

# **IPN Curriculum Physik**

Unterrichtseinheiten für das 7. und 8. Schuljahr

Unterrichtseinheit 3

## **Schwingungen – Schall – Lärm**

Eine fachüberschreitende  
Unterrichtseinheit mit Schwerpunkt  
Physik und Anteilen aus Biologie,  
Technik und Politik

### **Didaktische Anleitungen**

O. A. D. 18 JPU-76

Ernst Klett Verlag  
Postfach 10 15 53  
69126 Heidelberg  
Mathematik-Didaktik  
1994, 1998



Ernst Klett Stuttgart

Das IPN ist eine Forschungsanstalt des Landes Schleswig-Holstein und wird gemäß der „Rahmenvereinbarung Forschungsförderung zwischen Bund und Ländern“ finanziert. Seine Aufgabenstellung ist überregional und gesamtstaatlich. Es soll durch seine Forschungen die Pädagogik der Naturwissenschaften weiterentwickeln und fördern.

Die vorliegende Unterrichtseinheit stellt eine Neufassung der Unterrichtseinheit 7.2 „Schwingungen“ des IPN-Curriculum Physik dar. In dieser Neufassung ist im wesentlichen eine Erweiterung im Hinblick auf das Thema „Lärm“ und die damit zusammenhängende Umweltorientierung erfolgt.

Diese neue Konzeption und die Erstellung und Erprobung dieser Unterrichtseinheit ist aus einem Projekt „Lärm“ der Universität Bremen hervorgegangen.

**Mitarbeiter** (Lehrer, Studenten, Hochschullehrer)

Hans Niedderer	(Koordination; Endfassung)
Wilfried Stender	(4.2, 4.3, 6.)
Ulrich Hoppe	(3.2, 4.4)
Rainer Steinfeldt	(2.3, 3.1, 3.4, 4.5, 4.6, 4.7)
Karin Wieczorek	(3.1, 3.4, 4.5, 4.6, 6.)
Martin Burgheim	(3.5, 4.6)
Holger Küker	(6.)
Georg Tosonowski	(früherer Entwurf)
Gudrun Glomb	(früherer Entwurf)
Dietger Habermann	(Beratung bei spez. Lärmproblemen, Herstellung der Lärmcassette)

**Wissenschaftliche Beratung:**

Horst Diehl (Physik), Regine Elsner (Arbeitsmedizin), Detlef Fuchs (Jura)

Weiter an der Erprobung und Diskussion beteiligt:

W. Dudeck, P. Lankenau, G. Wittenberg, K. Feinle, W. Bobsin, H. Härtel, W. Westphal, R. Duit und die Redaktion Physik des Ernst Klett-Verlages.

Fotos: Seite 96: Bilsom International, Lübeck – Seite 102: Universität Bremen – Seite 126: 1 und 2 Süddeutscher Verlag, München; 3 Universität Bremen – Seite 127: Universität Bremen – Seite 135: Süddeutscher Verlag, München – Seite 138: Georg Thieme Verlag, Stuttgart – Seite 140: 1 dpa, Stuttgart; 2 Dieter Grathwohl, Stuttgart – Seite 141: 1, 2 und 3 Universität Bremen – Seite 142: 1 dpa, Stuttgart; 2 Süddeutscher Verlag, München – Seite 143: Anthony-Verlag, Starnberg – Seite 144: Süddeutscher Verlag, München – Seite 146: Süddeutscher Verlag, München – Seite 147: 1 und 2 Universität Bremen – Seite 148: Bilsom International, Lübeck.

1. Auflage

1<sup>5</sup> 4<sup>3</sup> 2<sup>1</sup> | 1985 84 83 82

Alle Drucke dieser Auflage können im Unterricht nebeneinander benutzt werden. Die letzte Zahl bezeichnet das Jahr dieses Druckes.

© Ernst Klett Verlag, Stuttgart 1982.

Nach dem Urheberrechtsgesetz vom 9. Sept. 1965 i. d. F. vom 10. Nov. 1972 ist die Vervielfältigung oder Übertragung urheberrechtlich geschützter Werke, also auch der Texte, Illustrationen und Graphiken dieses Buches, nicht gestattet. Dieses Verbot erstreckt sich auch auf die Vervielfältigung für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich genannten Sonderfälle –, wenn nicht die Einwilligung des Verlages vorher eingeholt wurde. Im Einzelfall muß über die Zahlung einer Gebühr für die Nutzung fremden geistigen Eigentums entschieden werden. Als Vervielfältigung gelten alle Verfahren einschließlich der Fotokopie, der Übertragung auf Matrizen, der Speicherung auf Bändern, Platten, Transparenten oder anderen Medien.

Schreibsatz: Nikolaus Tobias, Schwäbisch Gmünd

Druck: Gutmann, Heilbronn

ISBN 3-12-774430-7

# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	5
<b>2. Allgemeine Ziele und Aufbau der Unterrichtseinheit</b>	8
2.1 Leitideen	8
2.2 Inhaltliche Konzeption, Sachstrukturüberblick	12
2.3 Simulations-Rollen-Spiel	17
2.4 Erkundungen	19
2.5 Die Compact-Cassette zu dieser Unterrichtseinheit	19
2.6 Verschiedene Durchführungsmöglichkeiten für diese Unterrichtseinheit	21
<b>3. Lehrertexte zu einigen wichtigen Teilproblemen</b>	23
3.1 Beispiele für Lärmkonfliktfälle	23
3.2 Der Schallpegel L, gemessen in dB (A)	28
3.3 Der Mittelungspegel $L_m$	31
3.4 Biologisch-medizinische Grundlagen	33
3.5 Juristische und politische Grundlagen der Lärmgesetzgebung	40
3.6 Physikalische Grundlagen der technischen Lärmbekämpfung	50
<b>4. Entwürfe einzelner Unterrichtsabschnitte</b>	60
4.1 Erster Unterrichtsabschnitt: Lärm in unserer Umwelt	60
4.1.1 Sachstruktur	60
4.1.2 Lernziel	60
4.1.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	61
4.1.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	61
4.2 Zweiter Unterrichtsabschnitt: Amplitude und Frequenz von Schwingungen	62
4.2.1 Sachstruktur	62
4.2.2 Lernziel	63
4.2.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	63
4.2.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	64
4.2.5 Vorschlag für überblickmäßige Kurzbehandlung	64
4.2.6 Versuche	65
4.3 Dritter Unterrichtsabschnitt: Schwingungen, Schall und menschliche Hörfähigkeit	73
4.3.1 Sachstruktur	73
4.3.2 Lernziele	74
4.3.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	74
4.3.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	74
4.3.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung	74
4.3.6 Versuche	75
4.4 Vierter Unterrichtsabschnitt: Der Schallpegel L in dB(A) als wichtigste Meßgröße	78
4.4.1 Sachstruktur	78
4.4.2 Lernziel	79

4.4.3	Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	79
4.4.4	Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	79
4.4.5	Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung	80
4.4.6	Versuche	80
4.5	Fünfter Unterrichtsabschnitt:	
	Gesundheitliche Schäden und Belastungen durch Lärm	84
4.5.1	Sachstruktur	84
4.5.2	Lernziel	85
4.5.3	Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	85
4.5.4	Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	85
4.5.5	Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung	86
4.5.6	Versuche	87
4.6	Sechster Unterrichtsabschnitt:	
	Lärmkonflikte – Verlauf, Institutionen, Richtwerte, Gesetze	89
4.6.1	Sachstruktur	89
4.6.2	Lernziele	90
4.6.3	Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	91
4.6.4	Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	91
4.6.5	Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung	91
4.7	Siebter Unterrichtsabschnitt:	
	Technische Lärmbekämpfung und physikalische Erklärungen	92
4.7.1	Sachstruktur	92
4.7.2	Lernziele	93
4.7.3	Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel	93
4.7.4	Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts	94
4.7.5	Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung	94
4.7.6	Versuche	95

**5. Schülerheft** 103

**6. Vorschläge für Testaufgaben und Evaluationsergebnisse** 152

**7. Geräteliste** 173

**8. Literatur, Material, Adressen** 175

# 1. Einleitung

Die vorliegende Unterrichtseinheit behandelt das Thema **Lärm**. Die hierzu notwendigen und für Schüler des 8. Schuljahres zu erfassenden physikalischen Grundlagen aus dem Themenbereich Schwingungen und Schall werden vorangestellt. Dabei wurde die Unterrichtseinheit „Schwingungen“ aus der Erprobungsfassung des IPN Curriculum Physik in verkürzter und überarbeiteter Form mit berücksichtigt.

Ein wesentliches Kennzeichen dieser Unterrichtseinheit ist aber ihre **fachüberschreitende Konzeption**: sie umfaßt schwerpunktmäßig Inhalte der Physik, daneben aber auch entsprechende Themen aus Technik, Biologie und Gemeinschaftskunde. Diese Zusammenstellung resultiert aus der Überlegung, daß Problemlösungen im Bereich Lärm ohne Kenntnisse aus den angrenzenden Gebieten nicht möglich sind.

Angesichts der derzeitigen Schulwirklichkeit halten wir eine interdisziplinäre Behandlung des Themas in **einem Fach** (hier also im Physikunterricht) für am ehesten realisierbar. Wünschenswert wäre natürlich eine kooperative Behandlung des Themas Lärm in den Fächern Physik, Technik, Biologie und Gemeinschaftskunde (Politik), für die das hier vorliegende Unterrichtsmaterial Hilfen bietet; diese Form der Durchführung wurde jedoch nicht erprobt.

Für eine Behandlung des Themas als **Projektunterricht** können dem Buch „Schule kann anders sein“ der BIELEFELDER LEHRERGRUPPE (rororo 1979) zusätzlich wertvolle Anregungen entnommen werden.

## **Welche Voraussetzungen müssen geschaffen sein, damit die Einheit eingesetzt werden kann?**

Diese Unterrichtseinheit ist weitgehend voraussetzungsfrei. Eine Behandlung von Längen- und Zeitmessungen (z. B. aus der Einheit OS 4 des IPN Curriculum Physik) ist günstig. Die zur Bearbeitung der Lärmprobleme notwendigen physikalischen Grundlagen werden weitgehend in der Unterrichtseinheit mitbehandelt.

## **Welche Materialien gibt es zu dieser Unterrichtseinheit?**

Neben den üblichen Materialien Schülerheft, didaktische Anleitungen und Gerätesätze gibt es zu dieser Unterrichtseinheit speziell noch **Lehrertexte** und eine **Compact-Cassette**.

## **Schülerheft**

Das Schülerheft besteht aus zwei Teilen. Der **erste Teil** enthält Arbeitsunterlagen zum Unterricht (z. B. Versuchs- und Erkundungsprotokolle, Aufgaben, Arbeitstexte z. B. zu biologischen und juristischen Fragen, Originalbriefe zu einem Lärmkonfliktfall). Der **zweite Teil** enthält eine kurze Zusammenfassung der Unterrichtseinheit. Das Schülerheft ist also „Lehrbuch“ und „Arbeitsheft“ gleichzeitig. Es ist als Verbrauchsmaterial konzipiert, d. h. die Schüler sollen in die Hefte hineinschreiben. Besonders dann, wenn schon ein Lehrbuch für die Schüler eingeführt ist, könnte die Verwendung des Schülerheftes als Verbrauchsmaterial Schwierigkeiten bereiten.

In einigen Bundesländern besteht aber die Möglichkeit, das Heft von den Schülern anschaffen zu lassen. Sollte dieses nicht möglich sein, kann das Heft auch mehrfach verwendet werden. Für die Schüler ergibt sich dann aber die Notwendigkeit, ein ausführliches Physikheft zu führen. Weiterhin muß man dann wieder darauf achten, daß nichts in die Schülerhefte geschrieben wird.

### **Didaktische Anleitungen**

Die hier vorliegenden didaktischen Anleitungen wollen dem Lehrer Hinweise und Anregungen für seinen Unterricht zum Thema Schwingungen, Schall, Lärm geben. Sie enthalten auch – in verkleinerter Form – das Schülerheft mit Vorschlägen für die Schülereintragen. Schülerheft und didaktische Anleitungen sind zwar aufeinander abgestimmt, die didaktischen Anleitungen sind aber für den Lehrer auch dann von Nutzen, wenn er das Schülerheft nicht verwendet, sondern im Unterricht ein Lehrbuch einsetzt.

### **Gerätesätze**

Entscheidende Voraussetzung für die Durchführung dieser Unterrichtseinheit ist die Anschaffung eines geeigneten **Schallpegelmessers** (vgl. Hinweise im Abschnitt 7). Die weiteren Geräte sind in fast jeder Physiksammlung vorhanden oder können von der Lehrmittelindustrie und vom Fachhandel bezogen werden.

### **Lehrertexte**

Es ist davon auszugehen, daß die meisten Lehrer mit dieser Unterrichtseinheit inhaltliches Neuland betreten. Dies gilt insbesondere für die fachfremden Anteile, aber auch für die physikalischen Grundlagen der Schallmessung und der Schallschutzmaßnahmen. Daher sind diese Inhaltsbereiche in getrennten Texten für Lehrer vorweg dargestellt (3.1 – 3.6).

### **Compact-Cassette** „Schwingungen – Schall – Lärm“

Um den Unterricht möglichst weitgehend an praktischen Problemen orientieren zu können, sind neben den entsprechenden Erkundungen praktische Beispiele von Lärm auf einer Cassette aufgenommen worden. Sie dienen verschiedenen Zwecken, z. B. als Grundlage für Schätzungen und Messungen, als Grundlage für darauf aufbauende Diskussionen, als Demonstration für die Wirkung bestimmter Schallschutzmaßnahmen (Ersatz für schwierige Versuche) und schließlich zur Demonstration der Auswirkungen von Lärmschwerhörigkeit für das Hörvermögen.

### **Wie entstand die vorliegende Unterrichtseinheit?**

Diese Unterrichtseinheit basiert auf verschiedenen „Erprobungsfassungen“, die in den Jahren ab 1975 in Unterrichtsprojekten der Universität Bremen von verschiedenen Studentengruppen in Zusammenarbeit mit einem Hochschullehrer und je einem Praxislehrer entwickelt wurden.

Diese Erprobungen haben an folgenden Schulen stattgefunden:

- Gesamtschule West in Bremen (Wahlpflichtkurse im 8. Schuljahr; Lehrer: Martin Burgheim, Wolf Dudeck, Hans Niederer, Wilfried Stender, Gerd Wittenburg)
- Haupt- und Realschule an der Regensburger Straße (drei 8. Klassen; Lehrer: P. Lankenau)
- Gymnasium an der Julius-Brecht-Allee (drei 8. Klassen; Lehrer: W. Bobsin, K. Feinle)

Bei einer speziellen Erprobung an der Gesamtschule West wurde die Unterrichtseinheit von Anfang bis Ende als Simulationsspiel gestaltet. Der Entwurf zu dieser Fassung wurde von Rainer Steinfeldt im Rahmen einer Staatsexamensarbeit erarbeitet. Die Auswertung dieser Erprobung wurde ebenfalls im Rahmen einer Staatsexamensarbeit von Holger Küker und Karin Wiczorek durchgeführt.

In allen Erprobungen wurden Unterrichtsbeobachtungen und Tests durchgeführt. Auch die Tests wurden im Laufe der Erprobungen verändert, so daß die angegebenen Testergebnisse teilweise aus sehr kleinen Populationen stammen.

### **Wie kann man einen Überblick über die Einheit gewinnen?**

Den schnellsten Überblick gewinnt man wahrscheinlich dadurch, daß man zunächst das Kapitel 2.2 (inhaltliche Konzeption) und die den einzelnen Unterrichtsabschnitten vorangestellten Sachstrukturen durchliest und sich dann dem Schülerheft zuwendet.

## 2. Allgemeine Ziele und Aufbau der Unterrichtseinheit

Dieses Kapitel enthält eine allgemeine Beschreibung der didaktischen Konzeption dieser Unterrichtseinheit. Wir beschäftigen uns hier mit der allgemeinen Bedeutung des Themas Lärm und mit den wissenschaftlichen Teilaspekten, welche zu einer erfolgversprechenden Lösung von Lärmproblemen beitragen können. Außerdem werden verschiedene Möglichkeiten zur Durchführung des Unterrichts insbesondere hinsichtlich der Verwendung eines Simulations-Rollenspiels beschrieben.

### 2.1 Leitideen

Lärm ist heute ein Problem geworden, mit dem fast jeder Mensch zu tun hat. „Demoskopische Befragungen ergeben, daß sich in der Bundesrepublik Deutschland rund **40 % der Bürger durch Lärm belästigt** fühlen.“ (Informationsschrift des BMI, Bonn 1978, S. 175). Dies gilt sowohl für den Freizeitbereich wie auch für die Arbeitswelt: Lärmschwerhörigkeit ist zur **häufigsten anerkannten Berufskrankheit** geworden. Alle Maßnahmen zur Bekämpfung von Lärm sind mit hohen Kosten oder mindestens mit langwierigen, schwierigen Planungen verbunden. Die heutige Gesellschaft kann also keine schnelle Lösung dieses Problems erwarten. Das bedeutet, daß die Einführung dieses Themas in den Lehrplan der Schulen auf längere Zeit gerechtfertigt erscheint.

Zunehmend werden sich auch die Bürger der Belastungen durch Lärm bewußt und beginnen sich einzeln oder gemeinschaftlich zu wehren. Daraus entstehen „Lärmkonflikte“, in denen sich Verursacher und Betroffene gegenüber stehen. Im Verlaufe solcher Lärmkonflikt-Fälle treten regelmäßig folgende Teilfragen auf:

- gesundheitliche Auswirkungen (medizinisch-biologischer Bereich);
- gesetzliche Bestimmungen (juristisch-politischer Bereich);
- Messungen und die Suche nach technischen Abhilfemaßnahmen (physikalisch-technischer Bereich).

Diese Problembereiche lassen sich – wie in Klammern bereits geschehen – bestimmten Wissenschaftsbereichen bzw. Schulfächern zuordnen.

Es liegt nun nahe, folgende **Leitidee 1** zu Grunde zu legen:

In dieser Unterrichtseinheit sollen die Schüler solche Kenntnisse und Fähigkeiten erwerben, die für sie bei auftretenden Lärmproblemen „nützlich“ sein können, d.h. die sie zu einem besseren Verhalten bei Lärmproblemen befähigen.

Aus dieser Leitidee 1 und dem oben Gesagten folgt als Konsequenz unmittelbar die **fach-überschreitende Konzeption** dieser Unterrichtseinheit. Denn gemäß der Leitidee 1 soll keiner der für die Problemlösung als wichtig erkannten Wissenschaftsbereiche ausgeklammert werden. Weitere Konsequenzen aus dieser Leitidee ergeben sich, wenn in den einzelnen Bereichen diskutiert wird, was als nützlich gelten kann. Dabei gehen wir davon aus, daß Kenntnisse und Fähigkeiten in zweierlei Weise nützlich sein können: zum einen können auf Grund von Kenntnissen und Informationen veränderte, den Problemen besser angepaßte **Einstellungen** entstehen. Zum anderen können Kenntnisse und Fähigkeiten zu besseren **Handlungen** befähigen. Wir sind uns über die beschränkten Handlungsmöglichkeiten von Schülern in der Praxis durchaus im klaren und sehen die **größere Bedeutung** der Unterrichtseinheit im Bereich der Veränderung von Einstellungen durch die vermittelten Kenntnisse.

Im einzelnen **erwarten wir etwa folgende Auswirkungen** eines Unterrichts, der nach dem vorliegenden Konzept durchgeführt wird:

- a) **Im physikalisch-technischen Bereich:**  
Praktische Übungen im Messen und Schätzen von Schallpegelwerten in dB(A) führen zur Einstellung, daß Messungen relativ einfach sind, wenn man ein entsprechendes Meßgerät besitzt (oder sich beschaffen kann). Die Fähigkeit, Schallpegelwerte zu schätzen, kann darüber hinaus direkt zu einer ersten Einschätzung von Lärmproblemen führen. Die Besprechung und experimentelle Erprobung verschiedener technischer Lärmschutzmaßnahmen führt dazu, daß Schüler eher bereit sind, entsprechende Fragen an Experten zu stellen bzw. selbst geeignete Lösungsvorschläge zu machen.
- b) **Im biologisch-medizinischen Bereich:**  
Die Kenntnisse über gesundheitliche Auswirkungen, insbesondere über die Irreversibilität von Hörverlusten, führt zu einer gesteigerten Aufmerksamkeit (Sensibilität) bei der Beobachtung von Lärmbelastungen.
- c) **Im juristisch-politischen Bereich:**  
Die vermittelten Kenntnisse über Lärmbereiche, gesetzliche Bestimmungen, Richtwerte und vor allem über die zuständigen Institutionen können wohl als stärkste Handlungshilfe bewertet werden. Sie versetzen den Schüler potentiell in die Lage, sich mit einer Beschwerde an die richtige Adresse auf juristischem Wege gegen seine Lärmbelastung zur Wehr zu setzen. Daneben sollen Kenntnisse über die Entstehung von entsprechenden gesetzlichen Bestimmungen dazu führen, daß der Schüler diese als historisch gewachsen, diskutierbar und veränderbar erkennt.

Da diese Unterrichtseinheit für den **Physikunterricht** entwickelt wurde, ergibt sich eine **Leitidee 2:**

Die physikalisch-technischen Kenntnisse sollen in dieser Unterrichtseinheit mit einem größeren Umfang an Zeit behandelt werden. Die Auswahl dieser physikalischen Kenntnisse soll jedoch hinsichtlich ihrer Nützlichkeit für die Lösung von Lärmproblemen genauso kritisch erfolgen.

Die Konsequenzen dieser Leitidee sind, daß einerseits die physikalisch-technischen Kenntnisse im engeren Sinne auf zwei Unterrichtsabschnitte (4.4 und 4.7) ausgedehnt wurden und daß andererseits zwei weitere Kapitel über physikalische Grundlagen voran gestellt wurden (4.2 und 4.3). Die kritische Prüfung dieser Grundlagen hat ergeben, daß zwar die Begriffe Amplitude und Frequenz eine wesentliche Voraussetzung zum Verständnis vieler Einzelheiten des Themas Lärm bilden, daß jedoch der Begriff Schwingungsdauer überflüssig erscheint. Da wir außerdem glauben, ein im Unterricht sehr praktikables Konzept zur direkten Einführung des Frequenzbegriffs gefunden zu haben, konnte dieser Unterrichtsabschnitt durch Weglassen des Begriffs Schwingungsdauer und seiner Messung zielgerecht gestrafft werden.

Einen weiteren Eckpfeiler unserer Überlegungen zu dieser Unterrichtseinheit bildet schließlich die folgende **Leitidee 3:**

Der Unterricht sollte möglichst stark auf Problem- und Handlungszusammenhänge in der Umwelt, **außerhalb** der Schule, bezogen sein.

Die Realisierung dieser Leitidee kann vor allem durch ein oder mehrere eingebaute **Simulationsspiele**, durch **Erkundungen** und durch die **praxisnahen Beispiele** der mitgelieferten Compact-Cassette erreicht werden. Insbesondere durch Simulationsspiele kann die Komponente des eigenen Handelns im Unterricht realisiert werden. Nach unseren Unterrichtserfahrungen sind

Simulationsspiele stärker als jede Beschreibung in der Lage, den Schülern Handlungsmöglichkeiten konkret vor Augen zu führen. Dabei soll nicht unerwähnt bleiben, daß das Simulationsspiel neben Erkundungen, Planung von Experimenten, Messungen und Schätzungen einen Höhepunkt in der Motivation der Schüler darstellt.

Zum Schluß folgt eine Übersicht über die Ziele dieser Unterrichtseinheit. Dazu benutzen wir die „16 Gesichtspunkte zur Inhaltsauswahl“.<sup>1)</sup> Wir geben im folgenden für jeden Gesichtspunkt an, welche Schwerpunkte wir in der Unterrichtseinheit sehen. Das schließt nicht aus, daß der Lehrer seine konkrete Unterrichtsplanung so verändert, daß andere Schwerpunkte entstehen.

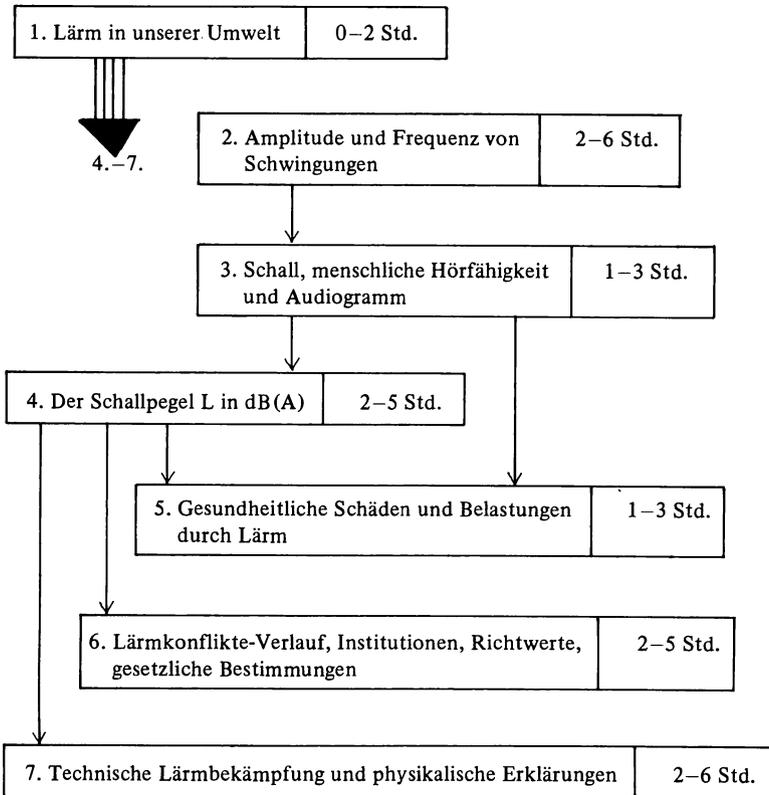
<b>Gesichtspunkte</b>	Möglichkeiten für die Berücksichtigung des Gesichtspunktes in der vorliegenden Unterrichtseinheit
Ist der Inhalt geeignet, . . .	
I grundlegende Begriffe und Gesetze aus der Naturwissenschaft zu erarbeiten?	Begriffe: Amplitude, Frequenz; Dämmung, Reflexion von Schall. Abhängigkeit der genannten Schallvorgänge von bestimmten Materialeigenschaften.
II für Naturwissenschaft und Technik, wesentliche Denkweisen, Methoden, Darstellungsformen, Arbeitstechniken und Verfahren zu erklären?	Veranschaulichung der Bedeutung einer neuen Meßgröße (Schallpegel); Mittelung von Meßwerten; modellmäßige Erklärung von Schallreflexion (Stoßversuche mit Wagen) und Dämpfung in porösem Material (Luftreibung)
III die Grenzen, Vorläufigkeit und Einseitigkeit naturwissenschaftlicher Aussagen aufzuweisen?	Einschätzung der Bedeutung der Physik bei interdisziplinären Problemzusammenhängen
IV die Erschließung anderer inhaltlicher Bereiche zu erleichtern?	Schwingungen und Wellen; andere Umweltprobleme
V aufzuweisen, daß naturwissenschaftliche Erkenntnisse technisch verwertbar sind und daß technologischer Fortschritt die Naturwissenschaft vor neue Erkenntnisprobleme stellen kann?	Die Erkenntnisse über Reflexion und Dämpfung von Schall finden zahlreiche technische Anwendungen beim technischen Lärmschutz. Andererseits können teilweise technisch gefundene Lösungen als naturwissenschaftlich nicht völlig geklärt angesehen werden.
VI die wechselseitige Verflechtung von Naturwissenschaft, Technik, Wirtschaft und sozialer Lebenswelt aufzuweisen?	Am Beispiel der Entstehung eines neuen Lärmgesetzes und der darin enthaltenen Richtwerte wird klar, daß hier neben wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten auch politische Prioritäten eine Rolle spielen

1) Empfehlungen zur Entwicklung von Lehrplänen für den Physikunterricht der Sekundarstufe 1. Bad Hersfeld, Februar 1976, veröffentlicht in einer Reihe von fachdidaktischen Zeitschriften, z. B. in MNU (29. Jg. 1976, Heft 4, S. 237–239).

VII	die historische Entwicklung von Naturwissenschaft und Technik und die jeweiligen Faktoren, die zu dieser Entwicklung geführt haben, aufzuzeigen?	---
VIII	durch Naturwissenschaft und Technik ermöglichte Fehlentwicklungen aufzuweisen, d.h. ist ein kontroverses Thema unserer Zeit?	Im Arbeitsleben wird die Kontroverse zwischen Produktivität einerseits und Humanisierung der Arbeitsplätze andererseits zunehmend deutlicher (Lärmkonflikt)
IX	zu demonstrieren, wie Naturwissenschaft und Technik unsere Umwelt verändert haben und wie man zur verantwortungsbewußten Mitgestaltung beitragen kann?	Die Veränderungen durch Lärm liegen auf der Hand; verantwortungsbewußte Mitgestaltung kann hier individuell (Lärmkonflikte) und öffentlich (Lärmgesetzgebung) geschehen
X	zu demonstrieren, wie heute naturwissenschaftliche Forschung und technische Entwicklung vollzogen oder beeinflußt werden können?	---
XI	dem Schüler Kenntnisse und Verhaltensgewohnheiten zur physischen und psychischen Gesunderhaltung zu vermitteln?	Kenntnisse über Belastungen und gesundheitliche Auswirkungen durch Lärm (z.B. Schwerhörigkeit)
XII	dem Schüler Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten zur unmittelbaren Lebensbewältigung zu vermitteln?	Vergleiche hierzu die obigen Ausführungen zur Leitidee 1!
XIII	die natürliche und technische Umwelt begreifen zu helfen?	Funktionsweise von Schallpegelmessern; Kenntnisse über Schallschutzmaßnahmen
XIV	Neigungen, Interessen und Probleme der Schüler gemäß ihrer Lernerfahrungen zu berücksichtigen?	Schüler besitzen zahlreiche Vorerfahrungen im Bereich Lärm und interessieren sich darüber hinaus für neuartige Probleme (z.B. im Bereich der Arbeitswelt!)
XV	selbstorganisiertes Lernen, kreatives Denken und selbständiges wie kooperatives Handeln anzuregen und zu ermöglichen?	Simulations-Rollen-Spiel, Planung von Schallschutzmaßnahmen, Erkundungen
XVI	selbständiges Experimentieren der Schüler zu ermöglichen?	Selbständiges Planen von Experimenten; die selbständige Durchführung nur in geringem Umfang möglich

## 2.2 Inhaltliche Konzeption, Sachstrukturüberblick

Entsprechend der oben dargestellten Gesamtkonzeption ist das Hauptziel dieser Unterrichtseinheit die Vermittlung nützlicher Kenntnisse zur Lösung von Lärmproblemen im physikalisch-technischen, biologisch-medizinischen und juristisch-politischen Bereich. Daraus ergeben sich die vier Unterrichtsabschnitte 4–7 (siehe unten). Ihnen vorgeschaltet sind zwei Unterrichtsabschnitte zur Vermittlung notwendig erscheinender physikalischer Grundlagen und ein Einleitungsabschnitt. Daraus ergibt sich folgende Struktur der Unterrichtsabschnitte:



Der 1. Unterrichtsabschnitt dient der Einführung in das Problemfeld Lärm. Dabei sollen vor allem die Vorerfahrungen der Schüler und besonders etwaige stärkere Lärmbelastungen, denen einzelne Schüler oder ihre Eltern ausgesetzt sind, zusammengetragen werden. In Anschluß an einen Streitfall um Lärm (Zeitungsausschnitt) schließt sich eine erste Übersicht über die Bereiche, in denen Kenntnisse erforderlich sind, an.

**Der 2. Unterrichtsabschnitt** dient der Einführung der wichtigen Grundbegriffe Amplitude und Frequenz. Daß in dieser Unterrichtseinheit der Begriff Amplitude und nicht der auch mögliche Begriff Energie als physikalische Bezugsgröße gewählt wurde, hat folgende Gründe: Der Begriff „Schallenergie“ erscheint für Schüler problematisch, da er genau genommen als Leistung pro Fläche zu definieren wäre; in der Technik werden sowohl die Schalldruckamplitude  $\hat{p}$  als auch die Schallintensität  $I$  (= Leistung pro Fläche) zur Definition des Schallpegels  $L$  verwendet ( $L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} = 20 \cdot \log \frac{\hat{p}}{p_0}$ ); in den im Unterricht verwendeten Versuchen ist die Amplitude, gemessen mit dem Oszillographen, leichter zugänglich als die Intensität (vgl. Lehrertext und 3.2).

