/site_map.dsp
http://www.ggsc.de/
http://www.avws-bei-kindern.de
http://www.ganzohrsein.de
http://www.sengpielaudio.com/Rechner-schallpegel.htm
(Schallpegel- und dB-Rechenprogramme)
http://www.ifl-acoustics.de (Inst. f. Lärmschutz)
http://www.pr-o.info (Verordnungen in Online-Übersicht)
http://www.ibs-akustik.de (Publikationen)
http://www.lernen-statt-laermen.de (u.a. Sanierung)

**Zu Bausteine für den Geografieunterricht:**

**Bramigk, D.; Kühne, R.; Visse, L. (1992):**
Lärmfibel „Straßenverkehr". Berlin. Bezug: Umweltbundesamt
(s. „Anschriften für Informationen").

**Bundesministerium für Verkehr (1993):**
Lärmschutz im Verkehr.
Bezug: Ref. Öffentlichkeitsarbeit, Robert-Schuman-Platz 1, 53175 Bonn,
Tel. (02 28) 3 00-0, Fax (02 28) 3 00-34 29.

**Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1995):**
Lärmbekämpfung – Ruheschutz.
Bezug: Ref. Informationsdienste, Postfach 21 07 52, 76157 Karlsruhe,
Fax (07 21) 9 83-14 56.

Umweltrecht, Beck-Texte im dtv, München.
Bundesrecht wird durch Länderrechte ergänzt, die eigenständig publiziert werden.

**Zu Bausteine im Zusammenhang mit Musik:**

**Blauert, J. (1991):**
„Kognitive und ästhetische Aspekte von Lärmproblemen", in:
Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 38. Jahrgang (2), S. 51 – 54.

**Klautke, S. (1991):**
„Lärmarmes Verhalten als Gegenstand von Unterricht und Erziehung (SI und SII)", in:
Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 38. Jahrgang (2), S. 54 – 56.

**Liedtke, Rüdiger (1984):**
Die Vertreibung der Stille. Wie uns das Leben unter der akustischen Glocke um unsere Sinne bringt, München.

**Lingerman, H. A. (1984):**
Bewußt hören – Musik als Mittel zum Heilen, Entspannen, Träumen, Aktivieren und Therapieren für den täglichen Gebrauch, Haldenwang.

**Pfeifer, F.-G. (1991):**
„Abwehransprüche gegen Volksfestlärm", in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung, 38. Jahrgang (1), S. 24 – 28 (betr. Urteil des BGH vom 23. März 1990).

Auch andere Gerichtsurteile werden in verschiedenen Nummern der Zeitschrift für Lärmbekämpfung wiedergegeben und erläutert.

**Wagner, Ch. (Hrsg.) (1995):**
Medizinische Probleme bei Instrumentalisten. Ursachen und Prävention, Laaber.

## Zu Bausteine für den Physikunterricht:

**Dorn-Bader (1989):**
Physik in einem Band. Hannover (Schroedel).

**Erlebte Physik (1990):**
Das Physik-Experimentierbuch, Leipzig (Urania).

**Kadner, I. (1994):**
Akustik in der Schulphysik. Köln (Aulis).

**Münchow, J. (2000):**
Lärm-Stationen. Unterricht Physik, 11, H. 58, S. 24 – 34.

**Raaf, H.; Sowada, Z. (1990):**
Physik macht Spaß. Freiburg (Herder).

**Trickkiste 1 (1986):**
Experimente, wie sie nicht im Physikbuch stehen. München (bsv).

**Umwelt (1983):**
Physik. Stuttgart (Klett).

## Zu Bausteine für den Biologieunterricht:

**Fleischer, G. (1990):**
Lärm – der tägliche Terror. Stuttgart (G. Thieme).

**Ising, H.; Sust, Ch. A.; Plath, P. (1995):**
Lärmwirkungen: Gehör, Gesundheit, Leistung. Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Bundesanstalt für Arbeitsmedizin, Berlin. Bezug: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Postfach 17 02 02, 44061 Dortmund, Tel. (02 31) 90 71-0, Fax (02 31) 90 71-4 54.