Ein weiteres besonderes Kennzeichen dieses Unterrichtsabschnitts besteht darin, daß vorgeschlagen wird, die Frequenz direkt als Anzahl der Schwingungen in der Zeiteinheit einzuführen und mit dem Auge bzw. einem Zählgerät (mit automatischer Abschaltung nach einer Sekunde!) zu zählen. Der Begriff Schwingungsdauer wird dann überflüssig (oder als Ergänzung eingeführt). Dies hat den Vorteil, daß die für Schüler schwierige Zeitablesung mit dem Oszillographen und die ebenfalls schwierige Umrechnung von Schwingungsdauern in Frequenzen entfällt. Die notwendigen physikalischen Grundlagen stehen so möglichst schnell zur Anwendung auf Lärmprobleme zur Verfügung.

**Der 3. Unterrichtsabschnitt** dient zunächst einer kurzen Einführung des Phänomens Schall als Ausbreitungsvorgang von Luftschwingungen. Dabei soll auf die Wellennatur des Schalls nicht im einzelnen eingegangen werden. Der Schwerpunkt liegt vielmehr auf der Herausarbeitung der Struktur Quelle – Medium (Übertragung) – Empfänger und der Tatsache, daß bei der Schallausbreitung in Luft die Luftteilchen Hin- und Herbewegungen ausführen. Diese beiden Tatsachen vermitteln eine vorläufige Vorstellung der Schallausbreitung und erleichtern die Erklärung von technischen Maßnahmen bei der Lärmbekämpfung.

Wichtig ist in diesem Abschnitt weiterhin die Herausarbeitung der menschlichen Hörfähigkeit und die Aufnahme eines (vorläufigen) Audiogramms, zu dessen Verständnis die Begriffe Amplitude und Frequenz gebraucht werden. Das Audiogramm seinerseits ist wiederum Voraussetzung für das Verständnis der Schallpegelmessung und für das Verständnis der Veränderungen des Ohres bei entsprechender Lärmschwerhörigkeit.

**Der 4. Unterrichtsabschnitt** hat die Einführung und Veranschaulichung des Schallpegels  $L$ , gemessen in dB(A) zum Ziel. Dabei wird bewußt auf eine abstrakte Definition dieses Schallpegels verzichtet, während wichtige Eigenschaften (z. B. die Frequenzabhängigkeit der Anzeige, die Erhöhung des Schallpegels durch mehrere gleichartige Schallquellen, u. a.) und die Schätzung und Messung möglichst vieler konkreter Beispiele behandelt werden sollen. Ein besonderes Problem dieses Abschnitts, das auch von großer Bedeutung für die nachfolgenden Kapitel ist, stellt die Mittelung von Schallpegeln dar. Dabei muß den Schülern vor allem klar gemacht werden, daß der Mittelwert immer kleiner ist als ein einzelner Maximalwert und daß andererseits der Mittelwert von Schallpegeln immer höher liegt als der arithmetische Mittelwert.

**Der 5. Unterrichtsabschnitt** informiert die Schüler über die wichtigsten gesundheitlichen Schäden und Belastungen durch Lärm. Im Mittelpunkt steht eine genaue Erklärung des Entstehens der Lärmschwerhörigkeit; daneben gibt es Informationen über mögliche andersartige Belastungen.

Im **6. Unterrichtsabschnitt** werden die Schüler über die wichtigsten gesetzlichen Bestimmungen und zuständige Institutionen unterrichtet, damit sie im Bedarfsfall in der Lage sind, sich zu wehren. In diesem Unterrichtsabschnitt können auch Erkundungen bei entsprechenden Institutionen (z. B. Polizei, Gewerbeaufsichtsamt, Umweltministerium, Stadtverwaltung, u. a.) sehr nützlich sein und erfolgreich durchgeführt werden.

Im **7. Unterrichtsabschnitt** werden schließlich die technischen Möglichkeiten zur Lärm-bekämpfung behandelt. Sie werden zunächst gemäß dem Schema Quelle – Schallausbreitung – Empfänger in die grundsätzlich verschiedenen Möglichkeiten unterteilt. Die ausführlichste Behandlung erfahren dann die Maßnahmen zur Schalldämmung durch Wände und ihre physikalische Erklärung durch die Vorgänge bei Reflexion und Dämpfung des Schalls.

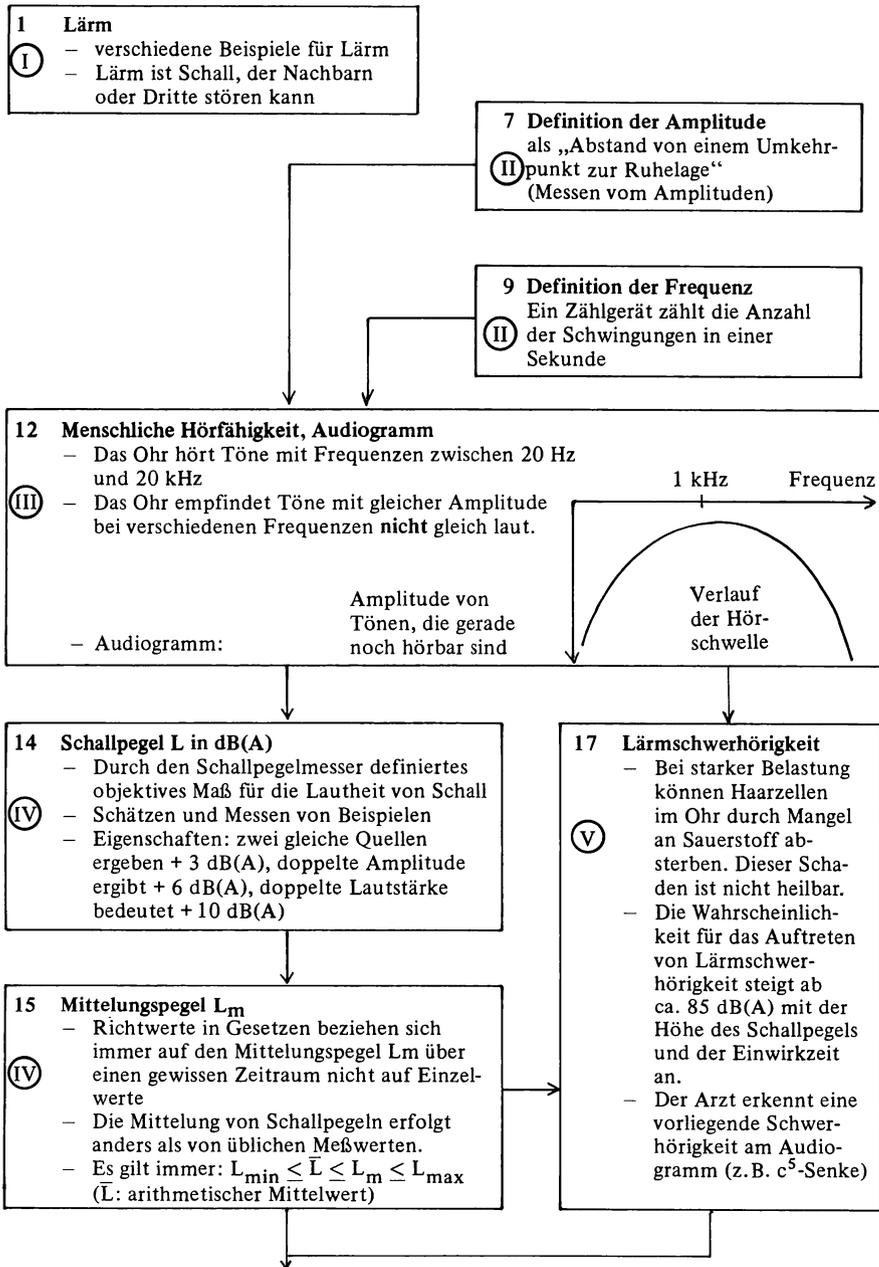
Über die Reihenfolge und Durchführungsmöglichkeiten dieser Unterrichtsabschnitte folgen einige nähere Angaben unten im Abschnitt 2.4.

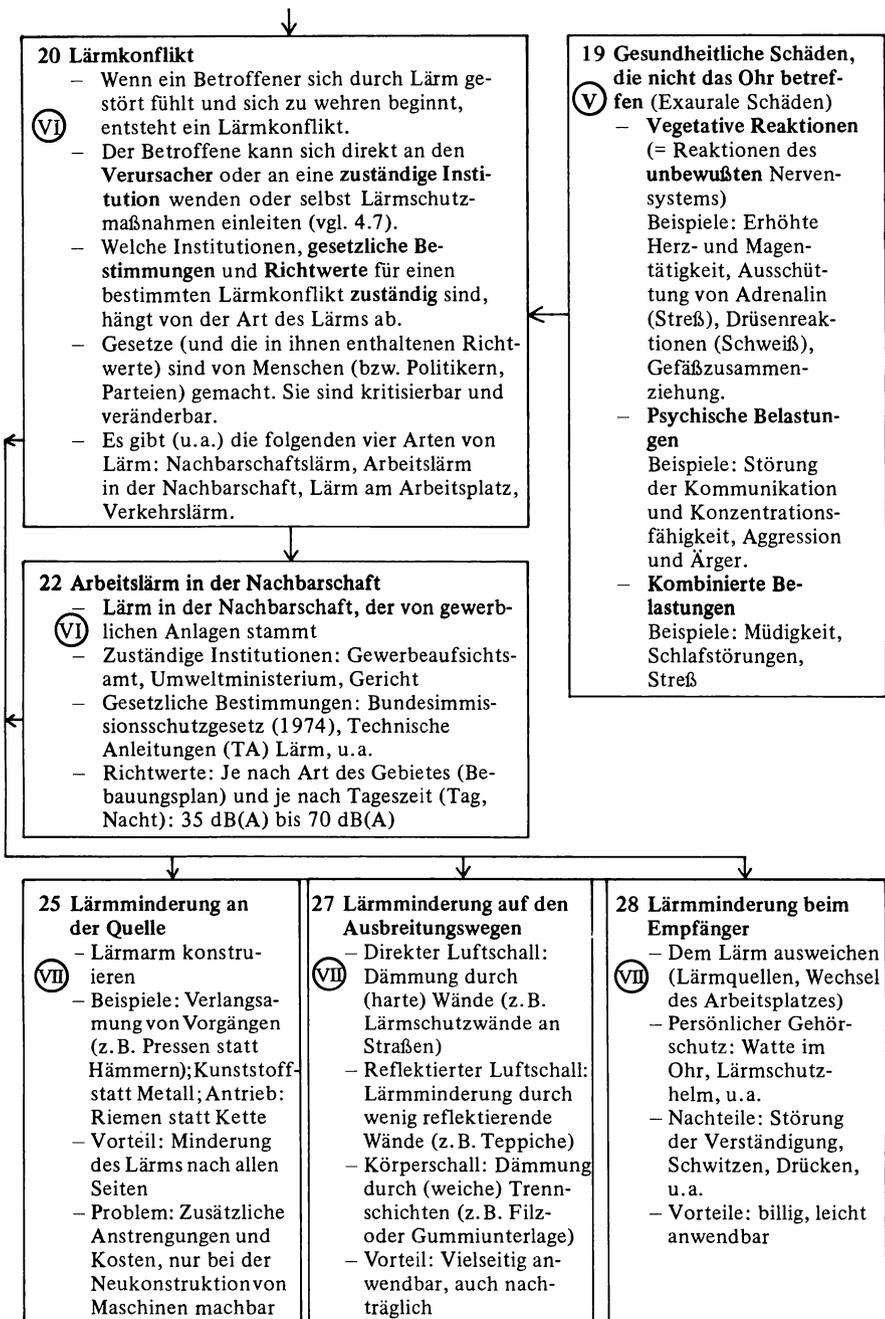
Zum Schluß soll ein verkürztes Sachstrukturdiagramm aller Unterrichtsabschnitte einen näheren Einblick in den Aufbau der Unterrichtseinheit geben. Die arabischen Ziffern beziehen sich auf die durchlaufende Numerierung der detaillierteren Diagramme der einzelnen Unterrichtsabschnitte. Die in Kreisen angegebenen römischen Ziffern weisen auf die Nummer des Unterrichtsabschnittes hin.

Das Diagramm enthält nur die wichtigsten Blöcke der Diagramme zu den einzelnen Unterrichtsabschnitten. Für einen genaueren Einblick sei deshalb auf diese verwiesen.

Oberhalb der Wellenlinie (~~~~) sind die Voraussetzungen für die vorliegende Unterrichtseinheit aufgeführt. Die Pfeile kennzeichnen die Abhängigkeit der einzelnen Blöcke.

## Gemeinsames Sachstrukturdiagramm der Unterrichtsabschnitte





## 2.3 Simulations-Rollenspiel

Zunächst eine Vorbemerkung, mit der wir hoffen, noch mehr Freunde für diese Unterrichtsform zu werben: alle Lehrer, die im Verlauf unserer Erprobungen bisher ein Simulations-Rollenspiel durchgeführt haben, waren zunächst sehr skeptisch. Sie fürchteten wohl, daß das Spiel ohne umfangreiche Vorbereitung nicht richtig in Fluß kommen würde und daß es eben nur ein Spiel sei, das keinen Beitrag zum Unterrichtserfolg darstellt. Nach dem Spiel waren alle diese Lehrer zufrieden bis begeistert. Es hat sich gezeigt, daß Schüler des 8. Jahrganges – die im allgemeinen zu Recht als schwierig gelten – mit relativ geringen Vorbereitungen zu einem hohen Engagement in einem solchen Spiel zu bewegen sind, daß das Spiel eine positive Wirkung auf die Motivation der Schüler und die Auflockerung des Unterrichts hat und daß es die in der Praxis möglichen **Handlungen** so gut und konkret wie kein anderer Teil des Unterrichts vor Augen führen kann.

Die Hauptziele des Simulations-Rollenspiels sind also: Handlungsmöglichkeiten konkret vor Augen führen, die Motivation der Schüler steigern und zur Auflockerung des Unterrichts beitragen. Dabei ist zu letzterem noch zu bemerken, daß ja in dieser Unterrichtseinheit Schülerexperimente nur am Anfang möglich sind.

Zur **Vorbereitung** eines Simulations-Rollenspiels sind folgende Schritte notwendig:

- Auswahl eines möglichst realistischen Konfliktfalles, welcher eine Anfangssituation schildert, ohne die eingeleiteten Schritte zu seiner Lösung vorwegzunehmen. Hierfür eignen sich entweder die Beispiele aus dem Schülerheft (S. 2, 46, 48), aus dem Abschnitt 3.1, aus eigenen Zeitungsausschnitten oder auch eigene Textentwürfe.
- Beschaffung einiger (weniger!) „Requisiten“, um den Spielcharakter und die Handlungsmöglichkeiten im Spiel zu fördern. In der Regel gehört zu diesen Requisiten eine Lärmquelle, die dem Fall möglichst nahe kommt (z.B. ein Papierkorb und Dosen als Mülleimer oder Glascontainer, eine Bohrmaschine als Werkstattlärm, o. ä.), ein Schallpegelmesser, evtl. eine Liste mit Richtwerten oder spezielle Hinweise auf Teile des Schülerhefts.

Die **Durchführung** eines Simulations-Rollenspiels verläuft etwa in folgenden Schritten:

- Vorlesen oder Erzählen der Ausgangssituation des Falles (vgl. 3.1), evtl. unterstützt durch das Abspielen eines entsprechenden Lärm-Beispiels von der Compact-Cassette (vgl. 2.5).
- Lehrer-Schüler-Gespräch über mögliche **Rollen**, die gespielt werden sollen. Neben den „Betroffenen“ und „Verursachern“ kommen hier vor allem die beteiligten Institutionen in Frage (vgl. Unterrichtsabschnitt 4.6).
- Verteilung der Rollen auf die Schüler. Dabei übernehmen ein oder mehrere Schüler je eine Rolle. (Bei **mehreren** Schülern benennen sie **einen Sprecher**, die anderen unterstützen ihn mit Vorschlägen und Ideen).
- Kurze Vorbereitung der einzelnen Rollen (Was können wir tun? Welche Informationen brauchen wir?) Hierbei können die im Schülerheft enthaltenen Rollentexte (S. 18–22) benutzt werden.
- Spielbeginn, in der Regel durch die „Betroffenen“, diese Rolle muß von aktiven Schülern gespielt werden.

(Die Motivation der Schüler kann, aber muß nicht, durch Aufnahme auf Tonband oder Rekorder gesteigert werden.)

In den einzelnen Phasen des Spiels gibt es verschiedene Möglichkeiten. Hier soll während des Spiels der Phantasie der Schüler freier Lauf gelassen werden, erst die Diskussion nach dem Spiel soll diese Spielzüge kritisch beleuchten. Insbesondere ist aus der Spielsituation heraus zu entscheiden, ob Messungen des „Meßfachmannes“, Schallschutzmaßnahmen des „Schall-

schutzfachmannes“ und Gehöruntersuchungen des „Arztes“ während des Spiels tatsächlich durchgeführt oder von ihrer Durchführung nur ausgegangen wird. Wenn diese Handlungen konkret durchgeführt werden, sind die entsprechenden Versuchsanleitungen der zugehörigen Versuche zu beachten.

Der Lehrer sollte sich während eines Spiels möglichst weitgehend zurückhalten. Es kann jedoch notwendig werden, daß er zusätzliche Impulse gibt oder auch zu weitschweifige Spielzüge einschränkt.

Für ein Simulations-Rollenspiel gibt es verschiedene **Einsatzmöglichkeiten**. Es kann schon ganz am Anfang der Unterrichtseinheit eingesetzt werden, um den Schülern die zu klärenden Probleme möglichst anschaulich und lebendig vor Augen zu führen. Ähnlich kann es zur Einführung in die verschiedenen Lärmbereiche (vgl. Unterrichtsabschnitt 4.6) eingesetzt werden. Andererseits ist auch ein Einsatz **nach** einem gewissen Unterrichtsabschnitt sinnvoll, um das Gelernte praktisch anzuwenden. Schließlich haben wir in einer Unterrichtserprobung versucht, den ganzen Unterricht (mit Ausnahme der Unterrichtsabschnitte 4.2 und 4.3) in Form von drei aufeinander folgenden Simulations-Rollenspielen zu den verschiedenen Lernbereichen durchzuführen. Dabei wurde die notwendige Informationsvermittlung jeweils als Vor- bzw. Nachbereitung eines Spiels angeordnet. Die wichtigsten dabei gemachten Erfahrungen sind:

- mehr als zwei Simulations-Rollenspiele erscheinen ungünstig
- es muß darauf geachtet werden, daß die zwischen den Spielen gelegenen Informationsphasen nicht zu sehr an Attraktivität verlieren und genügend intensiv verlaufen.  
(Weitere Evaluationsergebnisse in 6.3 und 6.4).

Zum Schluß sollen einige **Spielregeln vorgeschlagen** werden:

1. Die Klasse wählt einen Spielleiter, der auf die Einhaltung der Spielregeln achten soll.  
(Der Lehrer bietet sich für diese Rolle an.)
2. Während der Spielphasen darf zur Zeit nur eine Handlung ablaufen, da sonst nicht alle Schüler den Geschehnissen folgen können.
3. Jede Schülergruppe, die eine Rolle übernommen hat, sollte sich einen Sprecher wählen.
4. Weiß ein Sprecher in seiner Rolle einmal nicht weiter, so hat er das Recht, das Spiel zu unterbrechen, um aus seinen Texten oder von anderen Gruppenmitgliedern (oder dem Lehrer) neue Informationen zu erlangen.
5. Sollten größere Informationslücken auftreten, kann der Spielleiter das Spiel (vorläufig) beenden und eine Informationsphase ansetzen.
6. Während der Spielphasen dürfen Texte (z. B. aus dem Schülerheft) verwendet werden.
7. Messungen und Versuche sollten während der Spielphasen vor der Klasse stattfinden, so daß alle Schüler den Ablauf und die Ergebnisse der Versuche sehen.
8. Hat ein Schüler eine gewisse Rolle übernommen, bzw. ist ihm eine Rolle zugeteilt worden, so soll er diese Rolle für einen Fall bis zum Ende des Spieles behalten.
9. Die Spielphasen enden durch die Lösung des Konflikts oder durch Informationsmangel oder durch das Ende der Stunde.
10. Sollte sich während des Spiels herausstellen, daß noch weitere Spielregeln benötigt werden, so können diese von den Schülern formuliert und vom Spielleiter aufgeschrieben werden.

## 2.4 Erkundungen

Im Verlaufe unserer Erprobungen wurden Erkundungen in folgenden Bereichen durchgeführt:

- in der Schule
- an stark befahrenen Verkehrsstraßen
- bei mit Lärmkonflikten befaßten Institutionen
- in einem Betrieb.

Daneben kommen Erkundungen in aktuellen Fällen (Schüler oder ihre Eltern sind direkt von Lärm betroffen) und Erkundungen beim Ohrenarzt in Frage. Direkt in die Unterrichtseinheit eingeplant sind die Erkundungen „an verkehrsreichen Straßen“ (4. Unterrichtsabschnitt) und „bei den mit Lärmkonflikten befaßten Institutionen“ (6. Unterrichtsabschnitt).

Alle Erkundungen verfolgen den Zweck, den Unterricht näher an die konkreten Probleme der jeweiligen Umwelt der Schüler heranzuführen und den Unterricht aufzulockern.

Jede Erkundung muß **vorbereitet** werden. Dabei sollten mindestens die interessierenden Fragen – schriftlich – geklärt und die Protokollierung vorbereitet werden (vgl. Schülerheft, S. 23).

Die meiste Vorbereitung erfordern wohl Erkundungen in einem Betrieb. Da wir solche Erkundungen zwar für wichtig halten, selbst aber nur geringe Erfahrungen damit gemacht haben, sei an dieser Stelle auf die sehr guten „praktischen Hinweise“ der BIELEFELDER LEHRERGRUPPE (rororo 1979, S. 162–164) hingewiesen.

## 2.5 Die Compact-Cassette zu dieser Unterrichtseinheit

Die Compact-Cassette enthält Lärmbeispiele zur Unterstützung des Unterrichts in seinen verschiedenen Phasen. Sie enthält insbesondere Lärmbeispiele aus der Arbeitswelt, da diese erfahrungsgemäß für die Schüler von besonderem Interesse und im allgemeinen nicht ohne weiteres zugänglich sind.

Von besonderer Bedeutung sind die **Demonstrationen zur Lärmschwerhörigkeit (Nr. 10)**, weil sie eine direkte anschauliche Vorstellung von den Auswirkungen dieser schwersten gesundheitlichen Gefahr des Lärms vermitteln.

Auch das Geräusch eines **Mopeds mit und ohne Auspufftopf** (Nr. 8 und 9), ein um 10 dB(A) vermindertes Verkehrsgeräusch als Simulation der Wirkung einer **Lärmschutzwand** (Nr. 6 und 7) und 5 Minuten „**weißes Rauschen**“ als gleichmäßige Mischung eines großen Frequenzbereiches (Nr. 20) dürften von allgemeinem Interesse sein.

Auf der Cassette ist auf jeder Seite zu Beginn ein **Sinuston** (1000 Hz) aufgespielt, der zum **Einpegeln der Lautstärke** mit Hilfe eines Schallpegelmessers dient. Er ist auf Seite 1 durch entsprechende Einstellung des Lautstärkereglers und der Entfernung zwischen Lautsprecher und Pegelmesser auf einen Wert von **L = 84 dB(A)** einzustellen (auf Seite 2 entsprechend **L = 94 dB(A)**).

Die mit dem Pegelmesser bei den folgenden Beispielen gemessenen Werte hängen trotzdem noch sehr stark von der Güte der Abspielanlage ab (teilweise auch von den Raumverhältnissen und der Dynamik der Cassette). Die im Cassettenspiegel angegebenen Werte werden in der Regel mit einer sehr guten Anlage (HiFi-Qualität der Wiedergabe und genügend Leistung der Lautsprecher) erreicht. Mit anderen Geräten ist je nach Zweck der Vorführung folgendermaßen zu verfahren:

- a) Zur Demonstration einzelner Beispiele, zum Schätzen und Messen etc.: Der Lehrer kann bei jedem einzelnen Beispiel durch Nachstellen des Lautstärkeknopfes etwa den angegebenen Wert für L und damit etwa den Originalhöreindruck einstellen.
- b) Zur Bestimmung und Vorführung von **Mittelungspegeln**: Der Lehrer stellt am Anfang des Bandes den Sinuston auf den angegebenen Wert ein und bestimmt – vor dem Unterricht! – mit seiner Anlage den Mittelungspegel einiger Geräusche selbst mit der in 3.3 (S. 33) beschriebenen Methode.

## Cassetten-Spiegel

Zählwerk	Zeitdauer des Beispiels	Lärmbeispiele	L in dB(A) (annähernde Werte)
<b>Seite 1</b>			
_____	0'20"	Nr. 1: Sinuston (1000 Hz)	90
_____	1'10"	Nr. 2: Schreibmaschinengeklapper	70
_____	1'40"	Nr. 3: Werkstatthalle	80
_____	1'15"	Nr. 4: Werkzeug schleifen	90
_____	1'25"	Nr. 5: Pneumatischer Winkelschleifer	100
Ab hier: dB(A)-Wert neu justieren!			
_____	1'0"	Nr. 6: Verkehrsgeräusch	75
_____	1'0"	Nr. 7: Verkehrsgeräusch um 10 dB(A) vermindert	65
_____	0'35"	Nr. 8: Moped mit Auspuff	85
_____	0'45"	Nr. 9: Moped ohne Auspuff	100
_____	11'	Nr. 10: Demonstration von Gehörschäden	
<b>Seite 2</b>			
_____	0'20"	Nr. 11: Sinuston	90
_____	0'35"	Nr. 12: Hobeln	110
_____	1'30"	Nr. 13: Kreissäge	100
_____	1'00"	Nr. 14: Blechrichten (Hämmern)	90
_____	0'40"	Nr. 15: Zünden eines Schweißbrenners	100
_____	1'30"	Nr. 16: Schweißen und Nacharbeiten	100
_____	0'30"	Nr. 17: Schleifen (Winkelschleifer)	100
_____	1'00"	Nr. 18: Werkzeug anschleifen	95
_____	5'00"	Nr. 19: Fräsen	98
_____	2'20"	Nr. 20: Weißes Rauschen	100

## Anwendungsmöglichkeiten der Compact-Cassette

- Bei Simulationsspielen kann ein zu dem gewählten Fall passendes Lärmbeispiel zur Veranschaulichung der Problemsituation und zur Erhöhung der Motivation für das Spiel dienen. Es kommen insbesondere die Beispiele Nr. 2, 5, 6, 8 oder 9, 13 und 17 in Frage.
- Im Unterabschnitt 1 (4.1) können **Lärm-Beispiele** als Einstieg oder zur Ergänzung der von Schülern genannten Beispiele vorgeführt werden. Die Schüler können evtl. erraten, um welchen Lärm es sich handelt und ihren Eindruck (angenehm – unangenehm) beschreiben.

3. Im Unterrichtsabschnitt 3 (4.3) können verschiedene Geräusche der Cassette mit **Mikrofon und Oszilloskop** verfolgt werden, z. B. solche mit veränderlicher Amplitude (Nr. 3, 6, 8).

4. Im Unterrichtsabschnitt 4 (4.4) können insbesondere die Beispiele 2–5 zum **Schätzen und Messen von Schallpegeln L** verwendet werden. Zur **Schätzung von Mittelungspegeln  $L_m$**  aus mehreren Einzelmessungen (z. B. alle 5 Sekunden) eignen sich besonders die Beispiele 12–18.

5. Im Unterrichtsabschnitt 5 (4.5) ist besonders die **Demonstration der Lärmschwerhörigkeit (Nr. 10)** von Bedeutung. Daneben können die Beispiele 5, 13 und 17 für die Versuche V 15 und V 16 verwendet werden.

6. Im Unterrichtsabschnitt 6 (4.6) können besonders gut **Simulationsspiele** durch Lärmbeispiele unterstützt werden (vgl. oben). Außerdem können folgende **Richtwerte** durch Lärmbeispiele veranschaulicht werden:

Einfache Bürotätigkeit: 70 dB(A), Beispiel Nr. 2

Sonstige Arbeitsplätze: 85 bzw. 90 dB(A), Beispiel Nr. 4

Verkehrslärm (alter Richtwert): 75 dB(A), Beispiel Nr. 6 entsprechend verstärkt (neu eingegeln!)

7. Im Unterrichtsabschnitt 7 (4.7) können verschiedene Lärmbeispiele als **praxisnahe Lärmquelle** für einige Versuche eingesetzt werden.

Versuch V 18: Nr. 12–20

Versuch V 20: Nr. 19

Versuch V 21: Nr. 5 oder 19.

Außerdem können mit den Beispielen Nr. 8 und 9 die **Wirkung des Auspufftopfes** bei einem Moped und mit den Beispielen Nr. 6 und 7 die **Wirkung einer Lärmwand an einer Straße** demonstriert werden.

## **2.6 Verschiedene Durchführungsmöglichkeiten für diese Unterrichtseinheit**

Je nach der Lehrplan- und Schulsituation wird dem Lehrer für dieses Thema unterschiedlich viel Unterrichtszeit zur Verfügung stehen. So könnte das Thema sowohl im Wahlpflicht- als auch im Pflichtunterricht seine Berechtigung haben. Da die benötigte Unterrichtszeit von sehr vielen Faktoren abhängt, kann sie hier nicht im einzelnen genau angegeben werden. Auch die oben im Abschnitt 2.2 gegebenen Stundenzahlen für die einzelnen Unterrichtsabschnitte sind nur als grobe Anhaltspunkte zu verstehen.

Im folgenden sollen jedoch einige Möglichkeiten genannt werden, wie der Lehrer im Voraus die Unterrichtszeit beeinflussen und seine Prioritäten bei der Behandlung einzelner Unterrichtsabschnitte setzen kann:

- Anzahl der Erkundungen. Fest eingeplant sind sie in den Abschnitten 4 und 6, aber **zur Not** geht es natürlich auch ohne. Weiterhin muß festgelegt werden, ob die Erkundungen in der Unterrichtszeit oder in der Freizeit von den Schülern durchgeführt werden sollen; dies gilt vor allem für die Erkundungen in Abschnitt 6. (In unseren Erprobungen wurden allen Erkundungen während der Unterrichtszeit durchgeführt; Voraussetzung dafür sind Doppelstunden).

- Anzahl der Simulationsspiele. Man muß pro Simulationsspiel eine Unterrichtsstunde (bei Doppelstunden eine Doppelstunde) rechnen. Zu empfehlen ist mindestens ein Simulationsspiel, optimal erscheinen zwei.
- Gewicht der fachüberschreitenden (nicht physikalischen) Anteile zur Lärmproblematik. Sowohl die biologisch-medizinischen als auch die juristisch-politischen Kenntnisse halten wir für mindestens ebenso wichtig wie die physikalischen.
- Die Gründlichkeit und der Umfang der Behandlung kann im übrigen wie bei jedem Unterricht stark variiert werden. Da man nach unserer Überzeugung **keinen** Unterrichtsabschnitt ganz weglassen kann, eine sinnvolle Prioritätensetzung auf der anderen Seite jedoch Kürzungen erzwingt, geben wir bei jedem Unterrichtsabschnitt einen Vorschlag an, wie er in **einer Unterrichtsstunde** notfalls gemacht werden kann.

Für die **Reihenfolge** sehen wir im großen und ganzen drei Varianten:

1. Wie angegeben (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7).
2. Die physikalischen Anteile werden zusammenhängend **vor** den nicht physikalischen Anteilen unterrichtet (2, 3, 4, 7; 5, 6).
3. Orientierung am „ideal-typischen“ Verlauf eines konkreten Falles.  
Ein solcher Unterrichtsverlauf weicht stärker von den hier vorgeschlagenen Unterrichtsabschnitten ab. Der erste Teil des Unterrichts würde dann beginnen mit der Ausgangssituation des Falles (vgl. 3.1), dann einige einführende Informationen zu gesundheitlichen Schäden von Lärm in Bezug auf diesen Fall bringen (5), anschließend erste gesetzliche Bestimmungen zu diesem speziellen Fall behandeln (6), dann eine knappe Einführung in die Lärmmessung geben (4), danach wichtige Informationen über die zuständigen Institutionen behandeln (6) und schließlich mögliche technische Maßnahmen untersuchen (7). Der darauf folgende Unterricht würde der Abrundung und Zusammenfassung wichtiger Kenntnisse aus allen Bereichen dienen, die in diesem speziellen Fall nicht behandelt wurden.

### 3. Lehrertexte zu einigen wichtigen Teilproblemen

#### 3.1 Beispiele für Lärmkonflikte

Lärmkonfliktfälle sind die Testsituationen für unser Wissen über Lärm. Im Unterricht können sie daher an fast allen Stellen als Ausgangspunkt oder als Anwendungsbeispiel auftreten. Von besonderer Bedeutung sind sie für die Simulationsrollenspiele (vgl. 2.3) sowie für Unterrichtsabschnitte 4.1 und 4.6.

Neben den im Schülerheft bereits enthaltenen drei „Fällen“ (S. 2, S. 46–47, S. 48) werden daher hier noch weitere 5 Fälle wiedergegeben.

Die folgende Tabelle soll eine Übersicht geben:

Nr.	Fall	Lärmbereich	Besondere Aspekte und Einsatzmöglichkeiten
1	„Lärmbelästigung menschenunwürdig“ Schülerheft, S. 2	Verkehrslärm	Aktivwerden der Betroffenen Konkrete Angaben über Verkehrsdichte und andere, vielfältige Belastungen Lösungsmöglichkeiten
2	Lagerhausgesellschaft Schülerheft, S. 46–47	Arbeitslärm in der Nachbarschaft	Briefwechsel beteiligter Institutionen, Messungen, Richtwert Maßnahmen, „Stand der Technik“
3	Disco-Lärm Schülerheft, S. 48	Arbeitslärm (gewerblicher Lärm) in der Nachbarschaft	Aktivwerden der Betroffenen Gerichtsentscheidung
4	Flaschencontainer  3.1	Arbeitslärm (gewerblicher Lärm) in der Nachbarschaft	Aktivwerden der Betroffenen Belastungs-, „Fakten“ Rechtfertigung des „Verursachers“ technische Lärmschutzmaßnahmen „an der Quelle“
5	Tischlerei  3.1	Arbeitslärm	Gehörprüfung, Sicherheitsbeauftragter, Berufsgenossenschaft Messungen (Beurteilungspegel $\approx$ Mittelungspegel über acht Stunden) Auflagen, Maßnahmen a) An der Quelle (andere Zahnung der Säge) b) Trennwand im Arbeitsraum

6	Theodor-Heuss-Allee	Verkehrslärm	Aktivwerden der Betroffenen Maßnahmen Belastungsfakten Messungen – Richtwert
	3.1		
7	Kranbetrieb	Arbeitslärm in der Nachbarschaft	Einzelinitiative Gewerbeaufsichtsamt, Messungen, Richtwerte Landgericht (1. Instanz) Oberlandesgericht (2. Instanz) Probleme für die Firma
	3.1		
8	Brotfabrik	Arbeitslärm in der Nachbarschaft	Aktivwerden der Betroffenen Maßnahmen zur Lärminderung Stadtteilbeirat (Gemeinderat)
	3.1		

## Drei Reale Fälle

### 1. Fall: Arbeitslärm in der Nachbarschaft

Anwohner beschwerten sich über die **Aufstellung eines Flaschencontainers** beim Ministerium für den Umweltschutz. Das Ministerium übernimmt die Beschwerde anstelle des Gewerbeaufsichtsamtes, welches eigentlich zuständig wäre, da es sich um eine gewerbliche Anlage handelt.

Folgende Fakten sind in der Beschwerde enthalten:

- a) Ruhestörung tags und nachts sowie an Sonn- und Feiertagen;
- b) um den Flaschencontainer herum wimmelt es von zerbrochenen Flaschen;
- c) der Lärm ist angeblich gesundheitsschädigend und grenzt an Körperverletzung;
- d) der Behälter soll woanders aufgestellt werden.

Das Ministerium leitete die Beschwerde an das Rote Kreuz (Aufsteller) weiter, welches die Aufstellung der Container wie folgt begründete:

- a) dem Staat werden Kosten für die Müllbeseitigung erspart;
- b) den Familien wird ein Gefallen getan, da sie ihr Altglas leicht beseitigen können;
- c) eine zusätzliche Umweltverschmutzung durch Glas wird verhindert;
- d) Rohstoffe werden für eine erneute Produktion zur Verfügung gestellt;
- e) der Aufstellungsort ist sehr günstig. Es bestehen Schwierigkeiten, einen günstigeren oder gleichwertigen zu finden.

Da aber erneut Beschwerden auftraten, hat das Rote Kreuz von sich aus Schallschutzmaßnahmen durch Fachleute durchführen lassen. Hierbei wurden die Glascontainer von innen mit elastischen Stoffen ausgekleidet und nur durch eine kleine Öffnung zugänglich gemacht. Diese Schallschutzmaßnahmen an der Lärmquelle reduzierten den entstehenden Lärm erheblich, womit der Fall abgeschlossen war.

## **2. Fall: Arbeitslärm**

In der Tischlerei eines großen Betriebes befinden sich 15 Mitarbeiter. Als Maschinen sind dort Kreissägen und Fräsen aufgestellt. Es sind vom Sicherheitsbeauftragten dort Lärmbereiche eingerichtet worden, indem die Arbeitsbänke von den Maschinen getrennt aufgestellt wurden. Ebenfalls fand eine Gehörprüfung auf Veranlassung des Sicherheitsbeauftragten statt, die ergab, daß zwei Arbeiter einen Gehörschaden hatten. Der Fall ging zur Berufsgenossenschaft, die Messungen durchführen ließ. Diese Messungen ergaben einen mittleren Beurteilungspegel von 95 dB(A).

Die Berufsgenossenschaft machte Auflagen, wie dieser Beurteilungspegel zu reduzieren sei. Durch eine andere Zahnung der Sägeblätter ergab sich nur eine geringe Minderung um 5,6 dB(A). Da keine weiteren Maßnahmen an der Quelle durchgeführt werden konnten, wurde in der Halle eine Wand eingezogen und so der Bankraum vom Maschinenraum getrennt. Weil die Arbeiter nicht ständig im Maschinenraum arbeiten mußten, entstand ein Beurteilungspegel von 85 dB(A). Dieser Beurteilungspegel setzt sich aus den Pegeln des Bankraumes und des Maschinenraumes zusammen. Die Geräusche im Bankraum lagen zwischen 70 und 80 dB(A), im Maschinenraum immer noch bei 100–110 dB(A). Wenn die Arbeiter im Maschinenraum tätig sind, müssen sie deshalb persönliche Schallschutzmittel verwenden.

## **3. Fall: Verkehrslärm**

Von den Anwohnern der Theodor-Heuss-Allee wurde eine Beschwerde über Verkehrslärm beim Umweltministerium abgegeben.

Trotz Isolierverglasung und teilweise auch Doppelfenster treten erhebliche Geräusche – bedingt durch das starke Verkehrsaufkommen – auf.

Die Anzahl der Fahrzeuge, die von 10.30 bis 11.30 (also nicht einmal während der Hauptverkehrszeit) die oben genannte Straße allein in einer Richtung befahren, beträgt:

- 169 Personenkraftwagen,
- 39 Lastkraftwagen,
- 35 Lieferwagen,
- 13 Busse.

Um den Fall zu klären, muß eine Messung durchgeführt werden. Das Umweltministerium hätte nun zwar eine Messung in Auftrag geben können, leitete aber den Fall (die Beschwerde) an das Amt für Straßenbau weiter. Dieses Amt hatte bereits eine Messung durchführen lassen und teilte daraufhin dem Umweltministerium und den Betroffenen mit, daß der entsprechende Richtwert von 75 dB(A) nicht überschritten ist. Die Messungen hatten Werte von 64–69 dB(A) ergeben. Es mußten also keine Schallschutzmaßnahmen durchgeführt werden. Solche Schallschutzmaßnahmen zur Verminderung des Verkehrslärmes sind besonders kostspielig.

## Zwei Fälle aus verschiedenen Zeitungen

Sie stammen aus den Jahren 1977 bis 1979 und sollten im Unterricht möglichst durch aktuellere Zeitungsausschnitte ersetzt werden.

# Fabrik will den Lärm weitgehend eindämmen

## Beschwerden der Anwohner hatten Erfolg

**Beschwerden von Anwohnern über den von einer Brotfabrik an der Taubenstraße ausgehenden Lärm hatten jetzt Erfolg. Wie sich die Mitglieder des Stadtteilbeirates Östliche Vorstadt während einer Ortsbegehung überzeugen konnten, traf die Betriebsleitung Maßnahmen zur Eindämmung des Lärmes. So erhielt beispielsweise die Verladestraße eine lärmisolerierende Überdachung und die Brotkarren eine Spezialausrüstung, so daß künftig bei der Anlieferung der Waren keinesfalls mehr der bisher übliche Lärm verursacht werden soll.**

Wie ein Sprecher der Firmenleitung den Kommunalpolitikern versicherte, erhält die Verladestraße außerdem in absehbarer Zeit eine Asphaltdecke, so daß bald kein Grund mehr bestehe, über die Geräusche beim Fahren über das jetzt noch bestehende Holperpflaster zu klagen.

Auch die Schüler und das Lehrerkollegium der Schule an der Schmidtstraße können aufatmen. Der Unterricht wird künftig nicht mehr durch ratternde Lastwagen gestört werden, denn die Anlieferung von Waren für die Brotfabrik wurde in die unterrichtsfreie Zeit verlegt.

Die Kommunalpolitiker aus der Östlichen Vorstadt hatten sich zu der Ortsbegehung entschlossen, weil sie an Ort und Stelle an einem Beispiel einmal testen wollten, wie gut sich Wohnen und Betreiben von Gewerbe miteinander „vertragen“.

Durch die von der Firmenleitung eingeleiteten Maßnahmen ist eine eventuelle Verlegung der seit 1883 im Steintorviertel ansässigen Brotfabrik überflüssig geworden. Darüber waren sich die Beiratsmitglieder einig. Hinzu komme, so erklärte Claus Karting (SPD), daß unter den mehr als hundert Beschäftigten zahlreiche Anwohner des Steintorgebietes seien, die dort einen Arbeitsplatz gefunden hätten. Etwaigen Befürchtungen, daß eine Ausweitung der Produktionsanlagen geplant sei, traut der Firmenvertreter entgegen. Eine Vergrößerung des Betriebes sei nicht vorgesehen.

-neu-

Bremer Nachrichten, 11.10.1977

# Gericht: Kranbetrieb ist ein Fremdkörper

## Bremerin erstritt ruhige Nächte / Auflagen für Firma

Mit Nachbarschaftsstreitereien mußte sich das Hanseatische Oberlandesgericht als zweite Instanz auseinandersetzen. Seit Jahren lag eine Bremerin aus Gröpelingen mit ihrem lautstarken Nachbarn, der neben ihrem Grundstück einen Kranverleih betreibt, in ständiger Hader. Nun erreichte sie ihr Ziel bei den höchsten Richtern der Hansestadt, die der beklagten Firma auferlegten, die Anwohnerin in ihrem Besitz nicht länger durch Geräusche zu stören, die den allgemeinen Lärmpegel der Gegend überschreiten. Andernfalls hat der „Krachmacher“, der zum Schluß des Streites auch noch die Kosten tragen muß, mit einem Ordnungsgeld zu rechnen.

Zunächst war es das Gewerbeaufsichtsamt, das im Februar 1976 Beschwerden aus der Nachbarschaft des Kranvermietungsbetriebes nachgegangen war. Damals hatte es festgestellt, daß die Geräusche, die von dem Betrieb ausgingen, die zulässigen Lärmrichtwerte für dieses „Mischgebiet“ erheblich überschritten. Es forderte die Firmeninhaber auf, den Krach auf ihrem Gelände einzuschränken und durch ein Gutachten nachzuweisen, daß die erforderlichen Maßnahmen den notwendigen Schallschutz auch tatsächlich erbrächten. Zusätzlich wurde den Kranverleihern verboten, ihre Fahrzeuge auch nachts laufen zu lassen.

Doch nichts geschah. Immer wieder fuhr die unmittelbar benachbarte Klägerin aus ihrem Schlaf, wenn sich große Kräne bei einem abendlichen Probelauf ihr Stelldichein gaben, ihre Ladearme hin und her schwenkten, repariert, geschweißt oder für den Transport fertig gemacht wurden. Nun fühlte sich die Frau derart belästigt, daß sie vor den Kadi zog, samt der übrigen, ihre Beschwerden bestätigenden Nachbarn.

Das Landgericht tat ihre Klage aber mit der Begründung ab, daß die Beeinträchtigungen „ortsüblich“ seien. Das konnte die Klägerin indes nicht glauben. Mit Erfolg. An Ort und Stelle überzeugte sich der Senat des Oberlandesgerichts, daß die Klägerin in einer Gegend wohnt, die überwiegend von Wohnhäusern, Gärten und ausgedehnten Grünanlagen geprägt ist. Eine kleine Tischlerei, die ein Mieter der Klägerin betreibt und eine Schrotthandlung in der Nähe — im Gegensatz zur beklagten Firma mit einer Schallschutzmauer versehen — kämen an den Lärm des anderen Unternehmens bei weitem nicht heran, stellten die Richter fest. Sie meinten, daß nach dem Charakter des Gebietes der Kranbetrieb ein in ein Wohngebiet hineingekehrter Fremdkörper sei.

Kurz und bündig wurde die „umweltfeindliche“ Firma dazu verurteilt, die Richtwerte von 60 dB (A) tagsüber und 45 dB (A) des Nachts nicht mehr zu überschreiten, vor allem

was das Anlassen und Abfahren von Lastwagenmotoren, Verladearbeiten, das Ausschwenken der Ladearme von Kranwagen sowie die Reparaturarbeiten an Lastwagen angehe. Von 22 Uhr bis 6 Uhr früh darf das beklagte Unternehmen seine Kräne in der Nähe des Grundstücks der Klägerin überhaupt nicht mehr laufen lassen, weder auf dem Betriebshof, noch auf der Straße davor. Auch die Benutzung einer Telefonverstärkeranlage ist künftig zu unterlassen, und auf lärmfreie Wochenenden von Sonnabendmittag an kann sich nun die erfolgreiche Klägerin zusätzlich freuen.

\*

Wie diese Auflagen von der Firma zu erfüllen sind — darüber schwiegen sich die Richter freilich aus. Der Inhaber des Betriebes teilte mit, daß dieses Urteil, dem er von heute auf morgen folgen muß, obwohl das Landgericht genau gegenteilig entschieden hatte, eine Stilllegung des Unternehmens bedeute. Da weder die Straße noch das Betriebsgelände benutzt werden dürften, sei eine Weiterarbeit unmöglich.

Zwar war der Firmeninhaber guten Willens gewesen, eine Halle zum Schallschutz einzurichten, jedoch war ihm eine diesbezügliche Voranfrage beim Bauordnungsamt rundweg abgelehnt worden. „Hier beißt sich die Katze in den Schwanz, denn ohne Halle können wir nicht leiser arbeiten“, meinte der Chef der Firma. Wollte er dem Urteil entsprechen, müßte er konsequenterweise seine acht Angestellten entlassen und könnte seine Aufträge nicht mehr erfüllen. So verstößt die Firma im Augenblick täglich wieder gegen den Richterspruch, um nicht „wirtschaftliches Harakiri“ zu begehen. Da auch ein Vollstreckungsschutz nicht ewig dauern kann, ist man auf der Suche nach einem geeigneteren Gelände, um den Betrieb dahin zu verlegen. cma

Weser-Kurier, Bremen, 14.8.1979

## Weitere Beispiele von Zeitungsartikel-Überschriften

- Nicht genug Lärm für Schutzwände  
(aus Bundesmitteln keine Maßnahmen an der B 74, Grenzwert: 75 Dezibel).
- Lärmabgabe beim Auto-Neukauf?  
(FDP diskutierte über Umweltschutz)
- Lärmschutzeinrichtungen sind ungenügend  
(erste Anfechtungsklagen gegen Projekt Daimler-Benz vor dem Verwaltungsgericht)
- FDP verhinderte Lärmschutzgesetz  
(Koalitionsstreit im Bundestag, Länder stoppten Vorhaben)
- Den Fluglärm noch nicht fest im Griff  
(Geräuschpegel der Maschinen wesentlich gesenkt, leisere Triebwerke, Wettersituation wichtig)
- Noch immer zu viel Lärm  
(Beirat besuchte Betonfabrik)
- Zum Lärm nun auch noch höhere Mieten  
(Bewohner des Demonstrationsbauvorhabens Osterholz-Tenever verärgert)
- Wände prägen das Landschaftsbild  
(Lärmschutz ist an zahlreichen neuen Verkehrsstraßen erforderlich)
- Kapitulation vor lärmenden Phantoms: 2 Dorfgemeinden verlieren den Kampf gegen die Düsenjäger  
(Massenumsiedlung aller Bewohner eingeleitet)
- Drohender Lärm aus der Luft stört Helgolands Inselfrieden  
(Lotsenwunsch nach Hubschrauberstation stößt auf Widerstand)
- Beirat fordert Tempolimit auf der Autobahn  
(als erste Lärmschutzmaßnahmen, Empörung über „Verwässerung“ des Lärmschutzes)
- Wieviel Kinderlärm erlaubt das Gesetz?  
(Kinder brauchen Lärm, Erwachsene leiden darunter).

## 3.2 Der Schallpegel L – gemessen in dB(A)

Die **Ausbreitung des Schalls durch die Luft** kann man sich als eine Longitudinalwelle vorstellen. Ist ein System von Schwingern (Oszillatoren) vorhanden, die miteinander gekoppelt sind, so daß sie nacheinander in Schwingung geraten, so kann sich eine Welle ausbilden und ausbreiten. Was sich also fortpflanzt, ist der **Schwingungszustand**, der einzelne Schwinger bleibt – bis auf Hin- und Herbewegungen – an seinem Ort. Was aber ist dieser Schwinger bei einer Schallwelle? Die Vorstellung von einzelnen Luftmolekülen als Schwinger bringt uns in zweierlei Schwierigkeiten: Die Wärmebewegung wäre der Schwingungsbewegung überlagert und die Frage nach den Kopplungskräften zwischen den Luftmolekülen wäre schwierig zu beantworten.

Die folgende kleine Rechnung zeigt, daß man sich als **Schwinger kleine Luftvolumina** vorstellen kann, die immer noch aus sehr **vielen Luftmolekülen** bestehen, so daß deren ungeordnete Molekularbewegung sich gegenseitig aufhebt.

**Rechnung:** Für eine Frequenz  $f$  von 1000 Hz beträgt die Wellenlänge  $\lambda$  nach  $f \cdot \lambda = c \approx 300$  m/s etwa 30 cm. Teilt man sie (in Gedanken) in 30 Teile, so hat man Schwinger von etwa  $1 \text{ cm}^3$ , diese haben eine Masse von etwa 0,001 g, also etwa  $10^{-8}$  kg-Mol. Sie enthalten also etwa  $10^{23} \cdot 10^{-8} = 10^{15} = 1\,000\,000\,000\,000\,000$  Luftmoleküle. Wenn man an die ganz gut funk-

tionierenden Modellgase mit etwa 1000 Glaskugeln denkt, so ist einleuchtend, daß diese kleinen Luftvolumina ohne Probleme als homogen betrachtet werden können. – Dies wird auch dadurch unterstützt, daß die freie Weglänge der Moleküle etwa  $10^{-7}$  m ist. Daraus folgt nämlich, daß ein Molekül „niemals“ direkt aus einem solchen „kleinen Luftvolumen“ herausfliegen kann.

Zur Beschreibung der Ausbreitung einer Schallwelle können folgende Größen verwendet werden<sup>1)</sup>:

- Der Schallausschlag  $y$  (auch Elongation genannt)  
Er gibt den jeweiligen Abstand des Schwingers (Luftvolumens) von seiner Ruhelage an.
  - Die Schallschnelle  $v$ . Sie gibt die Momentangeschwindigkeit des Schwingers an.
  - Der Schalldruck  $p$ . Er ist die **Abweichung** des Luftdrucks vom Normaldruck infolge der durch die Schwingungen hervorgerufenen Volumenänderungen (Über- bzw. Unterdruck).  
(Im Schülerheft wird durch die Dichte der Punktierung dieser Schalldruck veranschaulicht.)
- Für alle diese Größen gelten Wellengleichungen, die ihren Wert an einer bestimmten Stelle  $x$  zu einer bestimmten Zeit  $t$  angeben, z. B.

$$p = \hat{p} \cdot \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right); \quad \hat{p}: \text{Schalldruckamplitude}$$

d. h. nach der Zeit  $T$  (Schwingungsdauer) bzw. nach der Strecke  $\lambda$  (Wellenlänge) wiederholt sich jeweils derselbe Vorgang, da  $\sin \alpha = \sin \alpha + 2\pi$  ist.

Die Schalldruckamplitude ergibt sich einerseits aus der Amplitude  $\hat{y}$  des Schallausschlages ( $\hat{p} \sim \hat{y}$ ), andererseits aus der Trägheit der angrenzenden Luftschicht. Diese bildet den „Widerstand“, gegen den sich überhaupt ein zusätzlicher Druck ergeben kann ( $\hat{p} \sim f \cdot \rho$ ,  $f$  = Frequenz,  $\rho$  = Dichte des Ausbreitungsmediums). Es gilt die Formel

$$\hat{p} = 2\pi f \cdot \rho \cdot \hat{y} \cdot c; \quad c = \text{Schallgeschwindigkeit,}$$

in die  $c$  als Maß für die „Schallhärte“ des Mediums eingeht. Wichtig für das folgende ist, daß  $\hat{p}$  proportional zur Frequenz  $f$  und zur Amplitude  $\hat{y}$  ist. Für  $\hat{p} \sim \hat{y}$  ist das sofort einleuchtend: Größere Auslenkung bedeutet größere Kompression. Für  $\hat{p} \sim f$  kann man sich vorstellen, daß bei schnelleren (Erreger-) Schwingungen das angrenzende Medium aufgrund seiner Trägheit einen größeren (Gegen-) Druck erzeugt.

Der Schalldruck ist entscheidend für die Wirkung der **Mikrofone**. Er wird daher in der Lärm-Meßtechnik als Bezugsgröße bevorzugt. Für die Definition des Schallpegels  $L$  wurde jedoch die **Schallintensität  $J$**  zugrundegelegt.

Die Schallintensität  $J$  ist eine Energiegröße. Sie gibt die durch eine Fläche  $A$  in einer bestimmten Zeit  $t$  fließende Schallenergie  $E$  (also die Schalleistung pro Fläche) an:

$$J \stackrel{\text{def}}{=} \frac{E}{A \cdot t}$$

Die Schallenergie liegt je nach Schwingungszustand als potentielle Energie (Über- oder Unterdruck) oder als kinetische Energie (Schallschnelle) vor. Das menschliche Ohr kann Töne mit einer Schallintensität  $J_0 = 10^{-16} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$  gerade noch wahrnehmen. Die Schmerzgrenze wird bei etwa  $10^{-3} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2}$  erreicht, also einem  $10^{13}$  mal größeren Wert. Wegen der umständlichen Rechnung mit so weitstreuenden Werten und den logarithmischen Eigenschaften des Ohres (Weber-Fechnersches Gesetz) wurde der **Schallpegel  $L$**  (auch Schalldruckpegel  $L$  oder Schallstärkepegel genannt) definiert:

1) vgl. Borucki, S. 116 ff.

$$L = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0} \text{ dB} \quad J_0 = 10^{-16} \frac{\text{Watt}}{\text{cm}^2} = 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

Eine Verzehnfachung der Intensität bewirkt eine Zunahme des Logarithmus um 1, also eine Zunahme um 10 dB.

Es gilt nun der folgende allgemeine Zusammenhang zwischen der Schallintensität  $J$  und der Schalldruckamplitude  $\hat{p}$ :

$$J = \frac{1}{2} \frac{\hat{p}^2}{\rho \cdot c}, \text{ also } J \sim \hat{p}^2$$

Bei maximalem Druck ( $\hat{p}$ ) ist die Schallschnelle  $v$  gerade null, die gesamte Energie liegt also als **potentielle** Energie vor. Sie ist ähnlich wie bei einer Feder proportional zum **Amplitudenquadrat** des Druckes, da sowohl der zurückgelegte Weg als auch der Druck (und damit die Kraft) mit der Amplitude steigen. In dieser Formel steckt auch eine Abhängigkeit der Intensität  $J$  von der Frequenz  $f$ , da  $\hat{p} \sim f \cdot \hat{y}$  ist (vgl. oben).

Daraus folgt:

$$L = 20 \cdot \lg \frac{\hat{p}}{\hat{p}_0} \text{ dB}, \quad \hat{p}_0 = \text{Schalldruckamplitude der Hörschwelle} = 0,0002 \mu \text{ bar}$$

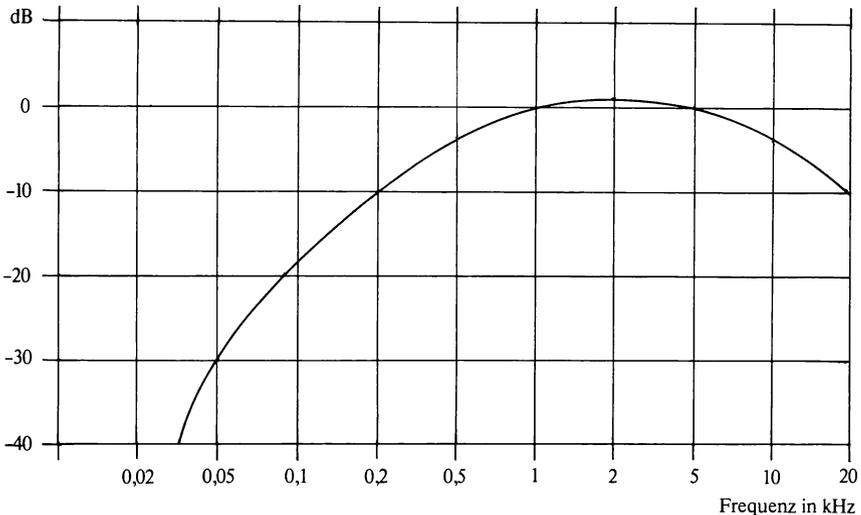
(Begründung:  $\lg \hat{p}^2 = 2 \lg \hat{p}$ !)

Zur Veranschaulichung dient folgende Tabelle (nach Borucki, 1980, S. 119 und 123):

L in dB	J/J <sub>0</sub>	$\hat{p}/\hat{p}_0$
0	1:1	1:1
3	2:1	1,41:1
5	3,16:1	1,78:1
6	4:1	2:1
10	10:1	3,16:1
20	100:1	10:1
30	1000:1	31,6:1
40	10 000:1	100:1

Eine Zunahme **um 3 dB** bedeutet also eine **Verdopplung der Intensität** (z. B. zwei gleiche Schallquellen!), eine Zunahme **um 6 dB** eine **Verdopplung der (Druck-) Amplitude** (z. B. gemessen mit Oszillograph und Mikrofon!), eine Zunahme **um 10 dB** bedeutet nach entsprechenden Untersuchungen mit Versuchspersonen etwa eine **Verdopplung der subjektiv empfundenen Lautheit**.

Das **menschliche Gehör** ist jedoch nicht für alle Frequenzen gleich empfindlich. Um den Schallpegel an das menschliche Hörempfinden anzupassen, geht man zu einem sogenannten „bewerteten Schallpegel“ über. Dieser entsteht dadurch, daß man abhängig von der Frequenz den gemessenen Schallpegel um einen bestimmten Wert verringert. Technisch wird dies durch einen Filter realisiert, der zwischen Mikrofon und Verstärker des Meßgerätes geschaltet wird. Am gebräuchlichsten ist der Filter A, dem folgende Bewertungskurve zugrundeliegt:



So gemessene Schallpegelwerte werden in dB(A) angegeben.

### 3.3 Der Mittelungspegel $L_m$

In der Praxis ergibt sich aufgrund der gesetzlichen Bestimmungen und Richtwerte meist das Problem, daß aus den gemessenen Werten ein sogenannter **Mittelungspegel  $L_m$**  bestimmt werden muß. Auf einer logarithmischen Skala ist aber eine einfache arithmetische Mittelung nicht korrekt.

Man habe etwa in gleichen Zeitabständen an einer Straße die Schallpegelmeßwerte  $L_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) gemessen. Diese entsprechen dann den Intensitäten

$$I_i = I_0 \cdot 10^{0,1 \cdot L_i}.$$

(Das ergibt sich aus der Umkehrung der Definition von  $L$ , siehe oben).

Man wird nun zunächst das arithmetische Mittel der Intensitäten bilden

$$\bar{I} = I_0 \cdot \left( \frac{1}{n} \sum_i 10^{0,1 \cdot L_i} \right),$$

um daraus den mittleren Schallpegel zu ermitteln:

$$L_m = 10 \cdot \lg \frac{\bar{I}}{I_0} \text{ dB(A)}$$

$$L_m = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{n} \sum_i 10^{0,1 L_i} \right).$$

Da eine solche Mittelung sicher nicht von den Schülern durchgeführt werden kann, muß man im Unterricht auf eine arithmetische Mittelung der Schallpegelmeßwerte zurückgreifen:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum L_i.$$

Dann gilt immer folgende hilfreiche Abschätzung

$$\boxed{L_{\min} \leq \bar{L} \leq L_m \leq L_{\max}} \quad 1)$$

Der richtige Mittelwert  $L_m$  der Schallpegelwerte ist also immer **größer** als das arithmetische Mittel  $\bar{L}$ . Wenn der Schwankungsbereich der Meßwerte kleiner als 10 dB ist, gibt es zur näherungsweise Berechnung des Mittelungspegels die Faustregel, daß der Mittelungspegel etwa ein Drittel der Schwankungsbreite unter dem Maximalwert liegt:

$$\boxed{L_m \approx L_{\max} - \frac{1}{3} (L_{\max} - L_{\min})}$$

Falls sich die Meßwerte im oberen oder unteren Teil des Schwankungsbereichs häufen, ist der Wert entsprechend zu korrigieren (VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1).

**Die praktische Berechnung des Mittelungspegels** erfolgt mit Hilfe von **Gewichtszahlen**, die sich als Vielfaches der Logarithmen ergeben.

Bei der folgenden Berechnung gehen wir davon aus, daß die einzelnen Werte in gleichen Zeitabständen gemessen wurden. (Andernfalls müßte eine Gewichtung mit der jeweiligen Zeitdauer erfolgen.)

#### Gewichtszahlen (Tafel)<sup>2)</sup>

$\Delta L_i$ in dB(A)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$g_i$	1	1,3	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10	13

Es gilt allgemein:  $L_i = L_0 + \Delta L_i$

$L_m = L_0 + \Delta L_m$ ,  $\Delta L_m$  ergibt sich mit  $\bar{g}$  aus der Tafel,

$$\bar{g} = \frac{\sum g_i}{n}$$

Zur praktischen Berechnung wählt man ein passendes  $L_0$ , welches kleiner als alle gemessenen Werte ist. Dann bestimmt man zu jedem gemessenen Wert  $L_i$  die Differenz  $\Delta L_i$ , liest den dazu gehörigen  $g_i$ -Wert aus der Tabelle ab, mittelt die Gewichtszahlen arithmetisch, erhält dadurch  $\bar{g}$  und  $\Delta L_m$  (wieder aus der Tafel) und damit schließlich  $L_m$ .

1) Die Ungleichung  $L_m \geq \bar{L}$  kann man darauf zurückführen, daß das arithmetische Mittel von  $n$  positiven Zahlen immer größer ist als das geometrische (Beweis z. B. in: Polya-Szegö, Aufgaben und Lehrsätze der Analysis I, S. 50).

2) (vgl. VDI 2058, Blatt 1, Anhang D).