**Landsberg-Becher, J.-W. (1987):**
Experimente zu den Arten des Lernens – Funktion der Kognition, in: Praxis der Naturwissenschaften – Biologie, 36, H. 1, S. 13 – 17.

**Plath, P. (1993):**
Lexikon der Hörschäden. Heidelberg (Edition Harmsen).

**Stevens, S. S., Washofsky F. (1970):**
Schall und Gehör. Hamburg (Rowohlt).

**Unterricht Biologie, Heft 70:** Lärm, 6/1982.

**Zum Baustein Übungen zum Ruhe-Finden:**

Es gibt ein sehr großes Angebot an Literatur zu Entspannungsübungen und Ähnlichem. Die folgenden Bücher gaben für die Gestaltung des Bausteins Anregungen:

**Bröhm-Offermann, B. (1989):**
Suggestopädie. Sanftes Lernen in der Schule. Lichtenau (AOL-Verlag).

**Burk, K. (Hrsg.) (1984):**
Kinder finden zu sich selbst. Disziplin, Stille und Erfahrung im Unterricht. Frankfurt (Arbeitskreis Grundschule).

**Faus-Siehl, G; Bauer, E.-M.; Baur, W.; Wallaschek, U. (1993):**
Mit Kindern die Stille entdecken. Bausteine zur Veränderung der Schule. Frankfurt/Main (Verlag Moritz Diesterweg).

**Vopel, K. (1990):**
Kinder ohne Streß. Imaginative Spiele für Kinder zwischen 3 und 12, Teil 1 bis 5. 1. Bewegung im Schneckentempo, 2. Im Wunderland der Phantasie, 3. Reise mit dem Atem, 4. Zauberhände, 5. Ausflüge im Lotussitz. Hamburg (Iskopress), Putensener Dorfstr. 4, 21376 Salzhausen, Tel. (0 41 72) 76 53, Fax (0 41 72) 63 55.

**Vopel, S. Alex; Vopel, K. (1992):**
Lehre mich nicht, laß mich lernen! Neue Interaktionsspiele, Teil 1 bis 4, Hamburg (Iskopress), Putensener Dorfstr. 4, 21376 Salzhausen, Tel. (0 41 72) 76 53, Fax (0 41 72) 63 55.

Das sind vier Bände mit vielen Übungen, nach Themen sortiert. Nicht billig, aber schnell einsetzbar, da sie ganz konkrete Vorschläge enthalten. Man kann sich etwas aussuchen, das Buch mit in die Klasse nehmen und sofort anfangen.

# 11. Verzeichnisse

## 11.1 Materialien

**M 1: Zu den Audio-Dateien auf der CD** . . . . . 63

1 Rosa Rauschen
2 Zerreißen einer Zeitung
3 Abhängigkeit des subjektiven Hörempfindens vom Pegel
4 Wahrnehmbarkeit von Pegelsprüngen
5 Abhängigkeit des Hörempfindens von der Frequenz
6 Hörtest
7 + 8 Störung des Musikgenusses bei Schwerhörigkeit
9 + 10 Verstärkte Störung der Wahrnehmung Hörgeschädigter bei Hintergrundgeräuschen
11 – 13 Schülerdiskussion, wie sie jemand mit und ohne Hörschaden und mit Tinnitus wahrnimmt
14 + 15 Hörgeräte sind kein Allheilmittel
16 Trompetenübung
17 Übung mit dem Kornett;
18 Gesangsübung
19 Arie der Li`ú aus Turandot
20 Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) professionell gespielt
21 Klaviersonate (Album für die Jugend, op. 68) von einer Schülerin gespielt
22 + 23 Verkehrslärm ohne und mit Schallschutzwand
24 Lärm am Arbeitsplatz
25 + 26 Kompressor ohne und mit Schallschutz
27 + 28 Freistehende Presse und Presse mit Einhausung
29 + 30 Werkhalle ohne und mit Reflexionsschutz an Decken und Wänden
31 + 32 Wirkung von Gehörschutz
33 + 34 Richtige und falsche Anwendung von Gehörschutz
35 – 37 Sprach- und Signalverständlichkeit beim Tragen von Gehörschutz
38 Kompressor
39 Schmiedehammer mit Stanze
40 Plastzerkleinerungsmaschine
41 Kantenfräse
42 Flaschenabfüllanlage
43 Dive
44 Yantra
45 Yantra mit Text
46 Asana