**Beispiel (Schülerheft S. 14)**  $L_0 = 85 \text{ dB(A)}$

$L_i$ in dB(A)	87	85	93	95	95	88	88	85	93	95
$\Delta L_i$	2	0	8	10	10	3	3	0	8	10
$g_i$	1,6	1	6,3	10	10	2	2	1	6,3	10

$$\Sigma g_i = 1,6 + 1 + 6,3 + 10 + 10 + 2 + 2 + 1 + 6,3 + 10 = 50,2$$

$$\bar{g} = \frac{50,2}{10} = 5,02$$

$$\Delta L_m = 7$$

$$\underline{L_m} = 85 + 7 = \underline{92 \text{ dB(A)}}$$

zum Vergleich:  
 $\bar{L} = 90,4 \text{ dB(A)}$

Wenn der Lehrer nach dieser Methode selbst einen Mittelungspegel z. B. von Geräuschen auf der **Lärm-Cassette** bestimmen will, so sind folgende Schritte nötig:

1. Messung des Schallpegels in festen Zeitabständen, z. B. alle 10 s (vgl. Abschnitt 2.5);
2. Anlegen einer Tabelle der Meßwerte, der zugehörigen  $\Delta L_i$ -Werte und der  $g_i$ -Werte wie in dem obigen Beispiel;
3. Berechnung des Mittelungspegels nach der oben angegebenen Methode.

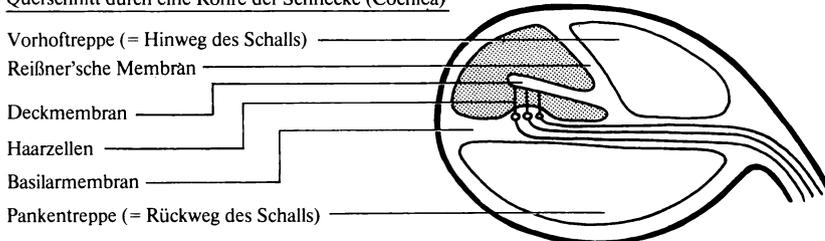
## 3.4 Biologisch-medizinische Grundlagen

### 3.4.1 Der Hörvorgang

Der Schall gelangt in Form von Luftschwingungen (Welle) durch das **Außenohr** zum Trommelfell. Dessen Schwingungen werden im **Mittelohr** durch ein System von kleinen Knöchelchen (Hammer, Amboß, Steigbügel) so auf den Eingang des **Innenohres** (Schnecke), das sog. ovale Fenster, übertragen, daß die Schwingungsamplitude etwa 2 bis 3 mal verkleinert, die **Kraft** jedoch entsprechend **verstärkt** wird (Hebelwirkung). Eine weitere, sogar 15 bis 30-fache Verstärkung ergibt sich dadurch, daß das ovale Fenster etwa 15 bis 30 mal kleiner ist als das Trommelfell. Diese Verstärkung ist notwendig, um die **Flüssigkeit** im Innenohr mit ihrer größeren Masse in Schwingungen zu versetzen (Widerstandsanpassung).

Das **ovale Fenster**, mit dem der Steigbügel fest verbunden ist, bildet also die Eingangsmembran für die mit Flüssigkeit gefüllte Röhre des Innenohres, welche am **runden Fenster** endet. In dieser Röhre sitzen die **Haarzellen** (= Hörsinneszellen) auf der Basalmembran.

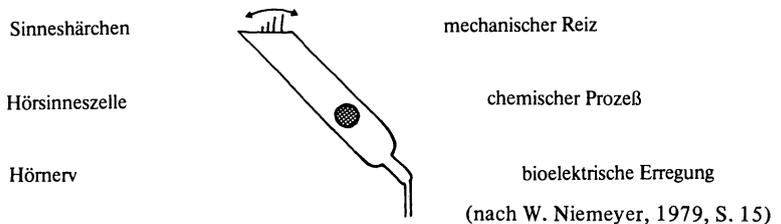
Querschnitt durch eine Röhre der Schnecke (Cochlea)



Durch die in der Vorhof- und Paukentreppe laufende Wellenbewegung können Deckmembran und Basilarmembran gegeneinander in Schwingungsbewegungen versetzt werden. „Diese Scherbewegungen wiederum biegen die Härchen der Hörsinneszellen hin und her. So empfängt die Hörsinneszelle die mechanische Schallenergie“ (W. Niemeyer, 1979, S. 13).

Die Hörsinneszellen reagieren darauf mit elektrochemischen Vorgängen, zu denen sie Sauerstoff und Glucose brauchen. Die entstehenden elektrischen Impulse werden durch die Hörnerven an das Gehirn weitergeleitet.

Die **Haarzellen (Hörsinneszellen)** sind also grob mit einem **Mikrofon** zu vergleichen, brauchen allerdings für die Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie laufend Nachschub an Sauerstoff und Glucose. Dies ist für die Entstehung der Lärmschwerhörigkeit von großer Bedeutung.



Der Aufbau des Schallkanals in der Schnecke (vgl. oben) aus verschiedenen Trennwänden und Wulsten ist wichtig für das Entstehen eines frequenzspezifischen Höreindrucks. Auf die Frage, wie der Mensch hohe und tiefe Töne unterscheiden kann, ist man von früheren Resonanztheorien (ähnlich dem Zungenfrequenzmesser) durch die Forschungen des ungarisch-amerikanischen Biophysikers Georg von Békésy zu einer **Wanderwellentheorie** gekommen. Seine Vorstellung besagt, daß die durch die Röhren laufenden Wellen **je nach ihrer Frequenz an einer anderen Stelle der Röhre ihr Amplitudenmaximum** besitzen. Die dort sitzenden Hörsinneszellen zeigen dann die entsprechende Frequenz an. (Vergleiche dazu das farbige LIFE-Bildsachbuch „Schall und Gehör“ mit sehr guten Abbildungen, rororo, 1977).

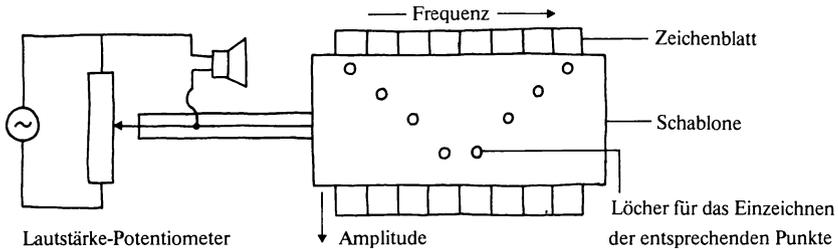
### 3.4.2 Entstehung der Lärmschwerhörigkeit

Die Entstehung einer Schwerhörigkeit durch langen, starken Schall (Lärmschwerhörigkeit) ist so zu erklären, daß Haarzellen durch den zur Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie notwendigen Stoffwechselprozeß erschöpft werden (vorübergehende Hörminderung) und schließlich absterben (dauernde Hörminderung). Bei diesem Stoffwechselprozeß müssen durch das Blut laufend Sauerstoff und Glucose nachgeliefert und entstehende Verbrennungsprodukte abtransportiert werden. Bei zu starker Lärmbelastung kommt es insbesondere durch Sauerstoffmangel zunächst zu einem Anschwellen des Zellkerns und schließlich zum Absterben. **Eine einmal zugrunde gegangene Hörsinneszelle bleibt lebenslang ausgefallen, Lärmschwerhörigkeit ist also nicht heilbar.**

Durch die Wanderwellentheorie (vgl. 3.4.1) kann man erklären, warum bei der Lärmschwerhörigkeit immer zuerst die oberen Frequenzen ausfallen (sogenannte **C<sup>5</sup>-Senke bei etwa 4000 Hz** im Audiogramm). Da die Wellen mit hoher Frequenz am **Anfang** der Basilarmembran ihr Amplitudenmaximum besitzen, werden die hier sitzenden Haarzellen sowohl von hohen als auch von tiefen Tönen beansprucht, während zu den Haarzellen für tiefe Töne am Ende der Basilarmembran nur die Wellen von tiefen Tönen gelangen.

### 3.4.3 Audiogramm, Nachweis der Lärmschwerhörigkeit, Begutachtung

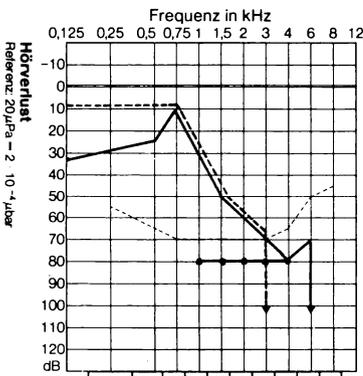
Bei technischen Audiometern wird es so eingerichtet, daß normales Hören einer waagerechten Geraden im Audiogramm (Hörverlust OdB) entspricht (vgl. Abb. unten). Dies erreicht man z.B. dadurch, daß der Schieber für das „Hochfahren“ der Lautstärke bis zu der vom Patienten angezeigten Hörschwelle mit einer Schablone verbunden ist:



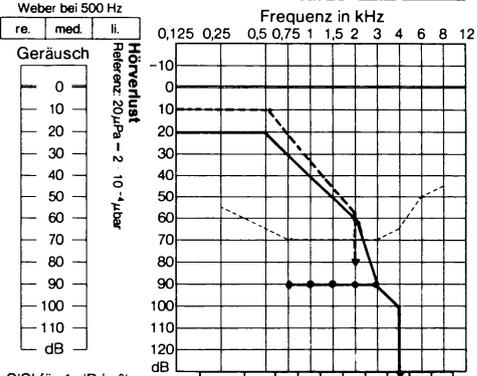
Die vergleichsweise große Amplitude zur Erreichung der Hörschwelle bei tiefen und hohen Frequenzen (Schieber weit nach unten) führt durch die höher liegenden Markierungslöcher bei diesen Frequenzen zu Audiogramm-Meßpunkten, die auf derselben Höhe liegen wie bei mittleren Frequenzen (kleine Amplituden, Schieber weiter oben, Löcher tiefer). Auf den Audiogrammen in der ärztlichen Praxis werden nun Informationen aus verschiedenen Gehörprüfungsverfahren zusammengetragen.

**Dr. med. H.-A. Kluger**  
 Facharzt für  
 Hals, Nasen, Ohren  
 Sebaldsbrücker Heerstr. 115 A  
 2800 BREMEN 44  
 Telefon 0421/4533 14

		<b>Datum:</b> _____						
		<b>Prüfer:</b> _____						
<b>Name:</b> _____	<b>Vorname:</b> _____							
<b>Beruf:</b> _____	<table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; height: 15px;"></td> <td style="width: 20px; height: 15px;"></td> </tr> <tr> <td style="font-size: 8px; text-align: center;">Tag</td> <td style="font-size: 8px; text-align: center;">Mon.</td> <td style="font-size: 8px; text-align: center;">Jahr</td> </tr> </table>					Tag	Mon.	Jahr
Tag	Mon.	Jahr						
<b>Wohnort:</b> _____								



Rechtes Ohr



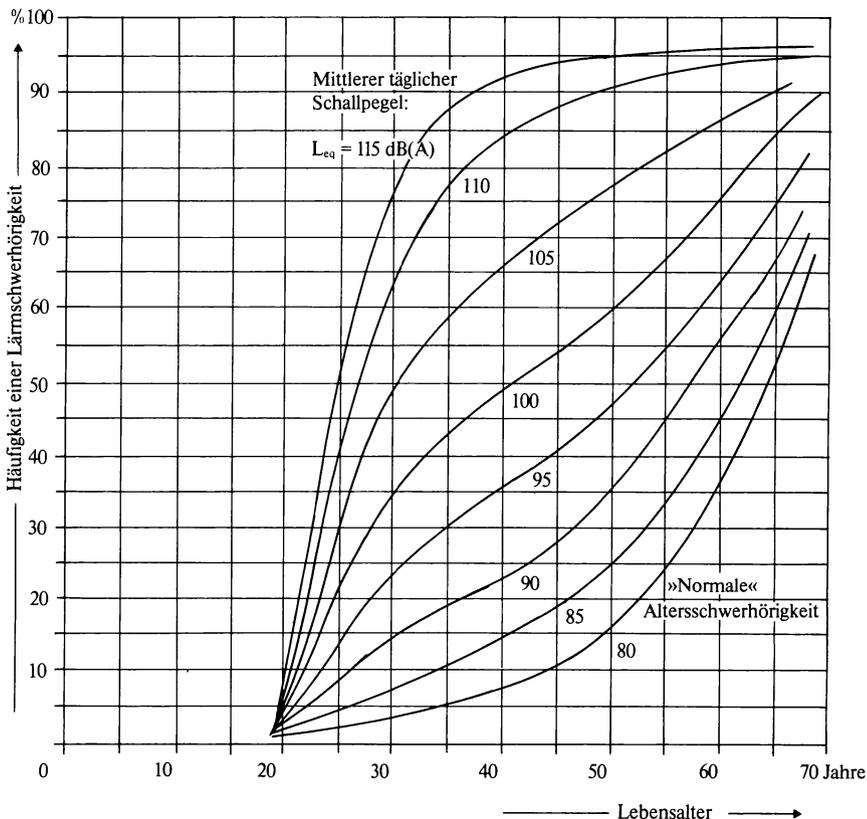
Linkes Ohr

SISI für 1 dB in %  
 Lüscher in dB

In dem abgebildeten Beispiel ist gut die gestrichelte Kurve für die **Knochenleitung** (Quelle am Schädelknochen hinter dem Ohr) und die durchgezogene Kurve für die **Luftleitung** zu erkennen. Stimmen beide Kurven (wie hier im Bereich von 0,75 bis 3 kHz) überein, so ist das ein Hinweis für eine **Innenohrschwerhörigkeit** (der Fehler kann hier nicht im Außen- oder Mittelohr liegen). Diese wiederum ist in den meisten Fällen entweder durch Alter oder Lärm bedingt. Eine genauere Darstellung verschiedener Untersuchungsmethoden – die auch für Laien verständlich ist – befindet sich in dem im Literaturverzeichnis angegebenen Buch von W. Niemeyer. Richtlinien für die Begutachtung der Lärmschwerhörigkeit als anerkannte Berufskrankheit sind in dem „Königsteiner Merkblatt“ enthalten (vgl. Schülerheft, S. 34).

### 3.4.4 Bedingungen für das Entstehen von Lärmschwerhörigkeit

Das folgende Diagramm zeigt, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Hörverlust von etwa 25 dB, gemittelt über die Frequenzen 350 bis 2800 Hz (Hauptsprachbereich) auftritt. Diese Wahr-



Nach J. Neumann, 1979, bzw. ISO (aus Messungen in amerikanischen Betrieben)

scheinlichkeit ist abhängig von

- dem Lebensalter bzw. der Anzahl der Jahre, während derer man täglich dem genannten Lärm ausgesetzt war und
  - dem über 8 Stunden gemittelten Lärmpegel des Lärms, dem man täglich ausgesetzt war.
- Da Lärm ab etwa 85 dB(A) als besonders schädlich gilt, entspricht die 80 dB-Kurve der durchschnittlichen, „altersbedingten“ Schwerhörigkeit.

### **Anwendungsbeispiele**

1. Ein 40-jähriger Arbeiter arbeitet seit 20 Jahren in einer Werkshalle mit 90 dB(A) Mittelungspegel. Dann ist bei ihm mit etwa 23 % Wahrscheinlichkeit eine Lärmschwerhörigkeit eingetreten. Bei 100 dB(A) wären es schon 50 %, d.h. jeder zweite wäre betroffen.
2. Ein Disc-Jockey arbeitet jeden Abend 4 Stunden bei etwa 103 dB(A), 10 Jahre lang (vom 20. bis 30. Lebensjahr). 4 Stunden 103 dB(A) entspricht etwa 100 dB(A) über 8 Stunden (Halbierungsparameter  $-3$  dB). Also besteht eine Wahrscheinlichkeit von 35 % (etwa jeder dritte) für Lärmschwerhörigkeit.  
(Vergleiche auch die Beispiele im Schülerheft, S. 36 und S. 48).

### 3.4.5 Exaurale Gesundheitsgefahr durch Lärm

## Lärm ist ein Risikofaktor für den Bluthochdruck

**Erste sichere Beweise / Auch Herzschädigungen sind möglich / Infraschall muß genauer untersucht werden**

Donnernde Lastwagen, quietschende Bremsen, aufheulende Motoren sind die „Begleitmusik“ im Leben der meisten Großstadtbewohner. Der tägliche Lärm, dem sie am Arbeitsplatz, in den eigenen vier Wänden und unterwegs ausgesetzt sind, ist seit Jahren das Umweltärgernis Nummer eins einer erschreckenden Mehrzahl der Bundesbürger.

Am Arbeitsplatz ist der Lärmschutz seit Jahren viel propagierter, mit mehr oder weniger Erfolg durchgesetzter Zwang, sei es durch die Auflage zum Tragen von Gehörschutz, sei es durch die in letzter Zeit intensivierten Bemühungen, den Produktionslärm schon an der Quelle zu mindern. Sicherlich ist es diesen Anstrengungen zu verdanken, daß die hohe Zahl gemeldeter Fälle von Lärmschwerhörigkeit, die die Liste der Berufskrankheiten anführt, in diesem Jahr erstmals etwas gesunken ist.

Der tägliche Umweltlärm dagegen mit seinem Hauptverursacher Straßenverkehr ist zu „leise“, um die Hörfähigkeit ernsthaft zu beeinträchtigen. In der Umweltdiskussion wird er deshalb lediglich als erhebliche Belästigung und Beeinträchtigung eingestuft. Und beim nicht enden wollenden politischen Tauziehen um das geplante Verkehrslärmschutzgesetz steht die Kostenfrage vor der Belästigung der Bürger. Diese Einstufung des Straßenlärms wird jetzt wohl revidiert werden müssen. Erstmals nämlich ist es nun Wissenschaftlern im Bundesgesundheitsamt unter Leitung des Lärmexperten Dr. Hartmut Ising gelungen, den Lärm als Risikofaktor für den Bluthochdruck zu identifizieren. Ising: „Bisher war diese Vermutung unter den Experten sehr umstritten. Jetzt haben wir den ersten handfesten Beweis.“

Die menschlichen Reaktionen auf Lärm sind sehr unterschiedlich. An dieser Tatsache

scheiterten bislang alle Versuche, den vermuteten Zusammenhang zwischen Lärmbelastigung und erhöhtem Blutdruck wissenschaftlich einwandfrei zu belegen. Statt wie allgemein üblich mit einer belasteten und einer unbelasteten Gruppe von Versuchspersonen zu arbeiten, haben die Berliner Wissenschaftler deshalb die gleiche Gruppe von „Lärmarbeitern“ im Flaschenkeller einer Brauerei abwechselnd jeweils einige Tage mit und ohne Gehörschutz arbeiten lassen und kontinuierlich untersucht. Der Lärm im Flaschenkeller erreicht im Tagesmittel 95 Dezibel (dB[A]), durch den Gehörschutz wurde er um durchschnittlich 13 dB(A) reduziert.

Rund 50 Prozent der Arbeiter reagierten auf die größere Lärmbelastigung mit einer Erhöhung des Blutdrucks um durchschnittlich 15 Millimeter Quecksilbersäule (mmHg). Erhöht war bei ihnen gleichzeitig auch die im Urin ausgeschiedene Menge von Noradrenalin und Vanillin-Mandelsäure. Noradrenalin gehört ebenso wie das Adrenalin zu den sogenannten Streß-Hormonen. Die Vanillin-Mandelsäure ist ein Abbauprodukt der Streß-Hormone, die – aus dem Sympathicus kommend – direkt an den Herzmuskel-Zellen wirken und anschließend zum größten Teil wieder in ihre Speicherzellen zurücktransportiert werden. Bei einer „überschießenden“ Reaktion aber, erklärt Ising, gelangt ein Teil davon in die Blutbahn und ein geringer Prozentsatz wird zu Vanillin-Mandelsäure abgebaut.

Chronische Lärmbelastung, so muß aus den Untersuchungsergebnissen geschlossen werden, kann also nicht nur zu Blutdruck-erhöhung, sondern auch zu Herzschädigungen führen. „Unsere Ergebnisse“, so betont Ising, „stehen in Übereinstimmung mit einem von der Umweltbehörde der USA

(EPA) aufgestellten Schema möglicher Lärmwirkungen. Darin werden außerdem Gefäßschäden in Verbindung mit einer langfristigen Erhöhung des Gehalts von Adrenalin und Noradrenalin im Blut diskutiert mit der möglichen Folge erhöhter Thrombosegefahr.“ Hinweise dafür, daß Lärmbelastung in vielen Fällen zu einer Erhöhung des Infarkttrisikos führt, ergaben in Berlin auch vierjährige Experimente an Ratten. Unter Lärmbelastung ging bei den Versuchstieren die erhöhte Ausscheidung von Stresshormonen mit einer Bindegewebsvermehrung im Herzmuskel einher. Ob auch die Gefahr der Thrombosebildung besteht, soll jetzt in Zusammenarbeit mit Spezialisten von der Freien Universität Berlin weiter untersucht werden.

Geklärt werden muß darüber hinaus die Frage, warum manche Menschen gar nicht, andere dagegen überzufällig auf eine andauernde Lärmbelastung reagieren. Anhaltspunkte hierfür liefert ein anderes Ergebnis aus den Tierversuchen: Bei Tieren, die unter Magnesium-Mangel litten, wurde unter Lärmbelastung mehr Noradrenalin freigesetzt. Hinweise für einen Zusammenhang zwischen vermindertem Magnesium-Gehalt im Blut und Blutdrucksteigerung bei Lärm erbrachten auch die Untersuchungen an den Lärmarbeitern. Und, so Ising, „Lebensmittelforscher haben darauf hingewiesen, daß sich der Magnesium-Gehalt der Nahrung am Rande des Notwendigen bewegt. Die Magnesiumzufuhr nimmt nach Norden hin ab, gleichzeitig ist die Infarkthäufigkeit in nördlichen Breiten größer als im Süden.“

Eine Konsequenz aus der Erkenntnis, daß Lärm nicht nur den Ohren schadet, ist die Frage, ob nicht auch der vom menschlichen Ohr kaum oder nicht mehr wahrnehmbare Schall im Bereich der tiefsten „Töne“ unterhalb von 20 Hertz (Infraschall) ähnliche Wirkungen hat wie der hörbare Lärm. Ising: „Es wurde immer wieder behauptet, Infraschall bewirke Übelkeit, Kopfschmerzen, Schwindelgefühl und als Folge davon

eine Art Sehkrankheit. Wir fanden nichts davon. Aber die Schwankungen der Herzfrequenz nahmen unter Infraschall zu, die Fingerpulsamplitude nahm ab. Infraschall wirkt genauso wie Hörschall als Stressfaktor.

Infraschall aber wird bei der heutigen Lärmmessung praktisch nicht berücksichtigt. Bei dem für die Lärmbeurteilung international vereinbarten Dezibel-A-Pegel nämlich werden tiefe Frequenzen wesentlich schwächer gewertet als hohe. Neben vielen anderen Bereichen ist dies vor allem in Kraftfahrzeugen von Bedeutung. 90 bis 98 Prozent der Schallenergie treten hier im Infraschallbereich bei Pegeln zwischen 100 und 120 Dezibel auf. Dies entspricht jedoch nur 50 dB(A). Das heißt konkret, daß Kraftfahrer zwar keine Gehörschäden fürchten müssen, die Infraschallbelastung im Pkw aber zumindest zu einer frühzeitigen Erschöpfung führt. In der international schon laufenden Diskussion über die A-Bewertung des Lärms wird dieses Ergebnis sicherlich eine Rolle spielen.

Hinweise für die Unfallforschung kann ein anderes Resultat der Berliner Lärmstudien geben: Versuchspersonen, die jeweils einen Tag bei 50 dB(A) und bei im Tagesmittel 85 dB(A) elektronische Schaltungen montierten, arbeiteten an den Lärmtagen zwar schneller, machten aber auch wesentlich mehr Fehler. Hier, so betont Ising, zeigt sich eine Übereinstimmung mit Forschungsergebnissen aus der Psychologie, daß Menschen unter Lärmbelastung wesentlich eher zu Risiko-Entscheidungen bereit sind.

In einer weiteren Versuchsreihe wollen die Wissenschaftler jetzt klären, ob auch schon eine geringere Lärmbelastung als Gesundheitsrisiko zu bewerten ist. Zu den vorgesehenen Versuchsbedingungen gehört auch eine Kombination von 75 dB(A) mit Infraschall bei 110 dB, wie sie für die Situation im durchschnittlichen Pkw typisch ist.

Marion Kern

Frankfurter Rundschau vom 19.11.1979

## **3.5 Juristische und politische Grundlagen der Lärmgesetzgebung**

### **3.5.1 Politische Zielsetzung**

(Aus der Einleitung zu „Grundzüge eines Aktionsprogramms ‚Lärmbekämpfung‘ des Bundesministers des Innern“ vom Oktober 1978)

„In den vergangenen Jahrzehnten ist der Lärm zu einer immer bedrohlicheren Begleiterscheinung unseres Lebens geworden: Hunderttausende von Menschen in der Bundesrepublik Deutschland sind einer gesundheitsgefährdenden Lärmbelastung ausgesetzt, Millionen werden in ihrem Wohlbefinden erheblich beeinträchtigt. Lärmschutz ist nicht nur ein umweltpolitisches, sondern in hohem Maße auch ein sozialpolitisches Postulat. In erster Linie sind die sozial Schwachen vom Lärm betroffen. Sie sind es vor allem, die sowohl am Arbeitsplatz als auch in der Wohnung Lärm zu erleiden haben. Ihnen fehlen vielfach Alternativen zum lärmexponierten Arbeitsplatz, ihnen mangelt häufig auch die Möglichkeit, dem Lärm durch Wohnungswechsel auszuweichen oder sich doch durch baulichen Schallschutz hinreichend zu schützen. Ungestörtes Wohnen ist im Begriff, zum teuren Luxus zu werden. Dabei ist die volle Rekreation des Menschen in seiner arbeitsfreien Zeit eine entscheidende Voraussetzung für anhaltende Kreativität und berufliche Leistung. Beim Lärmschutz geht es nicht nur um Humanität, es geht auch um volkswirtschaftliche Leistungsfähigkeit.“

### **3.5.2 Zur Lärmrechtgeschichte**

Angesichts der beschriebenen Entwicklung stellten sich die relativ unpräzisen Regelungen in zunehmendem Maße als unzureichend heraus, die innerhalb des Gewerberechts, des Nachbarrechts und des allgemeinen Strafrechts schon länger als Rechtsvorschriften zum Schutz vor fremderzeugtem Lärm bestanden. Eine neue, spezielle Lärmgesetzgebung mußte im Zuge der zunehmenden volkswirtschaftlichen Folgekosten von Lärmschäden und eines sich schärfenden Umweltbewußtseins der Bevölkerung geschaffen werden.

Ein erstes Gesetz dieser Art war das Baulärmschutzgesetz vom 2.9.1965. Eine andere wichtige Regelung, die weit über ihren unmittelbaren Geltungsbereich hinaus Bedeutung erlangt hat, stellt die sogenannte Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm) vom 16.7.1968 dar. Schließlich gibt es seit dem 30.3.1971 das Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm. Der gesamte Komplex des „Schutzes gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge“ wurde dann im sogenannten Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) vom 15.3.1974 zusammengefaßt, nachdem 1972 die verfassungsmäßigen Voraussetzungen dazu geschaffen worden waren (Art. 74 GG – Umweltschutz). Das Baulärmschutzgesetz ging im Bundes-Immissionsschutzgesetz auf. Bis November 1977 waren zu den Lärmschutzgesetzen von der Bundesregierung annähernd 50 verbindliche Durchführungsvorschriften vorgelegt worden.

### **3.5.3 Rechtscharakter der Vorschriften; Unterscheidung von Lärmarten**

Nach der Grundgesetzänderung vom April 1972 kann Lärmbekämpfungsrecht auf Länderebene nur noch insoweit geschaffen werden, als entsprechende bundeseinheitliche Rechtsvorschriften nicht bestehen; der Bund kann grundsätzlich umfassend neues Lärmbekämpfungsrecht schaffen und existierendes Landesrecht damit verdrängen.

Ein Teil des Lärmbekämpfungsrechts ist **Privatrecht**, so z.B. § 906 BGB (i.d.F. v. 22.12.59), der bestimmt, welche Geräuscheinwirkungen von Nachbargrundstücken hingenommen werden müssen und unter welchen Voraussetzungen dagegen vorgegangen werden kann. In solchen Fällen ist es Sache der Betroffenen, nicht der Behörden, aktiv zu werden. Der größere Teil des Lärmbekämpfungsrechts ist **öffentlich-rechtlicher Natur**. „Hier wird der Staat zum Schutz des Bürgers ex officio tätig. Zum öffentlichen Recht gehören z.B. alle Vorschriften über die zulässigen akustischen Qualitäten von Anlagen, Maschinen und Geräten, zeitliche und örtliche Benutzungsregelungen für lärmerzeugende Produkte, Vorschriften für Raumordnung und Landesplanung, für Bauakustik, das Lärmstrafrecht und vieles andere mehr“ ... (Aus A. O. Vogel, 1978).

### 3.5.4 Auszüge aus gesetzlichen Bestimmungen

Die gesetzlichen Bestimmungen gliedern sich in

- Gesetze
  - Verordnungen (VO)
  - Verwaltungsvorschriften (VwV)
  - Unfallverhütungsvorschriften der BG
  - VDI-Richtlinien
  - DIN-Normen
- } von Bund und Ländern

Gesetze (z. B. Bundesimmissionsschutzgesetz, Bremisches Immissionsschutzgesetz, Betriebsverfassungsgesetz, Fluglärmschutzgesetz, Verkehrslärmschutzgesetz) und Verordnungen zu den Gesetzen (z. B. Arbeitsstättenverordnung, Lärmverordnung Berlin) sind allgemein verbindlich. Verwaltungsvorschriften sind Anweisungen für die zuständigen Kontrollorgane. Unfallverhütungsvorschriften sind verbindlich für die berufsgenossenschaftlich versicherten Betriebe. VDI-Richtlinien und DIN-Normen stellen die „anerkannten Regeln der Technik“ dar und werden daher häufig auch in Gerichtsverfahren bedeutsam. Sie sind häufig auch Vorläufer von Gesetzen (z. B. DIN 18005 als Vorläufer für das neu entstehende Verkehrslärmschutzgesetz).

### Nachbarschaftslärm

§ 906 BGB (Einwirkungen vom Nachbargrundstück)

- (1) Der Eigentümer eines Grundstücks kann die Zuführung von Gasen, Dämpfen, Gerüchen, Rauch, Ruß, Wärme, Geräusch, Erschütterungen und ähnliche von einem anderen Grundstück ausgehende Einwirkungen insoweit nicht verbieten, als die Einwirkung die Benutzung seines Grundstücks nicht oder nur unwesentlich beeinträchtigt.
- (2) Das gleiche gilt insoweit, als eine wesentliche Beeinträchtigung durch eine ortsübliche Benutzung des anderen Grundstücks herbeigeführt wird und nicht durch Maßnahmen verhindert werden kann, die Benutzern dieser Art wirtschaftlich zumutbar sind. Hat der Eigentümer hiernach eine Einwirkung zu dulden, so kann er von dem Benutzer des anderen Grundstücks einen angemessenen Ausgleich in Geld verlangen, wenn die Einwirkung eine ortsübliche Benutzung seines Grundstücks oder dessen Ertrag über das zumutbare Maß hinaus beeinträchtigt.
- (3) ...

Es gibt Verordnungen oder Gesetze zur Bekämpfung des Lärms in **allen Bundesländern** (auch Immissionsschutzgesetz, Landesstraf- und Verordnungsgesetz, Polizeiverordnung o.ä.)

## **Beispiel: Verordnung zur Bekämpfung des Lärms (Lärm VO), Berlin, 1.8.1974**

### § 1

#### Grundregel

Jeder hat sich so zu verhalten, daß andere nicht mehr als nach den Umständen vermeidbar durch Geräusche beeinträchtigt werden können.

### § 2

Schutz der Nacht- und Feiertagsruhe sowie der Feierabendzeit.

- (1) In der Zeit von 22 bis 7 Uhr ist es verboten, Geräusche zu verursachen, die objektiv geeignet sind, die Nachtruhe zu stören.
- (2) An Sonntagen und gesetzlichen Feiertagen sowie an den übrigen Tagen in der Zeit von 20 bis 22 Uhr sind mit Lärm verbundene Betätigungen verboten, die objektiv geeignet sind, andere Personen zu beeinträchtigen.
- (3) Das Verbot der Absätze 1 und 2 gilt nicht für
  1. Glockenläuten zu kirchlichen Zwecken,
  2. Maßnahmen, die der Verhütung oder Beseitigung einer Notlage dienen,
  3. Maßnahmen des Brücken- und Bahnbaues, die nach Feststellung des für das Bauwesen zuständigen Mitglieds des Senats mit Rücksicht auf die Belange des Verkehrs oder aus technischen Gründen nur während der Nachtzeit oder an Sonntagen und gesetzlichen Feiertagen ausführbar sind.

### § 3

Gebrauch von Tonwiedergabegeräten und Musikinstrumenten

- (1) Tonwiedergabegeräte und Musikinstrumente dürfen nicht in einer Lautstärke benutzt werden, die geeignet ist, unbeteiligte Personen zu beeinträchtigen.
- (2) Die Benutzung der Tonwiedergabegeräte und Musikinstrumente ist verboten
  1. auf öffentlichen Verkehrsflächen einschließlich der öffentlichen Verkehrseinrichtungen und Bahnhöfe, der öffentlichen Verkehrsmittel und der öffentlichen Gewässer,
  2. auf Waldflächen mit ihren See- und Flußufern,
  3. in öffentlichen Badeanstalten (Hallenbädern, Freibädern, Sommerbädern),
  4. auf öffentlichen Sport- und Spielplätzen.
- (3) Das Verbot des Absatzes 2 gilt nicht
  1. für die Benutzung von Tonwiedergabegeräten durch Behörden, insbesondere die Polizei und die Feuerwehr sowie im Noteinsatz befindliche Hilfsorganisationen,
  2. für Tonwiedergabegeräte und Musikinstrumente in Verkehrsmitteln, die nicht dem öffentlichen Verkehr dienen, sowie in Kraftdroschken.
  4. Sondervorschriften bleiben unberührt.

### § 9

Ordnungswidrigkeiten

- (1) Ordnungswidrig handelt, wer vorsätzlich oder fahrlässig
  1. entgegen § 1 vermeidbaren Lärm verursacht,
  2. entgegen § 2 Abs. 1 Geräusche zur Nachtzeit verursacht,
  3. entgegen § 2 Abs. 2 an Sonn- und Feiertagen oder an den übrigen Tagen in der Zeit von 20 bis 22 Uhr mit Lärm verbundene Tätigkeiten ausübt.

4. entgegen § 3 Abs. 1 Tonwiedergabegeräte oder Musikinstrumente mit übermäßiger Lautstärke benutzt,
5. entgegen § 3 Abs. 2 auf öffentlichen Verkehrsflächen einschließlich der öffentlichen Verkehrseinrichtungen, auf Bahnhöfen, öffentlichen Verkehrsmitteln und öffentlichen Gewässern, auf Waldflächen oder an See- und Flußufern, in öffentlichen Badeanstalten (Hallenbäder, Freibäder, Sommerbäder) sowie auf öffentlichen Sport- und Spielplätzen, Tonwiedergabegeräte oder Musikinstrumente benutzt,
6. entgegen § 4 öffentliche Veranstaltungen durchführt,
7. entgegen § 5 Tiere hält,
8. entgegen § 6 Teppiche und sonstige Einrichtungsgegenstände klopft,
9. entgegen § 7 Werksirenen oder andere akustische Signalgeräte betreibt.

## **Arbeitslärm in der Nachbarschaft**

### **Bundes-Immissionsschutzgesetz von 1974**

#### § 1

##### Zweck des Gesetzes

Zweck dieses Gesetzes ist es, Menschen sowie Tiere, Pflanzen und andere Sachen vor schädlichen Umwelteinwirkungen und, soweit es sich um genehmigungsbedürftige Anlagen handelt, auch vor Gefahren, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen, die auf andere Weise herbeigeführt werden, zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

#### § 2

##### Geltungsbereich

- (1) Die Vorschriften dieses Gesetzes gelten für
  1. Die Errichtung und den Betrieb von Anlagen,
  2. das Herstellen, Inverkehrbringen und Einführen von Anlagen, Brennstoffen und Treibstoffen, Stoffen und Erzeugnissen aus Stoffen nach Maßgabe der §§ 32 bis 37,
  3. die Beschaffenheit, die Ausrüstung, den Betrieb und die Prüfung von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern und von Schienen-, Luft- und Wasserfahrzeugen nach Maßgabe der §§ 38 bis 40 und
  4. den Bau öffentlicher Straßen sowie von Eisenbahnen und Straßenbahnen nach Maßgabe der §§ 41 bis 43.

#### § 3

##### Begriffsbestimmungen

- (1) Schädliche Umwelteinwirkungen im Sinne dieses Gesetzes sind Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft herbeizuführen.
- (2) Immissionen im Sinne dieses Gesetzes sind auf Menschen sowie Tiere, Pflanzen oder andere Sachen einwirkende Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnliche Umwelteinwirkungen.
- (3) Emissionen im Sinne dieses Gesetzes sind die von einer Anlage ausgehenden Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen, Licht, Wärme, Strahlen und ähnlichen Erscheinungen.

- (4) Luftverunreinigungen im Sinne dieses Gesetzes sind Veränderungen der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe.
- (5) Anlagen im Sinne dieses Gesetzes sind
  1. Betriebsstätten und sonstige ortsfeste Einrichtungen,
  2. Maschinen, Geräte und sonstige ortsveränderliche technische Einrichtungen sowie Fahrzeuge, soweit sie nicht der Vorschrift des § 38 unterliegen, und
  3. Grundstücke, auf denen Stoffe gelagert oder abgelagert oder Arbeiten durchgeführt werden, die Emissionen verursachen können, ausgenommen öffentliche Verkehrswege.
- (6) Stand der Technik im Sinne dieses Gesetzes ist der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme zur Begrenzung von Emissionen gesichert erscheinen läßt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere vergleichbare Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind.
- (7) Dem Herstellen im Sinne dieses Gesetzes steht das Verarbeiten, Bearbeiten oder sonstige Behandeln, dem Einführen im Sinne dieses Gesetzes das sonstige Verbringen in den Geltungsbereich dieses Gesetzes gleich.

Die in der **TA Lärm** (1968) und **VDI 2058** enthaltenen Richtwerte sind im Schülerheft (S. 40) wiedergegeben.

## **Lärm am Arbeitsplatz**

### **Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Lärm (VGB 121)**

vom 1.12.1974

Geltungsbereich

§ 1

Diese Unfallverhütungsvorschrift gilt für Unternehmen, soweit sie Versicherte unter Lärmeinwirkung beschäftigen.

Begriffsbestimmungen

§ 2

- (1) Lärm im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift ist Schall (Geräusch), der das Gehör schädigen kann oder zu besonderen Unfallgefahren führt.
- (2) Der Beurteilungspegel im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift kennzeichnet die Wirkung eines Geräusches auf das Gehör. Er ist der Pegel eines für die Dauer einer achtstündigen Arbeitsschicht konstanten Geräusches oder, bei zeitlich schwankendem Pegel, der diesem gleichgesetzte Pegel. Er wird in dB(A) angegeben.
- (3) Lärmbereiche im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift sind Bereiche, in denen Lärm auftritt, bei dem ein Beurteilungspegel von 90 dB(A) erreicht oder überschritten wird.

Lärminderung

§ 3

- (1) Der Unternehmer hat nach den hierfür geltenden besonderen Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie nach den fortschrittlichen, in der Praxis bewährten Regeln

der Technik unter Einbeziehung der gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse dafür zu sorgen, daß

1. Arbeitsstätten so eingerichtet sind und
  2. Arbeitsverfahren so gestaltet sind und angewandt werden, daß auf die Versicherten kein Lärm einwirkt.
- (2) Arbeitseinrichtungen müssen nach den hierfür geltenden besonderen Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften sowie nach den fortschrittlichen, in der Praxis bewährten Regeln der Lärminderungstechnik unter Einbeziehung der gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnisse beschaffen sein und betrieben werden.

#### Persönlicher Schallschutz

##### § 4

- (1) Ist die Vorschrift des § 3 eingehalten und wirkt dennoch auf die Versicherten Lärm ein, bei dem ein Beurteilungspegel von 85 dB(A) überschritten wird, so hat der Unternehmer persönliche Schallschutzmittel zur Verfügung zu stellen. Wirkt auf die Versicherten Lärm ein, bei dem ein Beurteilungspegel von 90 dB(A) erreicht oder überschritten wird, so müssen die Versicherten die zur Verfügung gestellten Schallschutzmittel benutzen.
- (2) Der Technische Aufsichtsbeamte kann im Einzelfall Ausnahmen von Abs. 1 erteilen, wenn durch die Benutzung von persönlichen Schallschutzmitteln die Unfallgefahr erhöht wird und auf andere Weise die Gefährdung nicht vermieden werden kann.

#### Beschäftigungsbeschränkungen

##### § 7

Hat ein Arzt bei Vorsorgeuntersuchungen gemäß § 13 Abs. 3 bescheinigt, daß gesundheitliche Bedenken nur dann nicht bestehen, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt werden, so bedarf der Unternehmer die Versicherten nur dementsprechend beschäftigen.

#### Vorsorgeuntersuchungen

##### § 8

- (1) Der Unternehmer hat dafür zu sorgen, daß Versicherte, die in Lärmbereichen beschäftigt werden, durch Vorsorgeuntersuchungen überwacht werden.

#### Entscheidung der Berufsgenossenschaft

##### § 11

- (2) Die Berufsgenossenschaft kann die für ihre Entscheidung notwendige ärztliche Untersuchung oder Begutachtung veranlassen.

Die in der „Arbeitsstättenverordnung“ von 1975 in § 15 enthaltenen Richtwerte sind im Schülerheft (S. 41) abgedruckt.

#### Verkehrslärm

Verkehrslärmschutzgesetz (Entwurf) 1980 (vgl. Schülerheft, S. 41)

### **3.5.5 Zur Entstehung eines Lärmgesetzes (Lärmpolitische Entscheidungen im Interessenkonflikt)**

Beim Abfassen staatlicher Regelungen zur Lärmbekämpfung gilt es im wesentlichen, zwischen zwei Informationsgruppen abzuwägen: den Ergebnissen der Lärmwirkungsforschung und den

volks- und betriebswirtschaftlichen Kosten-Nutzen-Rechnungen für Lärmschutzmaßnahmen. Letztlich werden solche Regelungen also immer politische Entscheidungen im Widerstreit ökologischer Ansprüche und ökonomischer Interessen bleiben.

Die **Lärmwirkungsforschung** befaßt sich mit im weitesten Sinne gesundheitlichen Schäden durch Lärmbeeinträchtigung. Sie trifft dabei auf ähnliche Schwierigkeiten wie andere Wissenschaftsgebiete, in denen die Auswirkungen von Umweltbelastungen auf Lebewesen, speziell den Menschen untersucht werden. Verbindlich können für die Lärmwirkung bislang nur wenige Fixpunkte angegeben werden, etwa bei welchem Schalldruck und nach welcher Zeit Lärmschwerhörigkeit eintreten wird. Andere Folgen, z. B. Kopfschmerzen, Nervosität und vegetative Kreislaufstörungen setzen individuell bei in Art, Stärke und Dauer unterschiedlichen Lärmbelastungen ein. Hinzu kommt, daß solche Symptome in der Regel aus einem Wirkungsgefüge mehrerer physischer und psychischer Einflüsse entstehen (Synergismen). Dies macht es schwer und läßt es unbefriedigend erscheinen, die Belastung durch Lärm losgelöst vom Zusammenhang zu bestimmen. Nur umfangreiche und gründliche statistische und synergistische Untersuchungen werden hier genauere Ergebnisse bringen können.

Der Mangel an festgeschriebenen Daten hat auch zur Folge, daß die Wirtschaftswissenschaftler bei **Kosten-Nutzen-Rechnungen** künftiger Lärmbekämpfungsmaßnahmen auf Schwierigkeiten stoßen:

„Zum Zwecke einer sozialen Kostenrechnung wäre es . . . nötig, für das Ganze einer Volkswirtschaft oder Gesellschaft die Zuordnung Lärmemission-Lärmimmission-Lärmschaden zustande zu bringen. Diese umfassende Lösung ist hier aber noch nicht in Sicht und möglicherweise selbst auf die Dauer nicht erreichbar. Schädigungen, die das Leben, die Gesundheit und das Wohlbefinden des Menschen betreffen, können – was die Masse der Lärm-belasteten betrifft – auf dem direkten Erfassungs- und Bewertungswege lediglich in Ausnahmefällen eingefangen werden. Diese Möglichkeit würde dann bestehen, wenn im bestimmten Umfang gekürzte Lebenserwartungen, herabgesetzte Erwerbszeiten oder verminderte Tätigkeitsqualitäten mit Erwerbseinbußen den Immissionstatbeständen eindeutig zuzurechnen wären. Einiges Informationsmaterial dieser Art gibt es zwar, aber es reicht für eine repräsentative Hochrechnung nicht aus.“ (Willeke, 1974, S. 112)

Am Beispiel der Entstehung des **Verkehrslärm-Schutzgesetzes (Entwurf 1980)** soll die oben dargestellte allgemeine Problematik konkretisiert werden.

Seit 1974 gibt es das Bundesimmissionsschutzgesetz, das grundlegende Fragen zum Umweltschutz regelt, aber viele Einzelfragen offen läßt. Zu diesen Fragen gehörte der Schutz gegen **Verkehrslärm**.

Er wurde in verschiedenen „Normen“ und „Richtlinien“ zunächst vorläufig geregelt, z. B. in der DIN-Norm 18005 (vom Januar 1976). Diese Bestimmungen hatten aber keine Gesetzeskraft. Insbesondere ließen sie offen, welche Rechte diejenigen Anwohner von stark befahrenen Straßen hatten, an denen diese Bestimmungen und die darin enthaltenen Richtwerte nicht eingehalten werden.

Um diese Betroffenen zu schützen, gäbe es u. a. folgende Möglichkeiten:

- Entindividualisierung des Straßenverkehrs (in Städten);
- Straßen verlegen bzw. durch **neue** Umgehungsstraßen entlasten;
- Lärmschutzwände errichten;
- Schalldämmende Doppelfenster in die Häuser einbauen.

Alle diese und ähnliche Maßnahmen sind sehr teuer und schaffen teilweise neue Belastungen an anderen Stellen. Sie müßten vom Staat bezahlt werden, da dieser für Straßenbau und Verkehr insgesamt verantwortlich ist und für diese Aufgaben auch besondere Steuern erhebt

(z. B. Kraftfahrzeugsteuer und Benzinststeuer). Der Staat selbst übernimmt im Prinzip die Kosten, die nach dem Verursacherprinzip der Verursacher zu tragen hätte.

Im Januar 1978 wurde von der Bundesregierung ein Gesetzentwurf für ein „Verkehrslärm-schutzgesetz“ vorgelegt. Es enthielt Richtwerte, um die in den folgenden Jahren gerungen wurde.

Auf diesen Gesetzentwurf gab es viele Reaktionen. Arbeitsgruppen (innerhalb und außerhalb von Parteien) beschäftigten sich mit dem Verkehrslärm.

Als problematisch stellten sich vor allem folgende Punkte heraus:

- Bei den vorgesehenen Richtwerten wurden nur **durchschnittliche Lärmpegel** (gemittelt über den ganzen Tag) begrenzt. Das heißt, daß einzelne **Spitzenwerte** wesentlich höher liegen können, ohne gegen den Richtwert zu verstoßen. Bei einem konkreten Versuch in Freiburg wurden z. B. bei einem durchschnittlichen Lärmpegel von „nur“ 61 dB(A) einzelne Spitzenwerte bis zu 87 dB(A) (z. B. vorbeidonnernder LKW) gemessen. Gerade solche Spitzenwerte müssen aber als besonders störend betrachtet werden.
- Die Kosten müßten dann besonders groß werden, wenn auch bereits **bestehende** Straßen und anliegende Häuser in die Regelungen (insbesondere bezüglich des Anspruches auf finanzielle Hilfe für schalldämmende Doppelfenster) einbezogen würden. Zunächst war nämlich geplant, nur neu zu bauende Straßen in die Regelungen einzubeziehen.
- Wie hoch sollen die Richtwerte (auch Immissionsgrenzwerte – IGW – genannt) liegen? Es gab in verschiedenen Bestimmungen und Vorlagen Abweichungen bis zu 20 dB(A), z. B. lagen die Werte der DIN-Normen teilweise um 20 dB(A) **niedriger** als im Regierungsentwurf!

Die ganze Entwicklung zeigte:

- Richtwerte sind nicht objektiv, sondern sie sind als Interessenausgleich „ausgehandelt“.
- Richtwerte sind veränderbar durch Einflüsse von Parteien, Bürgerinitiativen, Verbänden.
- Schutz gegen Verkehrslärm ist sehr teuer. Vielleicht führt das im Zusammenwirken mit anderen Einflüssen (z. B. Verknappung des Rohöls) zu einer völligen Umgestaltung unseres Verkehrswesens.

So gab es je nach Einschätzung der Bedeutung des Verkehrslärms für die Betroffenen und der dafür tragbaren Kosten für den Staat verschiedene Auffassungen zu dem neuen Gesetz, insbesondere zu den Richtwerten.

Alle Parteien und Verbände wollten – im Gegensatz zu dem Regierungsentwurf – auch die bestehenden Straßen einbeziehen. Dies ist dann auch (vom Bundestag) so beschlossen worden, allerdings lagen die Richtwerte für bestehende Straßen (noch) höher, als für neue!

Bei den Richtwerten gab es folgende Änderungswünsche zum Regierungsentwurf:

SPD:           AG Gesundheit: Allgemeine Senkung um 5–10 dB(A);  
                  AG Haushalt, Finanzen: Beibehaltung der Werte im Regierungsentwurf;  
                  AG Verkehr: Senkung um 3 dB(A);  
                  AG Umwelt: Senkung um 10 dB(A).

FDP:           Allgemeine Senkung um 5 dB(A).

CDU/CSU:     Allgemeine Senkung um 5 dB(A)  
                  (Zustimmung zum Regierungsentwurf wurde nicht ausgeschlossen).

**Verbände:**

Umwelt-Bürgerinitiative: Senkung um mindestens 5 dB(A);

Kommunale Spitzenverbände, ADAC, u. a.:

Beibehaltung der Regierungsentwurfs-Werte mindestens für einen Erprobungszeitraum;

Mediziner, gesundheitspolitische Organisationen: Senkung um mindestens 3 dB(A).

Inzwischen haben Experten die (jährlichen) Kosten errechnet:

	Reg.entwurf	Senkung um 3 dB(A)	Senkung um 5 dB(A)
Bundesfernstraßen	148 Mio DM	202 Mio DM	256 Mio DM
Landes- und Kreisstraßen	18 Mio DM	36 Mio DM	48 Mio DM
Kommunalstraßen	300 Mio DM	444 Mio DM	540 Mio DM
	466 Mio DM	682 Mio DM	844 Mio DM

Von November 1979 bis Juli 1980 lief die parlamentarische Prozedur zur Verabschiedung eines entsprechenden Gesetzes. In den Debatten fielen u. a. folgende Argumente (Zitat nach Zeitungsartikeln):

**Richtwerte:**

- Regierungsentwurf: Neue Straßen in Wohngebieten 65/55 Dezibel (Tag/Nacht), Mischgebiete 70/60, Industriegebiete 75/65; bestehende Straßen: 75/65;
- 5 Dezibel weniger bedeuten: etwa 650 Autos pro Stunde statt 2000 pro Stunde durch eine Straße;
- leisere Autos frühestens in 15 bis 20 Jahren.

**Kosten:**

- Art der Maßnahmen (Doppelfenster, Lärmzäune);
- Streckung auf 15–20 Jahre;
- Jährliche Kosten für den Regierungsentwurf: 750 Millionen DM pro Jahr;
- Niedrigere Werte gemäß Koalitionsbeschluß vom November 1979: Zusätzlich 260 Mill. DM jährlich;
- Finanzierung aus Straßenbaugeldern, jede 10. Mark für Lärmschutz;
- Weniger Kosten durch andere Maßnahmen (z. B. Verkehrsberuhigung in Großstädten).

**Konsequenzen für die Betroffenen:**

- An Lärmschutzmaßnahmen (z. B. Schallschutzfenster) beteiligt sich der Staat erst dann, wenn der Verkehrslärm die Richtwerte übersteigt;
- Beteiligung der Hauseigentümer verschieden (z. B. München 50 %, Stuttgart 70 %, soll auf 25 % gesenkt werden).

**Sonstige Probleme:**

- Das Gesetz regelt nur den passiven Lärmschutz, nicht den aktiven;
- Lärm häufigster Umzugsgrund (Verödung der Großstädte);
- ein „Fensterindustriesubventionierungsprogramm“;
- eine Regelung für Schienenwege.

Im November 1979 fanden Koalitionsgespräche über das Gesetz und insbesondere um dessen Richtwerte und Kosten statt:

## **Verhandlung um Lärmschutz-Verbesserung**

**Kosten für Doppelfenster und Schutzzäunde sind noch Streitpunkte in der Regierungskoalition**

(Frankfurter Rundschau vom 15.11.1979)

Sie brachten eine Erniedrigung an bestehenden Straßen um 5 dB und an neuen Straßen um 3 dB.

Im März 1980 verabschiedete der Bundestag dieses Gesetz mit nur 4 Gegenstimmen!

## **Mehr Schutz gegen Verkehrslärm**

**Bundestag verabschiedet Gesetz / Grenzwerte festgelegt**

(Weser-Kurier vom 7.3.80)

Im April 1980 wurde es vom Bundesrat an den Vermittlungsausschuß überwiesen.

## **Die Länder wehren sich gegen das neue Lärmschutzgesetz**

**An den Vermittlungsausschuß überwiesen / Der Verwaltungsaufwand**

(Frankfurter Zeitung vom 19.4.1980)

Einwände (vor allem von der CDU im Bundesrat):

- Keine Rechtssicherheit, neue Konflikte zwischen Bürger und Verwaltung;
- zu großer Verwaltungsaufwand;
- die finanziellen Verpflichtungen sind nicht gesichert;
- zu langer Zeitraum (20 Jahre):
- hohe Erwartungen, die technisch und finanziell nicht erfüllbar sind.

Im Juni 1980 erarbeitete der Vermittlungsausschuß einen Kompromißvorschlag.

Im Juli 1980 lehnte der Bundestag mit 218 Stimmen (SPD) gegen 241 Stimmen (CDU, FDP) diesen Kompromißvorschlag ab.

## **FDP verhindert Lärmschutzgesetz**

**Koalitionstreit im Bundestag / Länder stoppen Vorhaben**

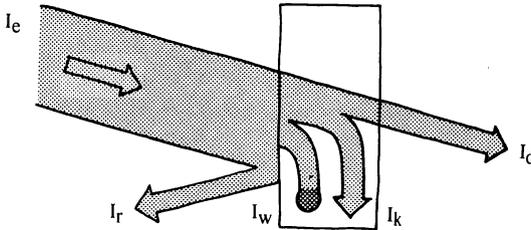
(Weser-Kurier vom 5.7.1980)

Die CDU wollte nicht „Mehrheitsbeschaffer“ der Koalition sein; die FDP lehnte ab, weil das „wichtigste Umweltschutzgesetz“ der Legislaturperiode durch den Kompromiß des Vermittlungsausschusses zum Nachteil der lärmgeplagten Bürger „verwässert“ worden sei.

## 3.6 Physikalische Grundlagen der technischen Lärmbekämpfung

### 3.6.1 Schall trifft auf eine Wand (Grundbegriffe: Reflexion, Absorption, Dämpfung, Dämpfung)

Schall, der auf eine beliebige Wand (ein Hindernis) auftrifft, wird in vier Komponenten aufgespalten (vgl. W. Schirmer, S. 331):



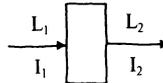
- $J_e$ : Intensität des ankommenden Schalls
- $J_r$ : Intensität des reflektierten Schalls (Reflexion)
- $J_w$ : Intensität des in Wärme umgewandelten Schalls (Dämpfung)
- $J_k$ : Intensität des als Körperschall im Körper weitergeleiteten Schalls
- $J_d$ : Intensität des durchgelassenen Schalls

Durch diese Vorgänge bildet sich eine bestimmte Verteilung der Schallintensitäten aus, die bewirkt, daß **hinter** der Wand ein geringerer Schallpegel entsteht als **vor** der Wand. Diese Tatsache bezeichnet man als **Dämmung**.

Als Schalldämm-Maß  $R$ <sup>1)</sup> wird definiert:

$$R = L_1 - L_2$$

$$= 10 \lg \frac{J_1}{J_2}$$



Diese Formel gilt exakt nur dann, wenn Schall von 1 nach 2 **nur** durch die Wand gehen kann und wenn im Raum 2 keine Reflexion stattfindet.  $J_1$  ist dabei die auf beliebige Weise im Raum 1 zustandekommene Schallintensität (also einschließlich Reflexion),  $J_2 = J_d$  ist die Intensität des durchgelassenen Schalls.

Im allgemeinen wird man also an einer starken Dämmung interessiert sein, also an möglichst starker **Reflexion** und **Dämpfung**. An starker Ableitung des Schalls durch Körperschall ist das Interesse weniger groß, da dieser sich an anderer Stelle störend bemerkbar machen kann. Er bleibt daher zunächst unberücksichtigt.

1) Alle Größen mit der Bezeichnung „Maß“ beziehen sich auf Pegel-Werte (dB), alle mit der Bezeichnung „Faktor“ auf Schalldruckwerte (z. B. Dämpfungsfaktor), alle mit der Bezeichnung „Grad“ auf Energie- oder Intensitätsgrößen (z. B. Absorptionsgrad)

Die **Reflexion** interessiert einerseits zur Vergrößerung der Dämmung und andererseits zur Verminderung des Nachhalls in geschlossenen Räumen. Im ersten Fall ist man an einem

großen **Reflexionsgrad**  $r$  ( $r = \frac{J_r}{J_e}$ ), im zweiten an einem großen **Absorptionsgrad**  $\alpha$  ( $\alpha = \frac{J_e - J_r}{J_e}$ ) interessiert. Beide hängen natürlich zusammen, es gilt  $\alpha = 1 - r$  bzw.  $r = 1 - \alpha$

(vgl. Borucki, S. 132).

Große Reflexionsgrade  $r$  erreicht man im allgemeinen durch **glatte, geschlossene** und hinreichend schwere Flächen (Beton  $r = 0,98$ ; Wasserfläche  $r = 0,98$ ; Glas  $r = 0,98$ ; Linoleum  $r = 0,96$ ; Holz  $r = 0,92$ ; jeweils bei 2048 Hz). Großen Absorptionsgrad  $\alpha$  erreicht man entsprechend mit offenporigen, rauen, leichten Flächen (Baumwollstoff glatt als Wandbehang:  $\alpha = 0,32$ ; Teppich 5 mm  $\alpha = 0,52$ ; schallschluckende Platten bis  $\alpha = 0,77$ ; Haarfilz mit Teppichauflage  $\alpha = 0,81$ ; jeweils bei 2048 Hz). Rein rechnerisch könnte man auch ein „Absorptionsmaß“ in dB definieren:

$$\Delta L_r = 10 \lg \frac{J_e}{(J_e - J_r)} = 10 \lg \frac{1}{\alpha}$$

$\Delta L_r$  gibt dann an, um wieviel dB der auftreffende Schall durch Reflexion gemindert worden ist, also um wieviel dB der in die Wand eintretende Schall schwächer ist.

Theoretisch hängt die Reflexion vor allem vom **Unterschied des Schallwellenwiderstandes**<sup>1)</sup> der beiden angrenzenden Medien ab. Bei großem Unterschied, also Übergang von „schallweiches“ in „schallhartes“ Medium oder umgekehrt (!), tritt große Reflexion auf. Die Vermeidung von Körperschall durch Zwischenschichten aus Gummi oder Filz ist durch Reflexion beim Übergang von schallhartem in ein schallweiches Medium zu erklären.

Die Verminderung des Schalls längs des Ausbreitungsweges durch Umwandlung in Wärme bezeichnen die Physiker als **Absorption**, die Techniker als **Dämpfung** (vgl. z. B. Gehrtsen-Kneser-Vogel, S. 190; Schirmer, S. 79 ff.; Meyer-Neumann, S. 86–103).

Insbesondere werden beide Begriffe von Meyer-Neumann synonym gebraucht (Kapitel: „3. Dämpfung von Schall“, Unterkapitel: „3.1 Schallabsorption in Gasen“).

Aber auch die Physiker bezeichnen in dem für die Dämpfung wichtigen Gesetz für die Abnahme der Intensität  $J$  längs des Weges  $x$

$$J(x) = J_0 \cdot e^{-2\alpha x} \quad (p = p_0 \cdot e^{-\alpha x})$$

die Konstante  $\alpha$  als **Dämpfungsfaktor**. ( $2\alpha = \beta$  wäre der „Dämpfungsgrad“, vgl. Fußnote, S. 50). Den entsprechenden Vorgang (Umwandlung mechanischer Energie in Wärme und dadurch Verminderung der Amplitude) **bei der Schwingung** bezeichnen auch die Physiker als Dämpfung („gedämpfte Schwingung“). Andererseits bezeichnen die Physiker mit dem Wort **Absorption** zwei verschiedene Vorgänge, die zwar teilweise zusammenhängen, aber nicht identisch sind:

- a) Die Aufnahme (also Nicht-Reflexion) von Wellen durch eine Oberfläche. Die hierfür charakteristische Größe wird als Absorptionsvermögen oder Absorptionsgrad durch das Verhältnis von nicht reflektierter Energie zu auftreffender Energie definiert.
- b) Die Umwandlung von Wellenenergie in Wärme. Die hierfür charakteristische Größe ist der Dämpfungsfaktor, s. o.

1) Verhältnis  $\frac{\hat{p}}{\hat{v}}$ ,  $\hat{p}$ : Druckamplitude,  $\hat{v}$ : Amplitude der Schallschnelle (teilweise auch anders definiert).

Wir verwenden hier den Begriff **Dämpfung** für die Verminderung der Schallenergie längs des Ausbreitungsweges durch Umwandlung in Wärme, den Begriff **Absorption** für die Aufnahme von Schall durch eine Oberfläche.

Statt des Dämpfungsfaktors  $\alpha$  kann auch das **Dämpfungsmaß D** in dB/m angegeben werden:

$$D = 10 \lg \frac{J(x)}{J(x+1 \text{ m})} = L(x) - L(x+1 \text{ m})$$

$$\Delta L_D = D \cdot \Delta x$$

$J(x)$ : Intensität an der  
Stelle  $x$

$\Delta L_D$ : Pegelminderung auf dem Weg  $\Delta x$   
durch Dämpfung

Hier einige Zahlenwerte (bei 1 kHz):

Luft:  $D \approx 2 \cdot 10^{-4}$  dB/m (= 1 dB/5 km)

Wasser:  $D \approx 10^{-7}$  dB/m (= 1 dB/10000 km)

Mit Mineralwolle ausgekleidetes Rohr:  $D \approx 40$  dB/m

Steinwolle:  $D \approx 400$  dB/m = 4 dB/cm (bei 2,5 kHz).

Für die Dämmung einer beliebigen Wand denken wir jetzt z. B. an eine Wand aus 5 cm dickem Schaumstoff, welche zur Erhöhung der Reflexion auf der Vorderseite noch eine dünne glatte Schicht besitzt, z. B. Pertinax oder Linoleum. Dann gilt als Energiebilanz (vereinfacht, ohne Beugung und ohne Reflexion an Raumwänden) gemäß der ersten Skizze (s. o.):

$$J_e = J_r + J_w + J_d \quad (J_k = 0).$$

Unter dieser Voraussetzung gilt dann für das Dämm-Maß  $R$  dieser Wand:

$$R = \Delta L = \Delta L_r + \Delta L_D,$$

d. h. die gesamte Dämmung setzt sich aus der Verminderung durch Reflexion ( $\Delta L_r$ ) und durch Dämpfung ( $\Delta L_D$ ) zusammen.

Große Dämmung erreicht man also durch Wände mit harten, geschlossenen Oberflächen und porösen (Zwischen-)schichten, wobei ein Aufbau aus mehreren Schichten wegen der mehrfachen Reflexion und damit Verlängerung des Schallweges besonders günstig ist (vgl. J. Neumann, S. 62).