**M 2: Zu den Materialien auf der DVD:**

M 2: Video: „Verkehrslärmmessung in Berlin-Mitte“ . . . . . 71
M 3: Interaktives Bildschirmexperiment: Schallschwingungen . . . . . 73
M 4: Interaktives Bildschirmexperiment: Amplitude und Frequenz . . . . . 76
M 5: Interaktives Bildschirmexperiment: Longitudinalwellenmodell . . . . . 78
M 6: Interaktives Bildschirmexperiment: Transversalwellenmodell. . . . . 78
M 7: Interaktives Bildschirmexperiment: Schallpegelmessung . . . . . 81
M 8: Interaktives Bildschirmexperiment: Audiometrie . . . . . 83
M 9: SOUNDS zur Visualisierung und Analyse von akustischen Signalen . . . . 85

**Materialien im Heft:**


M 10: Was ist Lärm – wie wird er gemessen? . . . . . 101
M 11: Wie laut sind Straßengeräusche? . . . . . 103
M 12: Messbogen zur Messung von Verkehrsgeräuschen . . . . . 110
M 13: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Lagebeschreibung . . . . . 111
M 14: Beispiele für Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in Berlin-Mitte – Messergebnisse . . . . . 113
M 15: Flugblatt: Aufruf zur Demonstration . . . . . 118
M 16: Verkehrslärm – ein Raumnutzungskonflikt am Beispiel der Berthastraße . . . . . 119
M 17: Protokoll eines Musikalltages . . . . . 131
M 18: Vorschläge für Arbeitsaufträge zum Thema: Konfliktpotenziale bei Lärm . . . . . 135
M 19: Brief von Felix Mendelssohn an seine Schwester Fanny Hensel . . . . . 136
M 20: Fallbeispiele von häuslichen Konfliktsituationen wegen Musiklärms . . 144
M 21: Fallbeispiele von fremdbestimmter Musikberieselung. . . . . 145
M 22: Rollenspiele zu Musiklärm als Ursache für Rechtsstreitigkeiten . . . . . 146
M 23: Geräusche und ihre Entstehung . . . . . 156
M 24: Schwingungsbilder . . . . . 157
M 25: Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – „Gackernde Henne“ . . . . . 166
M 26: Aufbau und Funktion eines Schallpegelmessers . . . . . 171
M 27: Übungen zu Schallpegelmessungen . . . . . 171
M 28: Konzentrationstests . . . . . 187
M 29: Kreuzworträtsel Bau des Ohres . . . . . 196
M 30: Wo schädigt Lärm das Ohr? . . . . . 202
M 31: Audiogramme . . . . . 203
M 32: Psychische und körperliche Reaktionen auf Lärm . . . . . 207
M 33: Fragen zum Thema „Lärm“ . . . . . 212
M 34: Anleitung für eine Übung zur Sensibilisierung des Hörens . . . . . 212
M 35: Anleitung für eine Übung zur Körperwahrnehmung und Entspannung . . . . . 213
M 36: „Marionette“ – Anleitung für eine kleine Entspannungsübung . . . . . 215
M 37: Anleitung für eine Atemübung . . . . . 215
M 38: Anleitung für eine Übung zum Empfinden von Berührungen . . . . . 216
M 39: Anleitung für eine Übung zum Malen oder Schreiben mit Entspannungsmusik . . . . . 216
M 40: „Traumreise“ – Anleitung für eine Entspannungsübung. . . . . 217