Für **homogene** Wände (z. B. aus Blech) gilt ferner näherungsweise das Berger'sche Gesetz: Je größer das Flächengewicht der Wand (Gewicht/Fläche), desto größer das Schalldämm-Maß  $R$  (Ableitung: vgl. Meyer-Neumann, S. 42–44). Es beruht auf der durch die größere Masse vergrößerten Trägheit der Wand und damit stärkeren Reflexion einer auftreffenden Schallwelle.

### 3.6.2 Zur Dämpfungswirkung poröser Stoffe

Bei Schallausbreitung in beliebigen mit Luft gefüllten Rohren entstehen Verluste durch innere Reibung in den wandnahen Schichten (vgl. Meyer-Neumann, S. 93–99). Da es sich um Longitudinalwellen handelt, führt die Luft Schwingungen **parallel** zur Röhrenwand aus. Da die Luft auch eine gewisse Zähigkeit besitzt, entsteht auch hier Reibung und damit Wärme. Dabei ist die Amplitude der Schallschnelle an der Wand null, sie vergrößert sich (abhängig von der Frequenz) bis etwa 1/4 mm Wandabstand zu ihrer vollen Größe. Das heißt, daß „Röhren“ von etwa 1/4 mm Durchmesser optimal zur Umwandlung von Schall in Wärme durch Reibung der Luft an der Röhrenwand führen. Daher hat z. B. Schaumstoff eine große Dämpfung, da

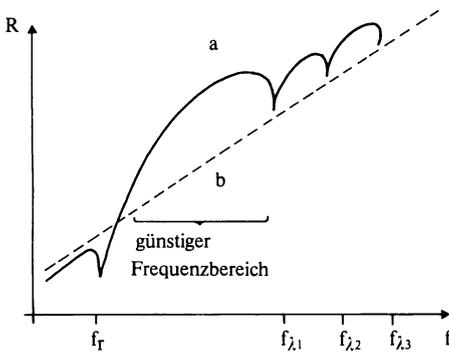
er aus vielen kleinen Röhren besteht, in die der Schall eindringen kann. Styropor dagegen hat fast keine Dämpfung, da er zwar Luftporen enthält, die aber nicht offen, sondern geschlossen sind, so daß der Schall nicht eindringen kann.

### 3.6.3 Physikalische Erklärung der Dämmungseigenschaften von Doppelwänden mit Luftzwischenraum (z.B. Doppelfenster)

Doppelfenster werden oft zur besseren Wärmeisolation als „Thermopanscheiben“ eingebaut. Die beiden Scheiben haben dann einen geringen Abstand (ca. 5 mm). Solche Scheiben tragen zum Lärmschutz in der Regel nicht mehr bei als die entsprechenden Einfachscheiben. Grund: Die Scheiben stellen ein durch die Luftschicht gekoppeltes Schwingungssystem mit einer gewissen Eigenfrequenz  $f_r$  dar. Die Eigenfrequenz ist um so höher, je „härter“ die Kopplung durch die Luft ist, also je geringer der Scheibenabstand ist. (Nach dem Gasgesetz ist die Änderung des Drucks bei einer bestimmten Volumenänderung um so größer, je kleiner das Ausgangsvolumen ist).

Wenn aber die Scheibe wenig Schall nach innen weitergeben soll, so darf sie selbst nicht in Schwingung geraten. Das ist dann der Fall, wenn ihre Eigenfrequenz  $f_r$  unterhalb der interessierenden Schallfrequenzen liegt. In der Praxis erfordert dies einen Scheibenabstand, der größer oder etwa gleich 5 cm ist.

Das Schalldämm-Maß  $R$  einer solchen zweischaligen Wand weist etwa folgende Abhängigkeit von der Schallfrequenz  $f$  auf<sup>1)</sup>:



- a: zweischalige Wand
- b: gleichschwere Einfachwand
- $f_r$ : Resonanzfrequenz

Bei der Resonanzfrequenz wird die Schalldämmwirkung also wesentlich geringer als bei einer gleichschweren Einfachwand. Durch die Wahl eines großen Abstandes (z. B. der Fensterscheiben) kann die Resonanzfrequenz  $f_r$  unterhalb des interessierenden Frequenzbereichs gelegt werden.

1) Vgl. W. Schirmer, 1974, S. 351; Gösele, Schüle, 1977, S. 50.

### 3.6.4 Lärminderung an der Quelle – Grundlagen und Beispiele

Die Lärminderung an der Quelle kann im Prinzip auf drei Weisen erfolgen (vgl. BAU: „Lärmarm konstruieren“, vgl. 8.5):

#### a) Verringerung der Schallentstehung

Dies ist vor allem durch die **Wahl lärmärmer Arbeitsprinzipien** möglich. **Beispiele:** Schweißen statt Nieten; wenn schon Nieten, dann Taumelnieten, Preßnieten oder Rollnieten; Riemenantrieb statt Kettenantrieb; Kleben statt Nieten. Die **Verlangsamung der Kraftübertragung** ist hier ein weiteres wichtiges Prinzip. Dabei ist von grundsätzlicher Bedeutung, daß Schall immer durch zeitlich veränderliche Kräfte auf schwingungsfähige Gebilde entsteht. Dabei ist die **Schnelligkeit der Änderung der Kraft** ( $\frac{dF}{dt}$ ) für das Auftreten von Schwingungen und damit von Schallwellen entscheidend (Wechselkräfte). Anschaulich gesprochen: Wenn man eine große Kraft langsam genug anbringt („vorsichtig“), entsteht kein Schall. **Beispiele:** Schrag verzahnte Zahnräder („schlagen“ nicht, sondern „gleiten“), geeignete Formen von Nocken, Abfedern von Stoßvorgängen.

Auch insgesamt **kleinere Geschwindigkeiten** tragen zu geringerer Schallentstehung bei. **Beispiele:** Kleinere (Motor-) Drehzahlen, kleine Strömungsgeschwindigkeiten in großen Rohren. Schließlich kann die Schallentstehung auch durch **Vermeidung nebensächlicher Anregungen** (z. B. Ausgleichen, Umwuchten, Verringerung der Rauigkeit von Oberflächen, geringeres Lagerspiel u. ä.) vermieden werden.

#### b) Verringerung der Schallübertragung

Die Fortleitung des Körperschalls kann vor allem durch geeignete Zwischenschichten, durch Vermeidung von Schallbrücken und durch Verwendung von Werkstoffen mit hoher innerer Dämpfung vermindert werden. **Beispiele:** Gummipuffer zwischen Motor und Karosserie an den Auflagestellen, Gummi- oder Filzunterlagen zwischen Maschinen und Unterlagen (Tisch, Boden).

#### c) Verringerung der Schallabstrahlung

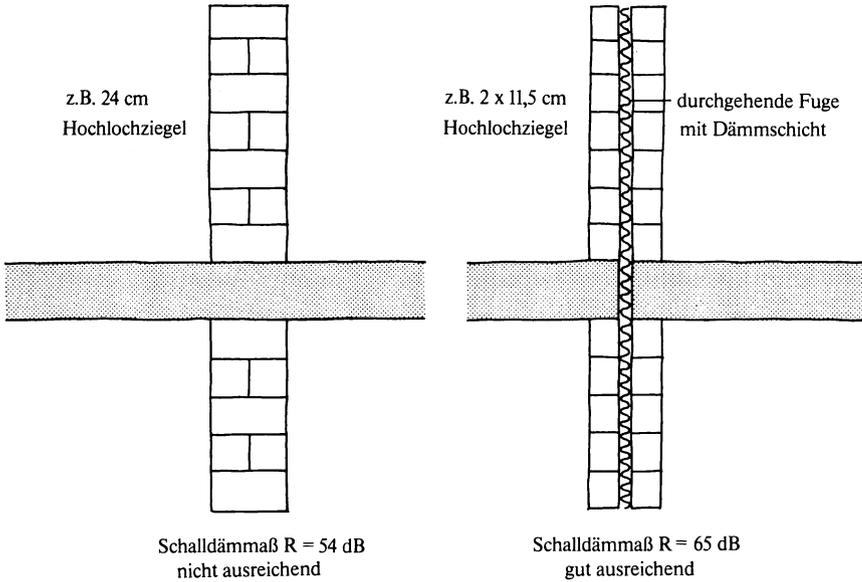
**Beispiele:** Antidröhpappen oder aufspritzbare Massen im Fahrzeugbau, Kunststoff statt Metall (z. B. Mülleimer), Veränderung der Formgebung, Versteifungen, Verringerung der schallabstrahlenden Fläche.

### 3.6.5 Technische Hinweise zur Schalldämmung von Wänden

Ein besonders dankbares Anwendungsgebiet für **zweischalige Wände** sind Haustrennwände bei Zweifamilien-Häusern oder Einfamilien-Reihenhäusern, zum Teil auch bei mehrgeschossigen Mehrfamilien-Reihenhäusern. Trennt man die einzelnen Hausabschnitte voneinander durch eine über die ganze Haustiefe hindurchgehende Fuge – eine sogenannte Schalldämmfuge – dann kann der Schall nicht über direkte Kontakte zwischen dem Mauerwerk übertragen werden. Die Verbesserung gegenüber gleich schweren Einfachwänden beträgt je nach Ausführungssorgfalt 5 bis 15 dB.<sup>1)</sup>

1) Nach Gösele/Schüle, 1977, S. 70.

Derartige Haustrennwände können z. B. aus zwei 11,5 cm dicken Mauern ausgeführt werden. Der Luftspalt sollte 2 cm betragen. Das Wichtigste bei diesen Wänden ist, daß keine Mörtelbrücken zwischen den beiden Wandschalen entstehen können. Zur Vermeidung solcher Mörtelbrücken sollte zwischen den Schalen eine Dämmschicht eingelegt werden, die zum Beispiel aus Holzwole-Leichtbauplatten oder aus porösen Holzfaserplatten bestehen können. Weniger geeignet für diesen Zweck sind Hartschaumplatten, weil sie geschlossene Poren haben.



Bei sorgfältiger Ausführung von Haustrennwänden werden Schalldämm-Maße zwischen 60 und 70 dB erreicht, also wesentlich mehr als selbst mit schweren Einfachwänden.

Die Trennung der Wandschalen sollte möglichst bis zur Dachhaut und bis zum Kellerfundament vorgenommen werden. Schlecht ausgeführte Fugen können nachträglich mit einem Sägeverfahren schalltechnisch verbessert werden.

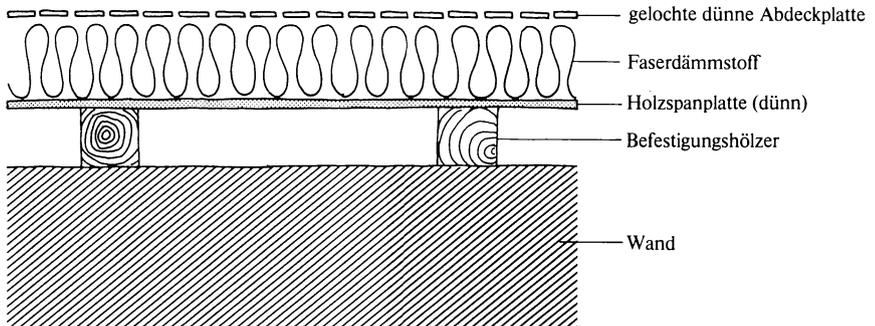
In manchen Fällen soll eine Massivwand bereits beim Bau oder auch erst nachträglich, nachdem sich Mängel herausgestellt haben, durch Zusatzmaßnahmen schalltechnisch verbessert werden. Eine Verbesserung ist möglich, wenn die bisher einschalige Wand durch eine geeignete **schalldämmende Verkleidung** in eine zweischalige Wand umgewandelt wird.

Die erzielbare Verbesserung des Schallschutzes zwischen zwei Räumen hängt nicht nur von der Art der Verkleidung, sondern in hohem Maße vom Abstand zwischen dieser Verkleidung und der ursprünglichen Wand ab. Dieser Abstand wird z. B. durch eine 5 cm dicke Zwischenschicht aus Filz erreicht. Eine praktisch wirksame Verkleidung kann also z. B. so aussehen: Auf die Wand kommt eine Schicht aus ca. 50 mm Filz (Mineralfaserfilz), darauf z. B. 12 mm starke Gipskartonplatten.

Mit einer solchen Verkleidung ist eine erhebliche Verbesserung um 15–20 dB bei **leichten** Massivwänden möglich, dagegen nur eine geringe Verbesserung um 3 bis 4 dB bei schweren Wänden.<sup>1)</sup>

Für die praktische Ausführung der Verkleidung ist es noch entscheidend, wie die Befestigung der Vorsatzwand (z. B. Gipskarton) gehalten wird. Dabei sind angenagelte Leisten ungünstiger als Leisten, die über Dämmstreifen angeklebt werden.

#### Aufbau einer Wand aus mehreren Schichten



Wichtig ist dabei immer, daß Schallbrücken vermieden werden. Dies kann durch Zwischenräume geschehen, die aus praktischen Gründen oft mit weichen Materialien (Styropor, Gummi, Mineralfaser) gefüllt werden. Es empfiehlt sich, bei notwendigen Befestigungen Zwischenschichten aus weichem Material (Gummi, Holz) zu verwenden.

Durch das Anwachsen des Verkehrslärms ist die Schalldämmung der Häuser gegenüber Außenlärm in vielen Fällen zu einem brennenden Problem geworden. Die Übertragung des Außenlärms in die Räume erfolgt in den meisten Fällen hauptsächlich über die Fenster, da diese leichter sind als die Außenwände.

Die Schalldämmung der **Fenster** hängt von der Verglasung und von der Dichtung ab. Bei der Art der Verglasung ist vor allem auf einen hinreichenden Abstand zwischen den Scheiben zu achten (mindestens 5 cm). – Bei einer Gesamt-Glasdicke von 20 mm ist dann ein Schalldämmwert  $R$  gleich 50 dB zu erreichen, während ein Einfachfenster von gleicher Dicke etwa 35 dB aufweist.<sup>2)</sup> Für schalldämmende Fenster sollten weichfedernde Dichtungen und an mehreren Stellen einrastender Riegelverschluss verwendet werden.

Bei **Türen** hängt die Güte der Schalldämmung in erster Linie von der Schwere und Dicke von Türen, also vom Flächengewicht ab. Normale Türen besitzen ein niedriges Flächengewicht (10 bis 20 kg pro qm) und deshalb auch eine geringe Dämmung (17 bis 25 dB). Schwerere Zimmertüren mit zusätzlichen Falzdichtungen erreichen 25 bis 32 dB, schalldämmende Türen in Spezialausführungen 32 bis 40 dB und hochschalldämmende Türen (doppelschalige Stahlblechtüren für Rundfunk und ähnliches erreichen bis zu 50 dB. Große Werte erreichen auch zwei einfache Einzeltüren hintereinander geschaltet (40 dB), wie sie teilweise in Büroräumen oder Arztpraxen verwendet werden.

1) Nach Gösele/Schüle, 1977.

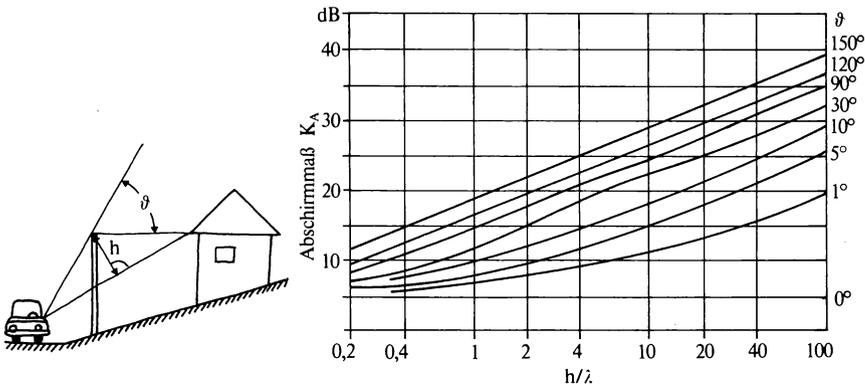
2) Nach Gösele/Schüle, 1977.

Die Abschirmung gegen **Verkehrslärm** kann am besten durch folgende Maßnahmen erreicht werden:

- Bau eines Abschirmwalles oder einer Abschirmwand;
- Verlegung der Straße in einen Einschnitt des Geländes.

Für die Wirkung einer Abschirmwand sind zwei Dinge von besonderer Bedeutung:<sup>1)</sup>

- Das Material muß schwer genug sein (mindestens etwa 10 kg pro qm);
- die Höhe der Wand (bzw. des Walls) im Verhältnis zur Höhe der Fahrzeuge und zur Höhe der angrenzenden Gebäude; je höher die Wand, desto besser die Abschirmwirkung. Entscheidend ist die sog. „wirksame Höhe“  $h$  und der Winkel  $\vartheta$  (vgl. Skizze und Diagramm).



Erläuterung zur Abbildung:

Das „Abschirmmaß“ ist die Pegelminderung durch die Wand,  $\lambda$  ist die Wellenlänge. Entsprechend ist  $h/\lambda$  für große Wellenlängen klein, das Abschirmmaß also auch klein.

Eine absorbierende Verkleidung derartiger Wände ist in zweierlei Hinsicht vorteilhaft. Einmal wird der Lärm nicht zu anderen Häusern jenseits der Straße reflektiert, zum anderen wird bei hohen Fahrzeugen eine Reflexion an diesen Fahrzeugen vermieden. Eine Schallabsorption der straßenabgewandten Seite einer Abschirmwand ist unnötig.

Die Abschirmwirkung derartiger Wände oder Wälle liegt bei etwa 5 bis 25 dB, der Lärmpegel an einer vierspurigen Schnellstraße mit etwa 2000 bis 3000 Pkws pro Stunde beträgt etwa 73 dB(A).

Das Diagramm besagt auch, daß in höheren Stockwerken (kleinerer Winkel  $\vartheta$ ) die Wirkung der Lärmschutzwand geringer ist. So kann der Lärm zwischen oberem und unterem Stockwerk eines achtstöckigen Hochhauses beispielsweise zwischen 45 dB(A) und 61 dB(A) schwanken, also oben mehr als doppelt so laut sein.<sup>2)</sup>

1) Nach Gösele/Schüle, 1977, S. 151.

2) Die Umwelt des Menschen, B I, 1975, S. 417.

### 3.6.6 Erreichbare Lärminderung und andere Zahlenwerte

#### a) An der Quelle

##### Mofa, Moped, Mokicks, Motorräder

Typ	Führer- schein (FS)	Besitzer bis 19 J.	Lärm- grenzwert	Anzahl 1977
Mofa 25 (bis 25 km/h)	Ab 15 J., ohne FS	61 %	70 dB(A)	} 2 Mill.
Mokick 40 (bis 40 km/h)	ab 16 J. FS Kl. 5	55 %	73 dB(A)	
Kleinkraftrad bel. Geschwind. 50 cm <sup>3</sup>	ab 16 J. FS Kl. 4	89 %	79 dB(A)	200 T.
Motorrad	ab 18 J. FS Kl. 1		84 dB(A)	300 T.

„Frisieren“ durch Öffnen der Saugseite und Entfernung des Auspuffeinsatzes + 12 dB(A)!

#### Auto

Lärmbelästigung durch Verkehr:

45 Mill. Bundesbürger sind tagsüber einem Verkehrslärm von mehr als 55 dB(A), 10 Mill. von mehr als 65 dB(A) ausgesetzt. In besonders verkehrsreichen Gegenden werden bis 80 dB(A) (Mittelwerte!) erreicht.

Zuwachs an Straßen von 1965 bis 1977:

7000 km Autobahn, 250 000 km Gemeindestraßen (Erschließung neuer Wohngebiete, „Ver-nichtung“ von ruhigen Erholungsgebieten).

Bestand an Fahrzeugen 1977: 20 Mill. Pkw; 1,2 Mill. Lkw;

Zunahme: 850 000 Pkw/Jahr (Lkw etwa konstant);

Mittlerer Schalldruckpegel: Pkw 73 dB(A) (fallend);  
Lkw 82 dB(A) (steigend).

Geräusche lassen sich nach **Antriebsgeräusch** (Motor, etc.) und **Fahrgeräusch** (Reifen, Fahr-bahn) unterscheiden.

Bis 50 km/h (bei Lkw bis 80 km/h) – 1. und 2. Gang – überwiegen die Antriebsgeräusche, darüber die Fahrgeräusche (4. Gang).

Verdopplung der Geschwindigkeit bringt im Bereich von etwa 30 km/h bis 200 km/h etwa +10 dB(A).

Verdopplung der Motordrehzahl etwa	10–15 dB(A);
„Sportliche“ Fahrweise (hohtourig)	+ 7 dB(A);
Automatisches Getriebe (niedertourig)	– 5 dB(A);
Technisch mögliche Verbesserung des Getriebes	– 3 dB(A);
Omnibusse mit gekapseltem Motor	–10 dB(A);
Vollkapselung von Motor + Getriebe	– 5 dB(A);
Bessere Reifen oder bessere Fahrbahn	je – 5 dB(A);
Pflasterstraße	+ 10 dB(A).

## Eisenbahn

Ersetzen von Klotzbremsen durch Scheibenbremsen vermeiden das Entstehen rauher Oberflächen der Räder: -10 dB(A).

Einführung von verkehrsberuhigten Zonen durch **Elektrofahrzeuge** (Elektro-Standardlinienbusse, -Citybusse, -Taxi, -Kommunalfahrzeuge, -Gewerbefahrzeuge, -Privatfahrzeuge, -Zweitwagen), Großraumtransporter. Probleme: Batteriewechseltechniken, Anschaffungspreis, Stromkosten.

## b) Schallschutz an Straßen

### Wände

Maßnahme	Verminderung in 25 m Abstand von der Straße	
	in 3 m Höhe	in 8 m Höhe
3 m hohe Schallschutzwand	- 9 dB(A)	- 0 dB(A)
5 m hohe Schallschutzwand	-15 dB(A)	-10 dB(A)
Erdwall, 5 m hoch	-13 dB(A)	- 0 dB(A)
4 m Tieflage + 3 m Schallschutzwand	-10 dB(A)	- 0 dB(A)
Bäume und Büsche	10 dB(A) je 100 m	
Gras	3 dB(A) je 100 m	
Nebel	2 dB(A) je 100 m	

Hauswände	Typ	Schalldämm-Maß R
Einfachwände	60 mm Porengipsplatten	28 dB
	100 mm Porengipsplatten	35 dB
	60 mm Bimsbetonplatten	36 dB
	115 mm Bimsbetonplatten	45 dB
	100 mm Normalbeton	46 dB
	250 mm Normalbeton	60 dB
	115 mm Hochlochziegel	47 dB
	115 mm Vollziegel	49 dB
Doppelwände	2 x 60 mm Bimsbetonplatte, verputzt, dazwischen 50 mm Mineralfasermatten	50 dB
	2 x 115 mm Hochlochziegel, dazwischen Dämmfuge, auch Decken getrennt	65 dB
	dasselbe, jedoch Decken <b>nicht</b> getrennt	54 dB

### Fenster

Einfachfenster, normal	17–25 dB
Doppelfenster, Isolierverglasung	35–42 dB
Verbundfenster	38–48 dB
Kastenfenster (großer Abstand)	48–55 dB

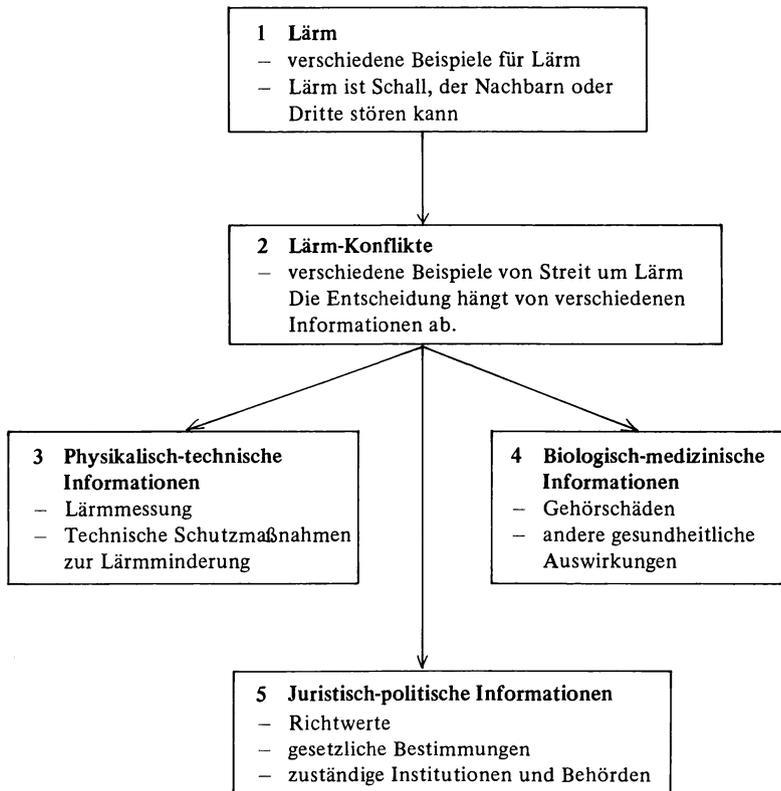
### Türen

Normal	17–25 dB
Schwer, mit Falzdichtung	25–32 dB
Hochschalldämmende Türen (doppelschalige Stahlblechtüren für Rundfunk o. ä.)	40–50 dB
Zwei einfache Türen hintereinander (mit hinreichend großem Abstand)	40 dB

## 4. Entwürfe einzelner Unterrichtsabschnitte

### 4.1 Erster Unterrichtsabschnitt: Lärm in unserer Umwelt

#### 4.1.1 Sachstruktur



#### 4.1.2 Lernziel

Z 1 Lärmprobleme und Lärmbekämpfung.

- Lärm als Problem der eigenen Umwelt erkennen;
- Notwendige Informationsbereiche zur erfolgreichen Bekämpfung von Lärm in groben Umrissen vorab „anpeilen“.

### 4.1.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel

- Schülerheft S. 2 und S. 23, evtl. auch S. 46–48;
- **Zeitungsausschnitte** über Lärm, die von **Schülern** möglichst **vorher** gesammelt werden (vgl. 3.1);
- Evtl. Film (Aufzeichnung vom Fernsehen, z. B. J. Pütz, vgl. 8.7);
- Cassette, Beispiele Nr. 2–8, 12–18.

### 4.1.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Ziel ist die Aufarbeitung von Umweltinformationen zum Problem Lärm, und zwar

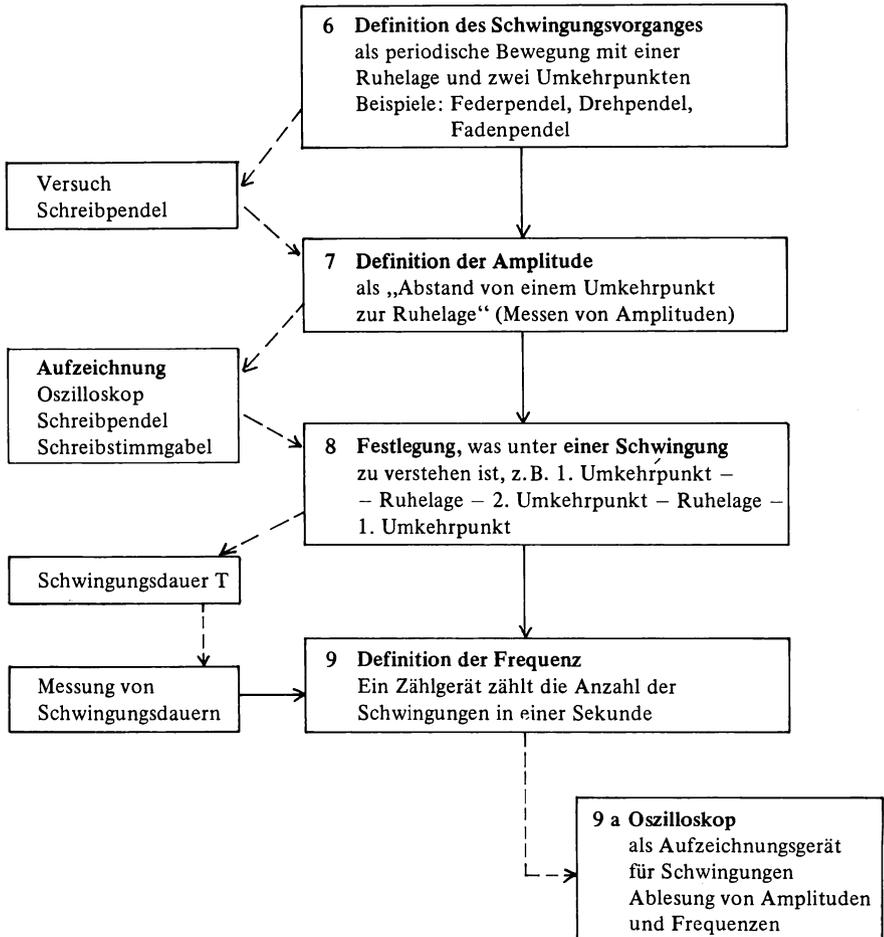
- **eigene** Erfahrungen und Beispiele (z. B. auch der Eltern am Arbeitsplatz);
- aus der eigenen Umgebung (Zeitungsausschnitte).

Nach einer entsprechenden Diskussion mit Zusammenfassung (Tafel, Heft) kann der Arbeitsbogen S. 2 (Schülerheft) bearbeitet werden. Daraus sollen Impulse für die **Planung** des weiteren Unterrichts bezüglich Reihenfolge und Gewicht entstehen. – Erkundungen (vgl. 2.4) oder Befragungen (z. B. der Eltern) planen.

Als günstiger Einstieg hat sich auch ein **Simulations-Rollenspiel** über einen Fall (z. B. im Anschluß an einen Zeitungsausschnitt oder eine eigene Erfahrung) erwiesen (vgl. 2.3).

## 4.2 Zweiter Unterrichtsabschnitt: Amplitude und Frequenz von Schwingungen

### 4.2.1 Sachstruktur



Die Graphik der Sachstruktur zeigt einerseits ein Minimalprogramm (Blöcke 6 bis 9), andererseits mögliche Alternativen und Ergänzungen bei der Bearbeitung der Thematik. Die Kernbegriffe des Abschnitts sind also **Schwingungsvorgang**, **Amplitude** und **Frequenz**. (Minimalprogramm: Versuche V 1 – V 4, V 7, Blöcke 6–9a). Dabei wurde in diesem Minimalplan

bewußt auf den Begriff **Schwingungsdauer** verzichtet, weil er erhebliche zusätzliche mathematische Schwierigkeiten für die Schüler bringt (Ablesung auf dem Oszilloskop, Umrechnung  $f = \frac{1}{T}$ ) und später entbehrlich ist.

Daneben bieten sich folgende 3 Alternativen für Ergänzungen und Ausweitungen an:

a) Durch Hinzunahme des Schreibpendels (Versuch V 5) werden die Blöcke 6, 7 und 8 erweitert. Die gelernten Begriffe können daran wiedererkannt, geübt, wiederholt werden. Auch der Block „Schwingungsdauer“ kann mit einbezogen werden.

b) Nach dem Block 8 wird die **Aufzeichnung von Schwingungsvorgängen** zum eigenständigen Thema gemacht. (Aufzeichnung und Ablesung von Ruhelage, Umkehrpunkten, Amplituden, Schwingungsdauern). Dieser Weg beginnt mit den Schreibpendelversuchen (V 5), schließt Oszilloskop (V 7) und Schreibstimmgabel (V 6) ein und führt zu einem Vergleich der Aufzeichnungsmethoden.

c) Im Anschluß an Block 8 werden die **Schwingungsdauer**  $T$  und die Frequenz  $f$  parallel definiert. Danach folgen Schüler- und Lehrerversuche zur Bestimmung von Schwingungsdauern und Frequenzen (Versuche V 3 und V 7). Dabei könnte auch die Unabhängigkeit der Schwingungsdauer von der Amplitude herausgearbeitet werden.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß die Ergänzungen a)–c) für die Bearbeitung der Unterrichtseinheit nicht notwendig sind. Lehrer, denen nur eine begrenzte Zeit zur Verfügung steht, sollten sich tatsächlich nur an dem Minimalprogramm orientieren.

## 4.2.2 Lernziel

Z 2 Amplitude und Frequenz

Die Grundbegriffe **Amplitude** und **Frequenz** eines Schwingungsvorganges kennenlernen und üben (Voraussetzung für Lärm, z.B. für das Audiogramm).

## 4.2.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel

Schülerheft S. 3, 4 und evtl. S. 24 bis 25.

Für Versuche die folgenden Geräte

Je Schülergruppe: 1 Stoppuhr  
1 Blattfeder mit Spannvorrichtung (oder anderen Schwinger)

Für Demonstrationen:

Mehrere Schallquellen (Stimmgabel, Lautsprecher mit Sinusgenerator, Gitarre ...)

- 1 Stroboskop
- 1 Becherglas
- 2 Fadenpendel
- 1 Federpendel
- 1 Drehpendel
- 1 Blattfeder mit Halterung und angeklebter Papierfahne
- 1 Lichtschranke mit Spannungsversorgung
- 1 elektronisches Zählgerät mit automatischer Abschaltung nach 1 sec. oder Impulsratenmeßmöglichkeit (Imp./s)
- 1 Blechdose mit Düse (Loch) und 2 Löchern zur Aufhängung
- 1 große Rolle Papier (z.B. von der Zeitung)

- 1 dicker Filzschreiber
- 1 Schale oder Schüssel
- 1 Deckenhaken (oder Stativmaterial)
- 1 Metronom (oder Stoppuhr)
- 1 Schreibstimmgabel (20 Hz, 200 Hz, evtl. mehr)
- 1 Gummihammer
- mehrere Dia-Deckgläser } oder/und { 2 m Metallpapier
- 1 Kerze + Streichhölzer } } 1 Trafo
- 1 Diaprojektor (oder Overheadprojektor)
- 1 Oszilloskop
- 1 Stoppuhrmodell
- Blatt Papier
- Stativmaterial
- Verbindungskabel
- Perlonfaden
- Tesakrepp

#### 4.2.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

- V 1: Einstieg evtl. mit verschiedenen **Schallquellen**, deren Vibrationen fühlbar sind und mit einigen technischen Tricks auch sichtbar gemacht werden können.

Was ist eine Schwingung?

- V 2: Vorführung **verschiedener** Beispiele  
Schüler zeigen jeweils **Ruhelage** und **Umkehrpunkt**, diese werden entweder an der Tafel mit Kreide oder durch Stativmaterial markiert (Amplitudenmessung!) Übungen dazu im Schülerheft, S. 3.
- V 3: Einführung des Begriffes **Frequenz** als Maß für die Schnelligkeit einer Schwingung (später: Tonhöhe der Töne).
- V 4: Bestimmung von hohen Frequenzen mit einem elektronischen Zählgerät
- Übungen zur Frequenzbestimmung: Schülerheft S. 4.
- V 7: Einführung des Oszilloskops zur Amplituden- und Frequenzbestimmung. Minimum ist ein halbquantitatives Verständnis, mit dem Oszilloskopbilder mit größerer (kleinerer) Frequenz bzw. größerer (kleinerer) Amplitude richtig „gelesen“ werden.

Die Zusatzversuche V 5 und V 6 kann jeder Lehrer mit Hilfe der Sachstruktur und der dort gegebenen Erläuterungen selbst einplanen.

#### 4.2.5 Vorschlag für überblickmäßige Kurzbehandlung (1 Std.)

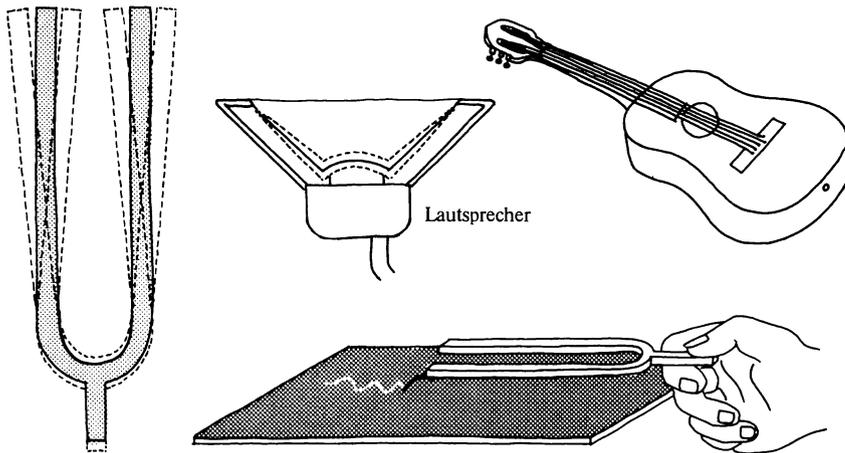
1. Schall entsteht durch Schwingungen der Schallquelle (V 1)  
Beispiele für Schwingungsvorgänge vorführen (V 2, D S/DL).
2. Amplitude (Block 7)  
Beispiele mit verschiedener Amplitude vorführen (V 2, DS/DL). Dabei jeweils
  - a) Ruhepunkt und Umkehrpunkt zeigen und **fixieren** (z.B. mit Kreide oder Stativmaterial)
  - b) Abstand als Amplitude messen.

3. Beispiele für verschiedene Frequenzen vorführen (V 3, DS/DL).
4. Frequenzen bestimmen
  - a) Mit dem Auge zählen  
(z.B. 10 s, umrechnen auf 1 s)
  - b) Mit dem Zählgerät 1 s lang zählen (V 4, DS/DL).

#### 4.2.6 Versuche

Versuch V 1	Schall wird durch Schwingungen erzeugt	DL/DS
-------------	--	-------

**Geräte:** Verschiedene Schallquellen  
(Lautsprecher, Stimmgabel, Gitarre, ...)  
1 Schreibstimmgabel + berußte Glasplatte  
1 Stroboskop  
1 Becherglas  
1 Blatt Papier



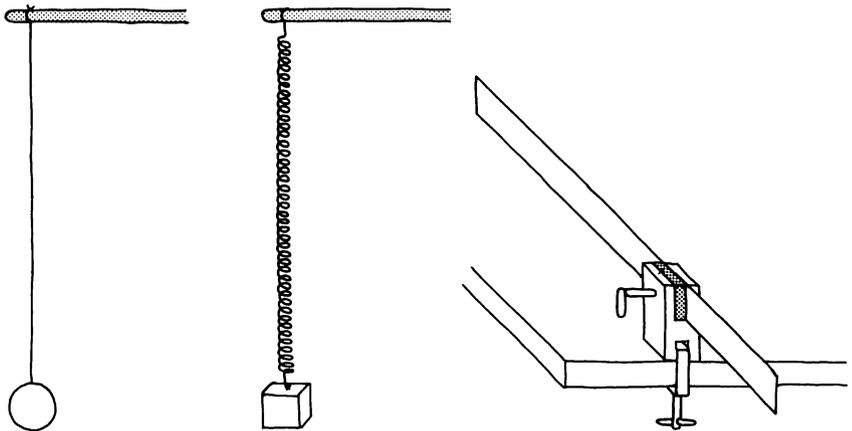
#### Durchführung:

Die Vibrationen sollen fühlbar und sichtbar gemacht werden durch

- vorsichtiges Berühren;
- mit der Stimmgabel Gegenstände berühren  
(z.B. Rand eines Becherglases, Blatt Papier);
- Stimmgabel über berußte Platte ziehen;
- beliebige Schallquelle (mit möglichst großer Amplitude, z.B. tiefe Gitarrenseite) im Stroboskoplicht beobachten.

Versuch V 2	Verschiedene schwingende Gegenstände und ihre Amplitude	DL/DS
-------------	--	-------

**Geräte:** 2 gleiche Fadenpendel  
 1 Federpendel  
 1 Blattfeder  
 Stativmaterial  
 (insbesondere bewegliche Zeiger an einer Schiene o. ä.)



**Durchführung:**

- a) Vorführung verschiedener Schwingungsvorgänge
- b) Ruhelage und Umkehrpunkt
- c) Messung von Amplituden

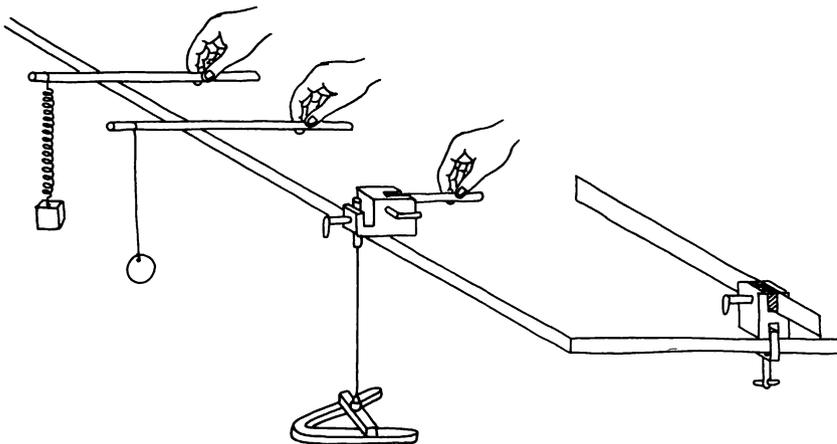
Je nach Gegebenheiten in der Schule werden die verschiedenen Pendel an Deckenhaken oder an einem Rahmen aus Stativmaterial aufgehängt. Das Federpendel sollte (bei gegebener Feder) eine möglichst große Masse haben (große Schwingungsdauer).

Zu b) und c): Es muß Material zum Fixieren der o. g. Punkte bereitgestellt werden (z. B. bewegliche Zeiger an einer Schiene; Tonnenfüße mit kurzen Stativstangen o. ä.). Zur Einführung des Begriffs Amplitude eignen sich zwei gleiche Pendel, die zu gleicher Zeit mit verschiedener Amplitude angestoßen werden.

Versuch V 3	Messung von Amplitude und Frequenz (bzw. Schwingungsdauer)	G 2
-------------	---	-----

**Geräte:** Je Gruppe: 1 Stoppuhr  
1 Zollstock (oder Maßband)  
Hilfsmittel zur Markierung

- a) Je Gruppe 1 Blattfeder mit Halterung
- b) 1. Gruppe: 1 Fadenpendel  
1 Stativstange
2. Gruppe: 1 Drehpendel  
1 Stativstange  
1 Muffe
3. Gruppe: 1 Federpendel  
1 Stativstange
4. Gruppe: 1 Fadenpendel  
usw.



### Durchführung:

Dieser Versuch ist der einzige Schülergruppenversuch in dieser Unterrichtseinheit. Sein Ziel ist die Festigung der beiden Grundbegriffe **Amplitude** und **Frequenz**.

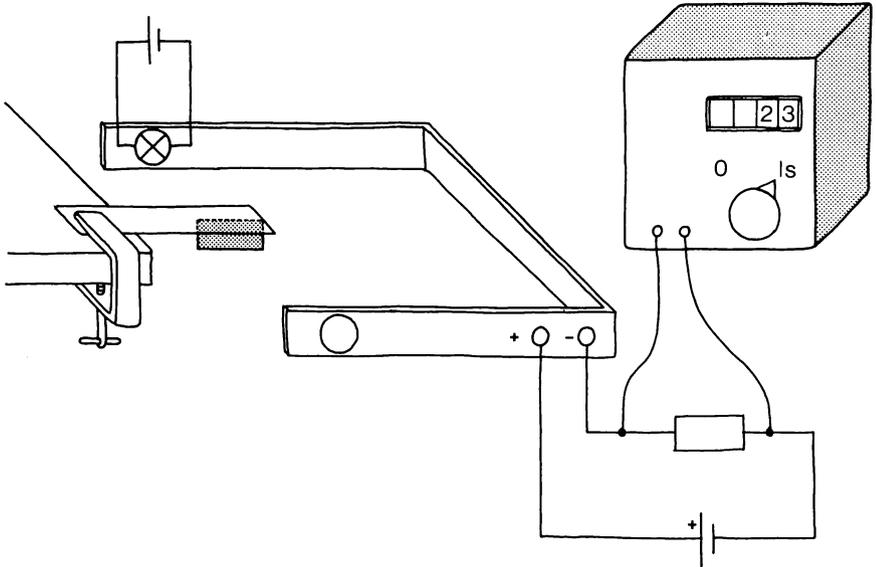
Daher sollen mehrere Frequenzmessungen bei verschiedenen Amplituden durchgeführt werden. Zur Messung der Amplituden empfiehlt sich eine **Markierung** von Ruhelage und (erstem) Umkehrpunkt, z.B. durch Markierungsnadeln mit farbigem Kopf auf einer dahinter stehenden Pappwand oder mit Stativmaterial o. ä. Zur Messung der Frequenz zählen Schüler die Anzahl der Schwingungen in 10 s (100 s) und dividieren anschließend durch 10 (100).

Versuch a) sollte in jedem Fall durchgeführt werden, während Versuch b) bei Zeitknappheit entfallen kann. Fadenpendel, Federpendel und Drehpendel werden an der Stativstange aufgehängt, die an der Tischkante festgehalten wird. Die Blattfeder wird mit der Halterung an der Tischkante festgeklemmt.

Bei der Blattfeder kann die Frequenz durch Verkürzen der Blattfeder vergrößert werden, bis die Schwingungen mit dem Auge nicht mehr zählbar sind. Hier schließt dann der Lehrer-versuch V 4 an.

Versuch V 4	Frequenzbestimmung mit einem Zählgerät	DL/DS
-------------	--	-------

- Geräte:**
- 1 elektronisches Zählgerät mit automatischer Abschaltung nach 1 s (!) oder Impulsratenmeßmöglichkeit (Imp./s.)
  - 1 Lichtschranke mit Spannungsversorgung und geeignetem Vorwiderstand
  - 1 Blattfeder mit Halterung und angeklebter Papierfahne
  - Evtl. zusätzlich: 1 Mikrophon



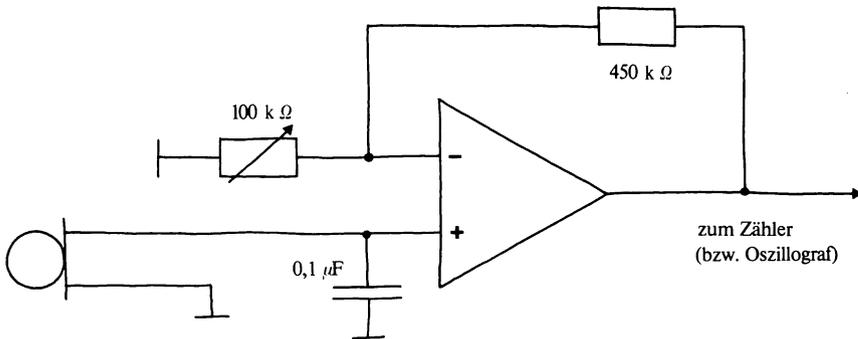
**Aufbau:**

1. Die Lichtschranke ist gemäß Anleitung des Herstellers für die Erzeugung von Impulsen zu beschalten. Die obige Zeichnung zeigt eine Möglichkeit.
2. Die Blattfeder mit angeklebter Papierfahne ist so zu justieren, daß sie in der Ruhelage den Lichtstrahl gerade eben unterbricht und schon eine kleine Bewegung genügt, einen Impuls auszulösen. Die Papierfahne sorgt dann dafür, daß bei einer ganzen Schwingung nur **ein** Impuls gezählt wird (und nicht zwei).

**Durchführung:**

1. Bei großer Länge der Blattfedern können die Schwingungen mit dem Auge **und** mit dem Zähler gezählt werden (Frequenzen bis ca. 5 Hz). Zunächst läßt man **nur** die Schüler 10 s lang zählen und bestimmt die Frequenz. Dann zählt man mit dem Zähler ebenfalls zunächst 10 s, dann in der Automatik-Stellung (Abschaltung nach 1 s).
2. Nun kann man zu kleineren Blattfederlängen und damit zu größeren Frequenzen übergehen.

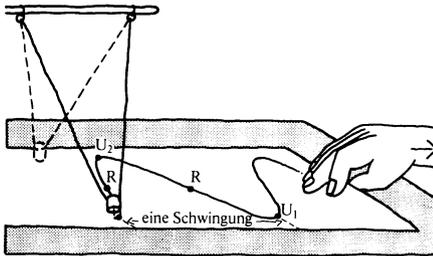
3. Evtl. kann man schon hier weitere Messungen von Frequenzen an Stimmgabel oder ähnlichen Tonquellen mit Mikrofon und Zählgerät anschließen (vgl. V 8 und V 9). Um das Ansprechen des Zählers noch sicherer zu machen, kann ein Verstärker zwischen Lichtschranke und Zähler bzw. zwischen Mikrofon und Zähler geschaltet werden. Dann genügen auch geringere Amplituden, um ein Ansprechen des Zählers zu erreichen. Die Bestimmung der Frequenz von Tönen mit Zähler und Mikrofon ist bei manchen Zählern **nur** so möglich!  
Schaltung mit Operationsverstärker und Mikrofon:



Es ist dann möglich, die Frequenz verschiedener Töne direkt mit dem Zähler zu bestimmen. Mit dem variablen Widerstand 100 K kann die Verstärkung  $V$  verändert werden ( $V = 4,5$  bis ca.  $10^5$ ). Sie wird so eingestellt, daß der Zähler den immer vorhandenen „Brumm“ (Netzfrequenz 50 Hz) **nicht** mitzählt.

Versuch V 5	Das Schreibpendel	DL/DS
-------------	-------------------	-------

**Geräte:** ca. 4 m Perlongarn  
 1 Blechdose mit Düse (Loch)  
 1 Rolle Papier (ca. 1 m breit, z. B. von einer Zeitung)  
 1 Rolle Tesakrepp  
 1 dicker Filzschreiber  
 1 Schale oder Schüssel  
 bei fehlendem Deckenhaken Stativmaterial  
 1 Metronom oder 1 Stoppuhr

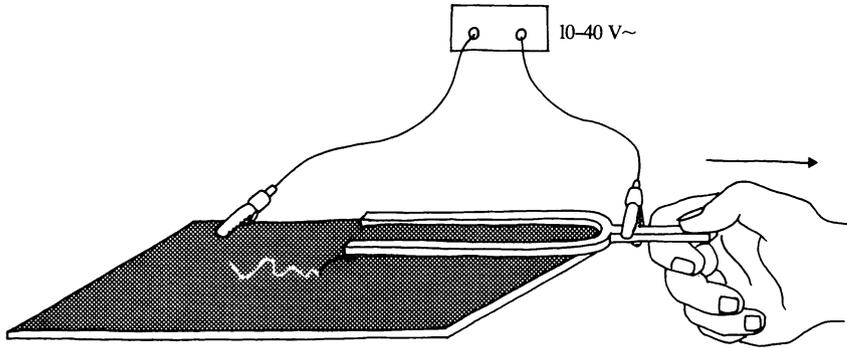


### Durchführung:

- Zur Vermeidung von Längsschwingungen wird die Dose an zwei ca. 1–2 m langen Fäden aufgehängt. Nach dem Füllen **mit Wasser** lässt man die Dose dicht über dem unbewegten Papier pendeln. Die Wasserspur wird mit dem Filzschreiber nachgezogen. Vor und nach Gebrauch wird die Dose in eine Schale gestellt. Die Verwendung von Färbemitteln ist nach unseren Erfahrungen nicht zu empfehlen.
- Wie a), jedoch wird die Papierbahn von einem Schüler mit gleichmäßiger Geschwindigkeit unter dem Pendel weggezogen. Ein anderer Schüler sollte dabei die Papierbahn auf der anderen Seite des Tisches führen. Die entstandene Kurve wird mit einem Filzschreiber nachgezogen und das Papier mit Tesakrepp zur Diskussion an die Tafel geheftet oder – bei kleinen Gruppen – auf den Boden gelegt.  
 Je nach Qualität der Papierrolle kann das gleichmäßige Ziehen schwierig werden. Ist dies der Fall, sollte der betroffene Schüler das Ziehen vorher einmal ausprobieren.
- Wie vorher. – Zusätzlich macht ein Schüler nach dem Takt eines Metronoms in 1/2-Sekunden-Abständen oder 1-Sekunden-Abständen mit dem Filzschreiber Zeitmarken auf die Papierbahn. (Die Zahlen auf dem Metronom geben die Anzahl der Schläge pro Minute an). Es werden mehrere Schwingungskurven mit verschiedener Zuggeschwindigkeit und verschiedener Amplitude hergestellt.  
 Ist kein Metronom verfügbar, kann ein Schüler den Sekundentakt nach der Stoppuhr geben.

Versuch V 6	Schwingungskurven von Stimmgabeln	DL/DS
-------------	-----------------------------------	-------

- Geräte:** 1 Schreibstimmgabel 20 Hz, 1 Schreibstimmgabel 100 Hz  
 1 Gummihammer  
 4 Dia-Deckgläser (50 x 50 mm)  
 1 Kerze + Streichhölzer  
 2 m Metallpapierstreifen + Experimentierkabel + 1 Trafo  
 1 Diaprojektor oder 1 Overheadprojektor

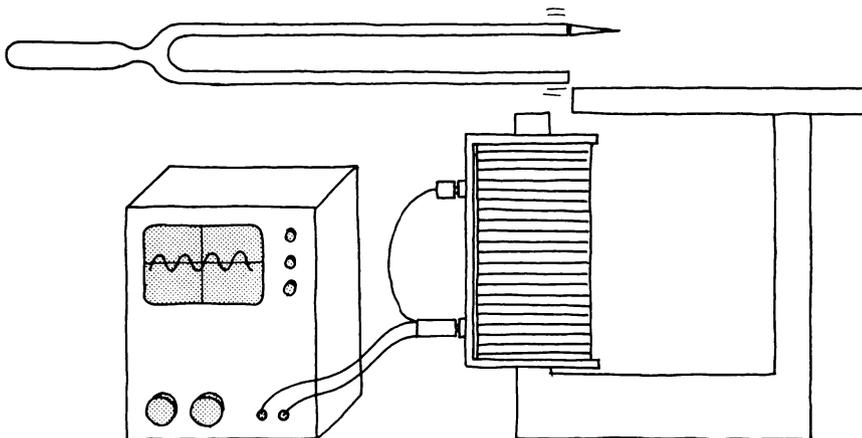


**Durchführung:**

- Mit der Kerzenflamme werden die Dia-Deckgläser beruht. Führt man die Schreibfeder der angeschlagenen 20-Hz-Stimmgabel gleichmäßig über die Glasplatten, entstehen Schwingungskurven, die mit dem Diaprojektor oder dem Overheadprojektor projiziert werden können.
- Zwischen das Metallpapier (Anschluß mit Krokodilklemme) und die Schreibstimmgabel 100 Hz wird eine Spannung von 10–40 V gelegt. Die Stimmgabel wird angeschlagen und ihre Schreibfeder gleichmäßig über das Metallpapier gezogen. Stücke des so mit Schwingungskurven versehenen Metallpapiers werden an die Schüler verteilt.  
 Bei Verwendung von Wechselspannung läßt sich auch anhand der Strommaxima (stärkere Schwärzung des Metallpapiers) die Schwingungsdauer bestimmen. Ein Wechselstrom von 50 Hz hat eine Schwingungsdauer von 0,02 sek. Das bedeutet, im Abstand von 0,01 sek. ist eine Schwärzung des Papiers zu erkennen. Bei der Spur der 20-Hz-Stimmgabel sind 5 solcher Schwärzungen abzuzählen.

Versuch V 7	Bestimmung von Amplitude und Frequenz mit dem Oszilloskop	DL/DS
-------------	--	-------

**Geräte:** 1 Schreibstimmgabel 20 Hz, 1 Schreibstimmgabel 100 Hz  
 1 Blattfeder mit Halterung und angeklebten Ferritkernen  
 1 Gummihammer  
 1 Oszilloskop  
 1 Spule großer Windungszahl, z. B. 23 000 Windungen  
 1 großer U-förmiger Magnet  
 2 Eisenjoche, 2 Polschuhe, 1 Tischklemme



### Durchführung:

Mit diesem Versuch sollen die Schüler eine Zuordnung

- zwischen **Amplitude der Schwingung** (Stimmgabel, Blattfeder) und **Höhe des Bildes** und
  - zwischen **Frequenzen der Schwingung** und **Anzahl der „Wellen“ des Bildes**
- lernen, die als Voraussetzung für den Einsatz des Oszilloskops in den folgenden Versuchen wichtig ist.

Man beginnt am besten mit abgeschalteter Zeitablenkung und langsamen Schwingungen der Blattfeder.

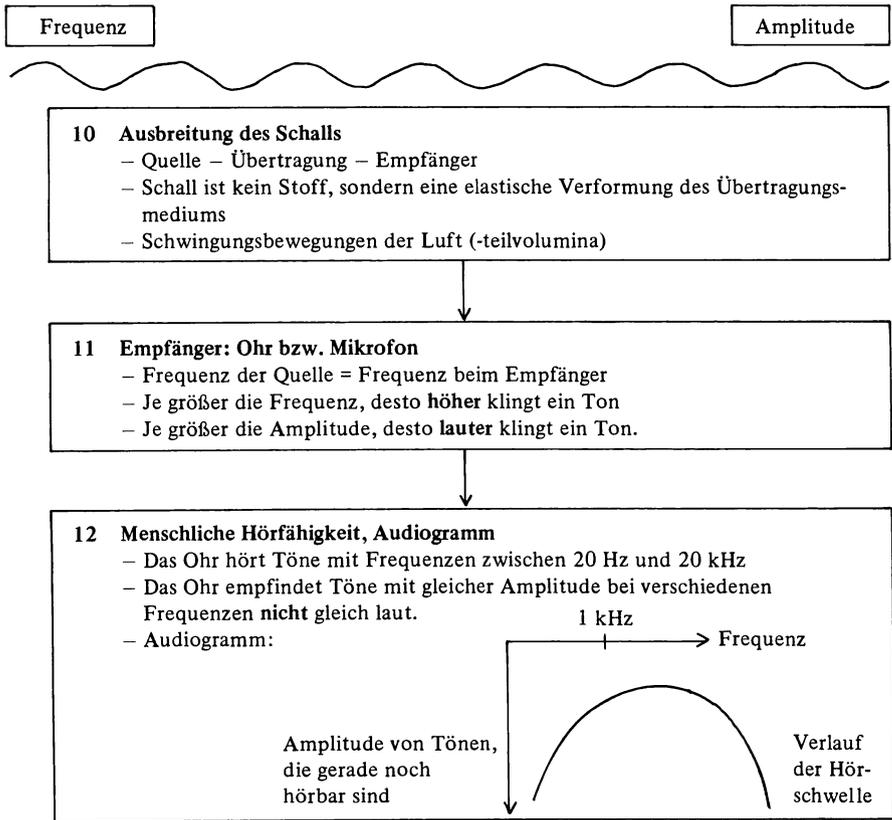
Die Amplitude kann in cm auf dem Bildschirm abgelesen und mit der „richtigen“ Amplitude (auch in cm) verglichen werden.

Bei Frequenzen soll hauptsächlich größer und kleiner unterschieden werden. (Frequenzen werden später entweder auf dem Sinusgenerator oder dem elektronischen Zähler abgelesen!) Bei anderen Unterrichtsalternativen (mit „Schwingungsdauer“ oder Schwerpunkt „Aufzeichnung“) ist der Versuch entsprechend auszuweiten.

**Hinweis:** Als Vorgriff auf die Versuche im 2. Abschnitt kann man Schüler kräftig in den Luftspalt hineinpeifen lassen.

# 4.3 Dritter Unterrichtsabschnitt: Schall, menschliche Hörfähigkeit und Audiogramm

## 4.3.1 Sachstruktur



Dieser Unterrichtsabschnitt hat zwei Schwerpunkte: Vorstellungen über die Schallausbreitung zu diskutieren und zu korrigieren und die Hörfähigkeit des menschlichen Ohres zu untersuchen. Zur weiteren Erläuterung sei auf den Lehrertext 3.1 und auf die Texte im Schülerheft sowie auf 4.3.4 verwiesen.

### 4.3.2 Lernziele

#### Z 3 Ausbreitung des Schalls

- Einige zutreffende Vorstellungen über die Ausbreitung des Schalls aufbauen.

#### Z 4 Menschliche Hörfähigkeit, Audiogramm

- Einige Eigenschaften des menschlichen Gehörs kennenlernen (Amplitude-Lautstärke, Frequenz-Tonhöhe, Hörgrenzen)
- Wissen, was ein Audiogramm aussagt und wie es aufgenommen wird.

### 4.3.3 Für den Unterricht benötigte Hilfsmittel

- Schülerheft S. 5–11 und evtl. S. 26–29.
- Für Versuche die folgenden Geräte (für Demonstrationen)
  - 1 Tongenerator (Sinusgenerator)
  - 1 Lautsprecher (besser: 1 Tiefton- und 1 Hochton-L.)
  - 1 Stimmgabel
  - 1 Mikrofon
  - 1 Oszilloskop
  - 1 Verstärker (z.B. OP-Baustein!)
  - 1 elektronischer Zähler (mit automatischer Abschaltung nach 1 sec.)
  - 1 Vorwiderstand (100  $\Omega$  o.ä.)
  - Lärm-Beispiele von der Compact-Cassette

### 4.3.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

- V 8: Untersuchung der Schallausbreitung. Diskussion mit Schülern über Vorstellungen zur Schallausbreitung (vgl. dazu Lehrtext 3.1). Im Schülerheft (S. 5) wird eine Vergleichsdiskussion zwischen Ausbreitung eines Parfüms und Ausbreitung von Schall angeregt. Die Zusatzversuche in V 8 können zur Vertiefung und weiteren Anregung dienen. Für das Verständnis von Lärmschutzmaßnahmen sind besonders wichtig:

- die Struktur: Quelle – Ausbreitung – Empfänger (man unterscheidet entsprechend drei Arten von Lärmschutzmaßnahmen!)
- die Hin- und Herbewegung der Luft bei der Ausbreitung (die Schalldämpfung wird erklärt als Umwandlung dieser kinetischen Energie in Wärme durch Reibung an den Wänden. Daher hat Schaumstoff – viele kleine Kanäle mit großer Oberfläche – eine besonders große Dämpfung).

- V 9: Untersuchung des ankommenden Schalls mit Mikrofon und Oszilloskop und Vergleich mit dem Höreindruck (Schülerheft, S. 6 und 7).

Die Seite 8 im Schülerheft ist besonders dann zu empfehlen, wenn mit dem Begriff Schwingungsdauer gearbeitet wird. Diese Seite kann sonst nur verwendet werden, wenn überall die Schwingungsdauer gestrichen wird und die Schüler die Frequenz „intuitiv“ berechnen: eine Schwingung dauert 20 ms, also gibt es 50 Schwingungen in 1 s (= 1000 ms), also  $f = 50$  Hz. Seite 9 des Schülerheftes dient dazu, das Augenmerk der Schüler auf die Leistungsfähigkeit des menschlichen Ohres zu lenken.

- V 10: Untersuchung der Lautstärkeempfindung bei verschiedenen Frequenzen, mit zwei verschiedenen Methoden. (Schülerheft, S. 10 und 11).

Auf S. 29 des Schülerheftes wird noch eine etwas andere Darstellung des Audiogramms – ähnlicher dem vom Arzt aufgenommenen – erklärt. (Schülerheft, S. 10 und 11; vgl. auch 3.4.3).

### 4.3.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Behandlung in einer Stunde

Schallausbreitung kurz besprechen.

– V 10: Untersuchung der Lautstärkeempfindung bei verschiedenen Frequenzen, mit zwei verschiedenen Methoden. (Schülerheft, S. 10 und 11).