## 11.2 Versuche


Versuch 1: Geräuschpegelmessung im Klassenraum . . . . . 97
Versuch 2: Geräuschpegelmessung im Straßenraum . . . . . 104
Versuch 3: Hintergrundmusik bei der Arbeit . . . . . 127
Versuch 4: Musikalische Begegnungen im Alltag . . . . . 129
Versuch 5: Erzeugung von Schall . . . . . 149
Versuch 6: Schallerzeugung mit einem Lineal . . . . . 150
Versuch 7: Erzeugung von Tönen . . . . . 150
Versuch 8: Darstellen der Schwingungen von Tönen auf einer berußten Glasplatte. . . . . 151
Versuch 9: Flaschentöne . . . . . 152
Versuch 10: Oszilloskopische Darstellungen von Schwingungen . . . . . 152
Versuch 11: Schallleitung in der Luft . . . . . 158

Versuch 12: Herstellen und Experimentieren mit einer Schallquelle – „Gackernde Henne“ . . . 159
Versuch 13: Wasserwellen-Modell . . . 159
Versuch 14: Schallausbreitung durch feste Stoffe . . . 161
Versuch 15: Schallausbreitung in Flüssigkeiten . . . 161
Versuch 16: Anblasen einer Kerzenflamme . . . 161
Versuch 17: Tanzende Reiskörner, Reistopf . . . 162
Versuch 18: Zwei Tamburine . . . 163
Versuch 19: Zwei Stimmgabeln . . . 163
Versuch 20: Klingende Weingläser . . . 164
Versuch 21: Reflexion von Schall an der Wasseroberfläche . . . 164
Versuch 22: Ohrdruck . . . 165
Versuch 23: Entfernung . . . 170
Versuch 24: Belästigung durch Lärm . . . 172
Versuch 25: Sonogramm zweier Hörbeispiele . . . 174
Versuch 26: Messung der Schalldämmung . . . 178
Versuch 27: Schallaufnahmen . . . 181
Versuch 28: Konzentrationsfähigkeit bei Musik . . . 184
Versuch 29: Beeinflussung des Lernerfolgs durch Musik . . . 184
Versuch 30: Richtungshören . . . 191
Versuch 31: Schwingungen und Töne . . . 194
Versuch 32: Wo schädigt Lärm das Ohr? . . . 198

## 11.3 Tabellen

Tab. 1: Schallleistungen verschiedener Schallquellen . . . 21
Tab. 2: Schalldruck und Schallintensität bei Hörschwelle und Schmerzgrenze . . . 24
Tab. 3: Zunahme des Bluthochdrucks bei Weberinnen unter Lärmbelastung . . . 44
Tab. 4: Zunahme von Krankheitstagen in Relation zu Lärm am Arbeitsplatz . . . 44
Tab. 5: Lärmminderung und Leistungssteigerung in verschiedenen Arbeitsbereichen . . . 45
Tab. 6: Lärmminderung und Abnahme des Gesundheitsrisikos in verschiedenen Arbeitsbereichen . . . 45
Tab. 7: Risiko für 16-jährige Jugendliche für eine Hörminderung bei 4 kHz nach häufigeren und zu lauten Diskothekenbesuch . . . 46
Tab. 8: Lärmgrenzwerte nach der Verkehrsschutzverordnung für verschiedenen Siedlungsgebiete . . . 52
Tab. 9: VDI-Richtlinie 2058 Blatt 3 . . . 53
Tab. 10: Immissionsgrenzwerte nach der TA Lärm für Gebiete unterschiedlicher Nutzung . . . 54
Tab. 11: Lärmgrenzwerte der DAL für Räume unterschiedlicher Nutzung . . . 54
Tab. 12: In der Kieler Humboldt-Schule gemessene Schallpegel . . . 57
Tab. 13: Schallpegel und Nachhallzeiten in Klassenräumen, vor und nach einer Lärmsanierung . . . 60
Tab. 14: Schallpegel an den Arbeitsplätzen der Audio-Datei Nr. 24 auf der CD . . . 68
Tab. 15: Raumnutzungskonflikte und Daseinsfunktionen . . . 115
Tab. 16: Markante Schallpegel, Schwellen- und Grenzwerte . . . 168
Tab. 17: Schalldämmung verschiedener Materialien . . . 179
Tab. 18: Wärmedämmung verschiedener Materialien . . . 179

## 11.4 Abbildungen

### Abbildungen in den Sachinformationen


Abb. 1: Welle mit Amplitude und Schwingungszeit . . . . . 19
Abb. 2: Schwingungsbilder einer angeschlagenen Stimmgabel (a), einer gezupften Gitarrensaite (b) und eines Geräusches (c) . . . . . 21
Abb. 3: Angabe der Schallleistung, des Schalldrucks und des Schallpegels bei unterschiedlichen Alltagsgeräuschen . . . . . 23
Abb. 4: Hörbereich des gesunden menschlichen Ohres . . . . . 24
Abb. 5.1: Lage des Ohres im Kopf. . . . . 26
Abb. 5.2: Anatomischer Bau des Ohres . . . . . 26
Abb. 5.3: Darstellung der Ohrknöchelchen in Bewegung. . . . . 27
Abb. 5.4: Schnecke in natürlicher Lage und ausgerollt (gestrichelt) . . . . . 27
Abb. 5.5: Corti-Organ. . . . . 28
Abb. 5.6: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme der Zilien in Aufsicht . . . . . 28
Abb. 6: Wanderwelle, schematisch . . . . . 31
Abb. 7: Einhüllen der Wanderwelle . . . . . 31
Abb. 8: Linearisierter Zusammenhang zwischen Lautstärke und Schallpegel bei intakten äußeren und inneren Haarzellen und bei Ausfall der äußeren Haarzellen . . . . . 33
Abb. 9: Audiogramme zur Genese einer Lärmschwerhörigkeit. . . . . 34
Abb. 10: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von intakten, aufgrund von energetischer Erschöpfung metabolisch geschädigten, verklebten und Steifeverlust zeigenden sowie mechanisch geschädigten, abgebrochenen Zilien . . . . . 35
Abb. 11: Lärmbedingte Innenohrschwerhörigkeit führt zu Einschränkungen des Hörbereiche bei hohen Frequenzen. . . . . 36
Abb. 12: Lärmwirkungsschema . . . . . 39
Abb. 13: Typisches Schlafzyklogramm eines jungen, gesunden Schläfer und nächtlicher Verlauf der Konzentration von Cortisol sowie der Wachstumshormone . . . . . 40
Abb. 14: Typisches Schlafzyklogramm bei nächtlicher Fluglärmbelastung . . . 41
Abb. 15: Relatives Risiko für Herzinfarkt in Abhängigkeit vom Straßenverkehrslärm-Immissionspegel . . . . . 42
Abb. 16: Relatives Risiko für Hypertonie in Abhängigkeit vom Dauerschallpegel durch Straßenverkehr in der Nacht . . . . . 43
Abb. 17: Eingestellte Schallpegel in „Walkmans“ in unterschiedlichen Altersgruppen. . . . . 47
Abb. 18: Lärm in der Schule – ein Ort zum Lernen?. . . . . 58


### Abbildungen in den Anleitungen:


Aufbau des Interaktiven Bildschirmexperiments: Schallschwingungen (M 3) . . 73
Schwingungskurve einer Tongabel . . . . . 73
Schallspektrum einer Tongabel . . . . . 74
Schallspektrum eines Monochords . . . . . 74
Schwingungskurve eines Monochords . . . . . 74
Schwingungskurve beim Zerknüllen von Papier . . . . . 75
Schallspektrum beim Zerknüllen von Papier . . . . . 75
Aufbau des Interaktives Bildschirmexperiments:
Amplitude und Frequenz (M 4). . . . . 76
Tongenerator und Oszilloskop . . . . . 76
Schablone für Longitudinalwellenmodell (M 5). . . . . 78
Schablone für Transversalwellenmodell (M 6) . . . . . 78
Schwingungsrichtung Longitudinalwelle . . . . . 79

Aufbau des Interaktives Bildschirmexperiments: Longitudinalwellenmodell . . 79
Schwingungsrichtung Transversalwelle . . . . . 80
Aufbau des Interaktives Bildschirmexperiments: Transversalwellenmodell. . . . 80
Aufbau des Interaktives Bildschirmexperiments: Schallpegelmessung (M 7). . . 81
Schallpegelmessung Displayanzeige. . . . . 81
Anzeige des Pegelverlaufs einer Schallpegelmessung . . . . . 82
Aufbau des Interaktives Bildschirmexperiments: Audiometrie (M 8). . . . . 83
Aufnahme einer Audiometrie . . . . . 83
Großdarstellung des Audiometers. . . . . 83
Das Audiometer und seine Bedienelemente. . . . . 83
Beispiel einer vollständigen Messung für eine der Versuchspersonen . . . . . 84
Menu und Tasten von SOUNDS . . . . . 85
Fenster von SOUNDS: Übersicht. . . . . 86
Fenster von SOUNDS: Fourierspektren. . . . . 87
Lineare Amplitudeneinteilung . . . . . 88
Logarithmische Amplitudeneinteilung . . . . . 88
Lineare Frequenzeinteilung . . . . . 88
Logarithmische Frequenzeinteilung. . . . . 88
Formanten im Spektrum eines Kontrabasstones. . . . . 88
Fourierspektren des Kammertons a (440 Hz) für 4 Instrumente. . . . . 89
Obertöne einer Klarinette. . . . . 89
Fenster von SOUNDS: Sonogramm . . . . . 90
Sonogramm eines Fagotts. . . . . 91
Sonogramm von ‚Für Elise', nur Klavier. . . . . 92
Sonogramm von Techno-Musik. . . . . 92
Sonogramm gesprochener Vokale. . . . . 93

**Abbildungen in den Bausteinen:**

Beispiele von Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in
Berlin-Mitte – Kartenausschnitt. . . . . 111
Beispiele von Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in
Berlin-Mitte – Fotoansichten . . . . . 112
Beispiele von Messpunkte von Verkehrsgeräuschen in
Berlin-Mitte – Messergebnisse . . . . . 113
Straßenansicht bei einem Raumnutzungskonflikt . . . . . 118
Strukturskizze: Musik beschallt uns . . . . . 121
Schallerzeugung mit einem Lineal. . . . . 150
Darstellung möglicher Schwingungsbilder. . . . . 153
Tafelanschrieb zu Geräusche und ihre Entstehung . . . . . 156
Longitudinalwelle . . . . . 160
Transversalwelle . . . . . 160
Schallausbreitung durch feste Stoffe. . . . . 161
Anblasen einer Kerzenflamme . . . . . 162
Tanzende Reiskörner. . . . . 162
Zwei Tamburine . . . . . 163
Klingende Weingläser . . . . . 164
Schallquelle „Gackernde Henne“. . . . . 166
Abnahme der Lautstärke mit dem Quadrat der Entfernung. . . . . 170
Schallpegelmessgerät . . . . . 171
Tafelbild: Lärmminderung und Schutz vor Lärm . . . . . 174
Konstruktionsskizze der „Schallscheune“. . . . . 178
Fingerlabyrinth . . . . . 185
Anzupfen eines Saiteninstruments . . . . . 194
Kreuzworträtsel . . . . . 196
Audiogramme. . . . . 203

NOTIZEN

NOTIZEN