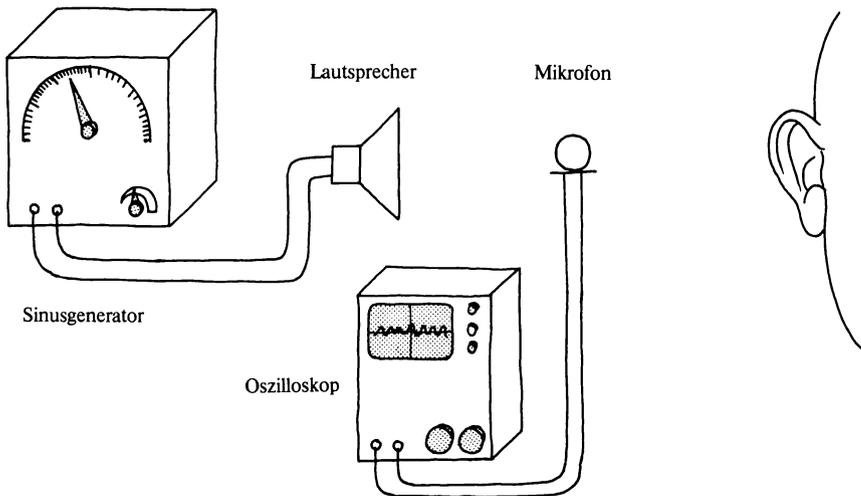
### 4.3.6 Versuche

Versuch V 8	Versuche zur Schallausbreitung	DL/DS
-------------	--------------------------------	-------

#### Geräte (für Grundversuch)

1 Sinusgenerator  
1 Lautsprecher  
1 Stimmgabel

1 elektronischer Zähler  
(mit automatischer Abschaltung nach 1 sec.!)  
evtl. zusätzlich: 1 Verstärker (z.B. OP-Baustein)



#### Durchführung

1. Ein Schüler wird demonstrativ in größerem Abstand von der **Quelle** (Lautsprecher oder Stimmgabel) als **Empfänger** aufgestellt.

Frage: Wie kommt es, daß er (und wir alle) etwas hören?

Was hören wir, wenn wir etwas an der Quelle verändern (Amplitude, Frequenz)?

Was hören wir, wenn wir den Ausbreitungsweg verändern (Hindernis, weiter weg, ...)?

2. Mit Mikrofon und Oszilloskop wird untersucht, was an verschiedenen Zwischenpunkten ankommt (Frequenz, Amplitude), Schallausbreitung durch Schwingungen längs des Ausbreitungsweges.

3. Mit Mikrofon und Zähler (vgl. V 4) wird die Frequenz beim Empfänger (Mikrofon) mit der Frequenz der Quelle verglichen. Diese kann ebenfalls durch direkten Anschluß an den Zähler bestimmt werden.

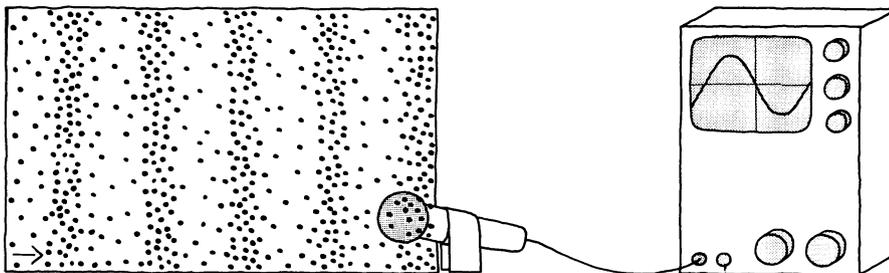
#### 4. Zusatzversuche (allgemein bekannt):

- 2 Stimmgabeln mit Resonanzkasten in einiger Entfernung, die erste wird angeschlagen, dann festgehalten. Beobachtung: Die zweite schwingt weiter, hat also durch **Schallübertragung** Energie erhalten.
- Stehende Schallwellen in Kundt'schem Rohr, nachgewiesen mit Korkmehl. Qualitative Durchführung! Wichtig: Demonstration der Bewegung der Korkteilchen als „Beweis“ für die Bewegung der Luft!
- Analogieversuch mit einer (auf dem Boden liegenden oder auf eine Stange geschoben) Flachbandfeder: Ausbreitung einer Störung (z.B. Verdichtung), Beobachtung der Schwingungsbewegung einer Windung durch aufgesetzte Papierreiter.
- Elektrische Klingel im Vakuum.

Versuch V 9	Frequenz und Tonhöhe Amplitude und Lautstärke	DL/DS
-------------	--	-------

#### Geräte:

- 1 Tonfrequenzgenerator (Sinusgenerator)
- 1 Lautsprecher (besser: 1 Tiefton- und 1 Hochton-L.)
- 1 Oszilloskop bzw. elektronischen Zähler
- 1 Mikrofon
- zusätzlich Lärm-Beispiele von der Compact-Cassette

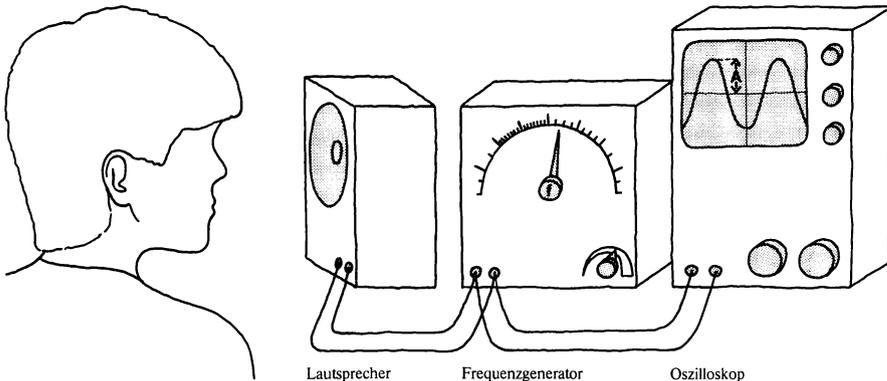


#### Durchführung:

- Das Oszilloskop dient mit Mikrofon zur Analyse des auch beim Ohr ankommenden Schalls.
- Veränderung der Frequenz, Beobachtung des Höreindrucks (Frequenzbestimmung: Sinusgenerator – Angabe, anschaulich ergänzt durch Beobachtung auf Oszilloskop oder dem elektronischen Zähler).
- Bestimmung der oberen und unteren Hörgrenze
- Veränderung der Amplitude (gemessen mit Oszilloskop)

Versuch V 10	Frequenzabhängigkeit der Lautstärke Aufnahme eines (Schwellen-)Audiogramms	DL/DS
--------------	---	-------

- Geräte:** 1 Tonfrequenzgenerator  
1 Lautsprecher (möglichst breitbandig)  
1 Oszilloskop  
1 Vorwiderstand (z. B. 100  $\Omega$ )

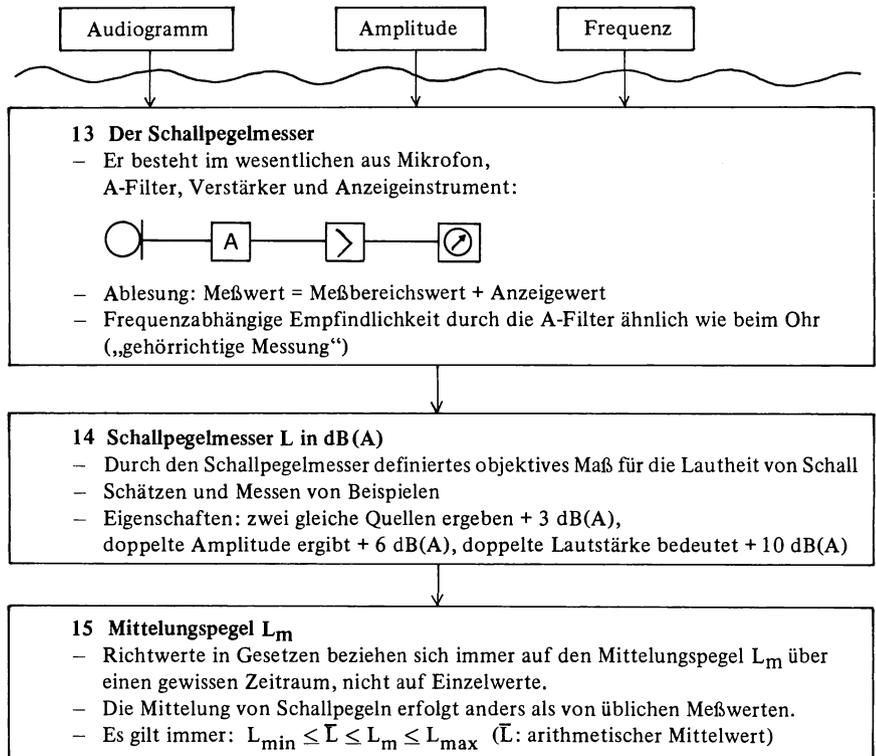


**Durchführung:**

- Der Vorwiderstand dient dazu, für kleinere Lautstärken des Lautsprechers, wie sie beim Audiogramm benötigt werden, eine gute Einstellmöglichkeit mit dem Amplitudendrehknopf des Sinusgenerators zu erreichen. (Außerdem liefert er eine stromproportionale Spannung für das Oszilloskop).
- Der Frequenzgang des Lautsprechers ergibt (unbekannte!) Meßfehler im Audiogramm, die aber erfahrungsgemäß die wesentlichen Aussagen und die grundsätzliche Gestalt des Audiogramms nicht verändern. Insbesondere behalten Relativaussagen (Unterschiede zwischen verschiedenen Personen) ihre Gültigkeit.
1. Versuchsreihe: Verschiedene Frequenzen (z. B. 250, 500, 1 K, 5 K, 10 K) werden mit **konstanter Amplitude** vorgeführt. Die Schüler schätzen die Lautstärke (Schülerheft, S. 10).
2. Versuchsreihe: (Audiogramm) Für verschiedene Frequenzen (125, 250, 500, 1 K, 2 K, 3 K, 4 K, 6 K, 8 K, 10 K, 12 K) wird die kleinste Amplitude gesucht und ins Diagramm eingetragen, bei der für eine Versuchsperson (Lehrer, Schüler) gerade ein Ton hörbar ist (Schülerheft, S. 10). Es ist günstig, alle Amplitudenmessungen mit der gleichen y-Ablenkempfindlichkeit durchzuführen. Man wählt den günstigsten Meßbereich so, daß man bei 125 Hz gerade die volle Ausleuchtung des Bildschirms ( $A \approx 50$  mm) erhält.

## 4.4 Vierter Unterrichtsabschnitt: Der Schallpegel L in dB(A)

### 4.4.1 Sachstruktur



Eine wesentliche didaktische Überlegung dieses Unterrichtsabschnitts besteht darin, das dB-Maß nicht – auch nicht in vereinfachter Form – mathematisch zu begründen, sondern durch Schätzen und Messen (V 11) und durch die Untersuchung der Eigenschaften (V 12 und V 13) dieses dB- bzw. dB(A)-Maß zu **veranschaulichen**.

Der Lehrer findet die entsprechenden mathematischen Definitionen und Aussagen in 3.1.

Beim Mittelungspegel  $L_m$  soll entsprechend vor allem vermittelt werden

- daß für die Praxis fast immer  $L_m$  maßgeblich ist (Richtwerte);
- daß  $L_m \neq \bar{L}$ ,  $L_m \geq \bar{L}$  ( $\bar{L}$ : arithmetischer Mittelwert),  
d.h.: der richtige Mittelungspegel ist immer **größer** als der „normale“ Mittelwert;
- daß  $L_m \leq L_{\max}$ ,  
d.h. der Mittelungspegel ist immer **kleiner** als ein einzelner Maximalwert.

Ein Beispiel, wie man praktisch  $L_m$  selbst ausrechnen kann, ist in 3.3 angegeben (vgl. auch 2.5).

#### 4.4.2 Lernziel

Z 5 Schallpegel L in dB(A)

- Die Lautstärke von Geräuschen in dB(A) schätzen
- Mit einem Schallpegelanzeiger messen
- Eigenschaften des Schallpegels kennen (z.B. Verdopplungsparameter + 3 dB(A) bzw. +10 dB(A))
- Einen Mittelungspegel etwa schätzen
- Die Bedeutung des Mittelungspegels in Bezug auf Richtwerte kennen.

#### 4.4.3 Für den Unterricht benötigte Hilfsmittel

Schülerheft, S. 12–14 und evtl. S. 29–32'

**Für die Versuche V 11 bis V 14 die folgenden Geräte (für Demonstrationen):**

- 1 (oder mehrere!) Schallpegelanzeiger
- 1 Verbindungskabel (Klinkenstecker auf 2 Bananenstecker)
- 1 Demonstrationsmeßinstrument (Meßbereich etwa 1 mA ~)
- 1 Tongenerator mit Lautsprecher
- 1 Oszilloskop

Mehrere (mind. 2) gleiche Schallquellen (z.B. Miniatursummer, Wecker, Bohrmaschinen, elektrische Klingel, o.ä.), Lärm-Beispiele zum Schätzen und Messen von der Compact-Cassette.

#### 4.4.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Nach einer kurzen Einführung empfiehlt es sich, die Schüler in Gruppen an den Seiten 12 und 29–31 arbeiten zu lassen (Blockdiagramm eines Schallpegelanzeigers). Parallel dazu machen alle Gruppen (möglichst jeder Schüler) nacheinander einige erste Messungen mit dem Schallpegelanzeiger (V 11), der dabei von Gruppe zu Gruppe weitergegeben wird, (günstig ist es, wenn mehrere Schallpegelanzeiger zur Verfügung stehen).

- V 12: Anschließend kann in zwei Teilversuchen geprüft werden, ob der Schallpegelanzeiger „gehörlich“ mißt (Schülerheft, S. 13).  
Es sollten möglichst viele Schätzungen und Messungen durchgeführt werden (Schülerheft, S. 14).
- V 13: Was bedeutet z.B. eine Erniedrigung des Lärmpegels durch eine Lärmschutzwand um 10 dB(A)?  
Oder:  $70 \text{ dB(A)} + 70 \text{ dB(A)} = ?$ ,  $0 \text{ dB(A)} + 0 \text{ dB(A)} = 3 \text{ dB(A)}$ !

Abschließend sollen in der Schule und Umgebung einige Lärmwerte gemessen und die Problematik des Mittelungspegels  $L_m$  besprochen werden. Ausgangspunkt für die Besprechung kann eine gemäß S. 14 (Schülerheft) aufgenommene Meßreihe an einer Verkehrsstraße sein, die mit einem entsprechenden Richtwert (vgl. Schülerheft S. 41) verglichen werden. Die auf der Cassette mitgelieferten Beispiele mit experimentell vom Lehrer vorher genau bestimmten Mittelungspegel  $L_m$  können zur weiteren Veranschaulichung dienen (Schülerheft, S. 14 und 2.5 oder 3.3).

Die Tatsachen  $L_{\min} \leq \bar{L} \leq L_m \leq L_{\max}$  werden vom Lehrer mitgeteilt und durch die Ergebnisse von V 13 plausibel gemacht. („Man kann mit dB(A)-Werten nicht so einfach rechnen, z. B.  $70 + 70 = 73$ ,  $0 + 0 = 3''$ “).

An Beispielen kann man etwas genauer werden:

76 dB(A) bedeuten 4 x soviel Schallenergie wie 70 dB(A).  $70 + 76$  dB(A) bedeutet also 5 x soviel Schallenergie wie 70 dB(A). Die Hälfte (das Mittel) wäre 2,5 x soviel. 2 x soviel wären 73 dB(A). Also ist das Mittel **größer** als 73 dB(A) (der arithmetische Mittelwert von 76 und 70). (Vgl. auch 4.4.7 und 3.1).

#### 4.4.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung

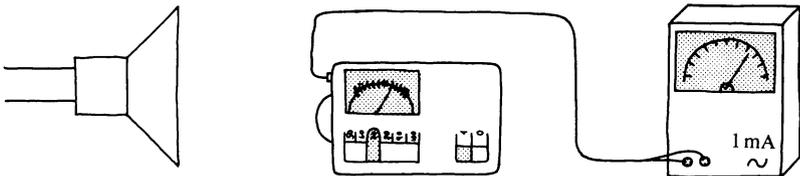
- Schätzungen und Messungen von Pegelwerten mit dem Schallpegelanzeiger (V 11 und Schülerheft, S. 12 und 14).
- Blockdiagramm eines Schallpegelanzeigers (S. 29 und 30 Schülerheft).
- V 13: Was bedeutet eine Erniedrigung um 10 dB(A)?
- Bedeutung des Mittelwerts  $L_m$  (Richtwerte; kleiner als Maximalwert!).

#### 4.4.6 Versuche

Versuch V 11	Beispiele von Lärmpegeln	G 1/DL/DS
--------------	--------------------------	-----------

##### Geräte:

- 1 Schallpegelanzeiger
- 1 Verbindungskabel (Klinkenstecker – 2 Bananenstecker)
- 1 Demonstrationsmeßinstrument
- Evtl. Cassetten-Rekorder mit Compact-Cassette



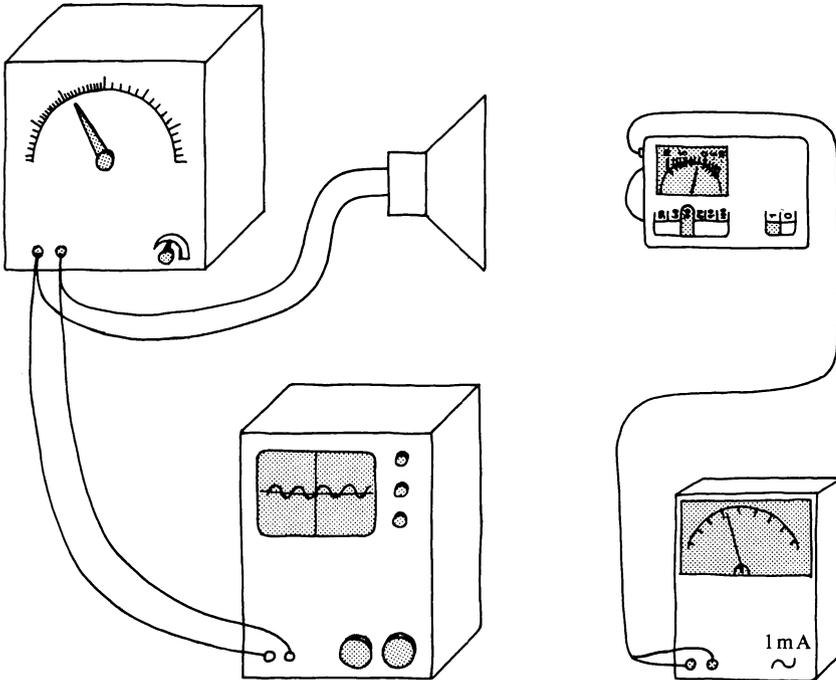
##### Durchführung:

- a) Die Schülergruppen erhalten nacheinander für ca. 5 Min. den Schallpegelmesser für **eigene** Messungen (parallel dazu arbeiten alle Gruppen an den Seiten 12 bzw. 29–31 im Schülerheft).
- b) Die weiteren Messungen werden als Demonstrationen durchgeführt, wobei das angeschlossene Demonstrations-Meßinstrument (Meßbereich z. B. 1 mA  $\sim$ ) die Möglichkeit schafft, daß die Schüler die Messungen halbquantitativ mitverfolgen; d. h., daß sie die jeweiligen **Veränderungen** verfolgen können, die Absolutwerte jedoch am Pegelmesser direkt abgelesen werden müssen.
- c) Die Lärm-Beispiele werden entweder selbst erzeugt oder bei einer kleinen Erkundung durch die Schule gefunden oder der Compact-Cassette entnommen.

Versuch V 12	Frequenzabhängigkeit der Anzeige des Schallpegelmessers	DL/DS
--------------	--	-------

**Geräte:**

- 1 Schallpegelanzeiger (mit angeschl. Demonstrationsmeßinstrument)
- 1 Tongenerator mit Lautsprecher
- 1 Oszilloskop



**Durchführung:**

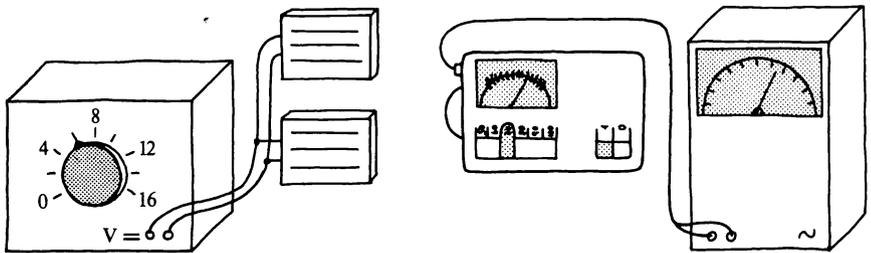
(vgl. Schülerheft, S. 13)

- a) Amplitude konstant.  $L$  in Abhängigkeit von  $f$  wird abgelesen und in das vorbereitete Diagramm eingetragen.  
Frequenzen: 250, 500, 1 K, 2 K, 3 K, 4 K, 6 K, 8 K, 10 K, 12 K.  
Achtung: Zuerst grob ausprobieren, in welchem Bereich die Meßwerte liegen, dann Ordinate beschriften.
- b) Immer auf gleichen Pegelwert  $L$  einstellen (z. B. 70 dB(A)) und Amplitude auf dem Oszilloskop ablesen.

Versuch V 13	Eigenschaften des Schallpegels L	DL/DS
--------------	----------------------------------	-------

**Geräte:**

- 1 Schallpegelanzeiger (mit angeschl. Demonstrationsmeßinstrument)
- 1 Tongenerator mit Lautsprecher
- 1 Oszilloskop
- Mehrere (mindestens 2) gleiche Schallquellen (z.B. Miniatursummer, Wecker, Bohrmaschinen o. ä.)
- 1 Gleichspannungsnetzgerät (f. Miniatursummer)



**Durchführung:**

- a) 2 bzw. 4 gleiche Schallquellen werden zuerst einzeln gemessen und ggf. auf gleichen Pegel eingestellt (z. B. durch geeigneten Abstand zum Schallpegelanzeiger), dann gemeinsam gemessen (+ 3 dB(A) bzw. + 6 dB(A)). Daß der Wert + 3 dB(A) für beliebige Anfangswerte gilt, kann man leicht zeigen, wenn man in verschiedenen Abständen Messungen durchführt.
- b) Verdopplung der Druck-Amplitude eines Tones (Tongenerator + Oszilloskop) ergibt + 6 dB(A).
- c) Wann empfinden wir einen Ton als doppelt so laut?  
Die Schüler sollen schätzen. Als Mittelwert mehrerer entsprechender Pegelwerte sollte sich etwa + 10 dB(A) ergeben.

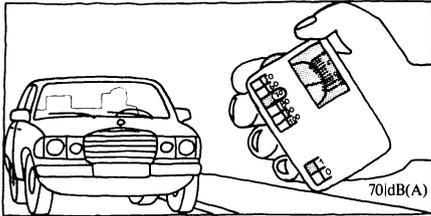
Der Schallpegelmesser sollte sich am Ort der Versuchsperson (VP) befinden (um Diskussion um Abstandsabhängigkeit zu vermeiden), aber von einer anderen Person abgelesen werden. Die Schallquelle wird zu Beginn jedes Versuchs auf denselben Grundpegel einreguliert und dann die Lautstärke kontinuierlich erhöht (langsam). Die VP ruft „Stop!“, wenn sie die Lautstärke als doppelt so groß wie zu Beginn empfindet. Daraufhin wird die Lautstärke konstant gehalten und der Schallpegel bestimmt. Anschließend abermals verdoppeln! Mehrere Versuchspersonen!

**Tabelle (Beispiel):**

	Grundpegel	1. Verdoppl.	2. Verdoppl.
VP 1	55 dB(A)	64 dB(A)	74 dB(A)
VP 2	55 dB(A)	65 dB(A)	.....

Versuch V 14	Erkundungen mit Schallpegelanzeiger	DL/DS
--------------	-------------------------------------	-------

**Geräte:** 1 (oder mehrere!) Schallpegelanzeiger  
 Compact-Cassette mit den Lärm-Beispielen  
 Cassetten-Abspielgerät

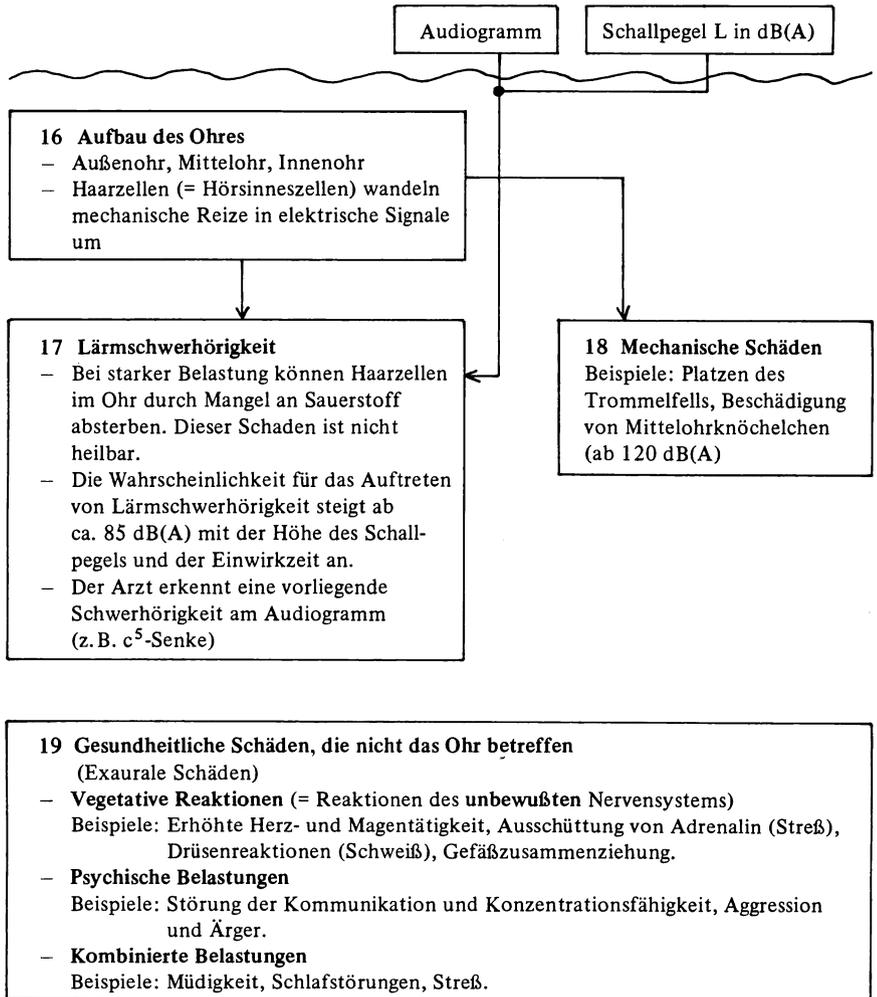


**Durchführung:**

- a) Vor der Erkundung ist ein Protokoll vorzubereiten (für Einzelmessungen: Wie Schülerheft, S. 14 oben, für Mittelwerte S. 14 unten).
- b) Mögliche Erkundungsorte: Pausenraum der Schule, Druckerei der Schule, Schulhof; verkehrsreiche Straße in der Nähe der Schule.
- c) Weitere Einzelmessungen mit anschließender Schätzung eines Mittelungspegels  $L_m$  können mit Hilfe der Compact-Cassette im Klassenraum durchgeführt werden (vgl. 2.5 und 3.3!).

## 4.5 Fünfter Unterrichtsabschnitt: Gesundheitliche Schäden und Belastungen durch Lärm

### 4.5.1 Sachstruktur



Zum **Aufbau des Ohres** muß festgestellt werden, was die Kinder aus der **Biologie** schon wissen. Wichtig ist eine Klärung des Ortes und der Funktion der **Haarzellen**.

Zentrales Problem (vor allem in der Arbeitswelt: häufigste anerkannte Berufskrankheit!) ist die **Lärmschwerhörigkeit**. Ihre biologische Erklärung (**Absterben von Haarzellen**, dadurch unheilbar) und ihre Entstehungsbedingungen (z. B. täglicher Mittelungspegel, Einwirkzeit in Jahren) sind besonders wichtig. Von sehr allgemeiner Bedeutung für das Lärmproblem der modernen Industriegesellschaft sind auch die **exauralen Schäden** (Block 18), die besonders in Verbindung mit anderen Belastungsfaktoren (schlechte Luft, Abgase, Streß u. a.) wirksam werden, da diese ebenfalls auf das **vegetative Nervensystem** (unbewußte Steuerung der Organe) einwirken.

#### 4.5.2 Lernziel

- Z 6 Lärm als gesundheitliche Belastung
- Einstellung: Lärm ist gesundheitsgefährdend
  - Kenntnisse über Lärmschwerhörigkeit
  - Kenntnisse über exaurale Schäden und Belastungen

#### 4.5.3 Für den Unterricht benötigte Hilfsmittel

Schülerheft, S. 20 und S. 33–36.

##### Geräte für Demonstrationsversuche:

2 Metall-Handgriffe mit Anschlußmöglichkeit an Verbindungskabel (z. B. v. Kröncke)

1 Vielfachmeßgerät (Meßbereich 0,1 bis 1 mA)

1 Spannungsquelle (ca. 2–12 Volt geglättete Gleichspannung, bis ca. 2 A)

1 Radio oder Cassettenrekorder mit Verstärker

1 Fotowiderstand (LDR) mit Röhrchen zur Lichtabschirmung

1 veränderlicher Widerstand (ca. 100 k $\Omega$ )

1 Kondensator (ca. 1  $\mu$ F)

1 Lampe (z. B. Soffittenlampe 12 V/1,5 A)

1 Oszilloskop mit 5 mV/cm (z. B. HM 312)

Verbindungsschnüre

Compact-Cassette (Demonstration der Auswirkungen von Lärmschwerhörigkeit).

#### 4.5.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Vorbemerkung: In diesem Abschnitt muß mehr mit Texten, Abbildungen und Gesprächen als mit Versuchen gearbeitet werden. Der Lehrer kann hierzu aktive Aufgaben (wie unterstreichen, heraus schreiben, Referat) geben und die Texte **im Unterricht** (nicht nur als Hausaufgabe) lesen lassen und durcharbeiten.

Als Einstieg können mit Hilfe der Compact-Cassette die Auswirkungen von Lärmschwerhörigkeit demonstriert werden.

Anhand der **Zeichnung des Ohres** (Schülerheft, S. 35) kann der Weg des Schalls von der Schallquelle bis ins Gehirn besprochen werden. Wichtig ist hierbei vor allem die Signalumwandlung mechanischer Reize in den **Haarzellen** in elektrische Nervensignale mit Hilfe **elektrochemischer Prozesse**. Diese benötigen den Nachschub von Nahrung und Sauerstoff mit dem Blut. Wenn dieser Nachschub und der entsprechende Abtransport der „Abfallprodukte“ bei zu starker

Belastung mit Schall nicht mehr ausreichend gewährleistet ist, so ist die Haarzelle (= Hörsinneszelle) in Gefahr und kann bei längerer Beanspruchung dieser Art absterben. (Vorher beobachtet man schon ein Anschwellen des Zellkerns).

Damit ist die biologische Erklärung für die **Lärmschwerhörigkeit** angesprochen.

**Welche Bedingungen können zu einer Lärmschwerhörigkeit führen?** Das kann anhand der Angaben im Schülerheft (S. 35 unten, S. 36 oben) besprochen werden. (Evtl. zu ergänzen durch das in 3.1 wiedergegebene Diagramm.) Beispiele wie Diskothekenlärm können bezüglich ihrer Gefährlichkeit diskutiert werden (vgl. Schülerheft, S. 48).

**Woran erkennt der Arzt eine Lärmschwerhörigkeit? Diskussion des Audiogramms** auf S. 34 im Schülerheft. Vergleich mit den eigenen Audiogrammen und der Erklärung auf S. 29 im Schülerheft.

(Die Erklärung für die  $c^5$ -Senke: Die entsprechenden Haarzellen liegen am Eingang des Innenohr und werden von allen ankommenden Frequenzen beansprucht, während die den tieferen Frequenzen zugeordneten Haarzellen auch nur von diesen gereizt werden.)

Die **mechanischen Schäden** können kurz erwähnt werden, sie spielen keine große Rolle.

Eine große Rolle spielen wegen der großen Anzahl davon betroffener Menschen die **exauralen Gesundheitsbelastungen** durch Lärm. Sie sind nicht so exakt zu fassen, wie die Lärmschwerhörigkeit. Lärm ist hier als **ein** Risikofaktor zu sehen, der erst voll für die Gesundheit gefährlich wird, wenn **andere** Risikofaktoren (schlechte Luft, Stress, angeschlagener Allgemeinzustand des Betroffenen u. a.) **dazu kommen** (vgl. Schülerheft, S. 36).

Hier können auch die Versuche V 15 und V 16 durchgeführt werden.

#### **4.5.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung**

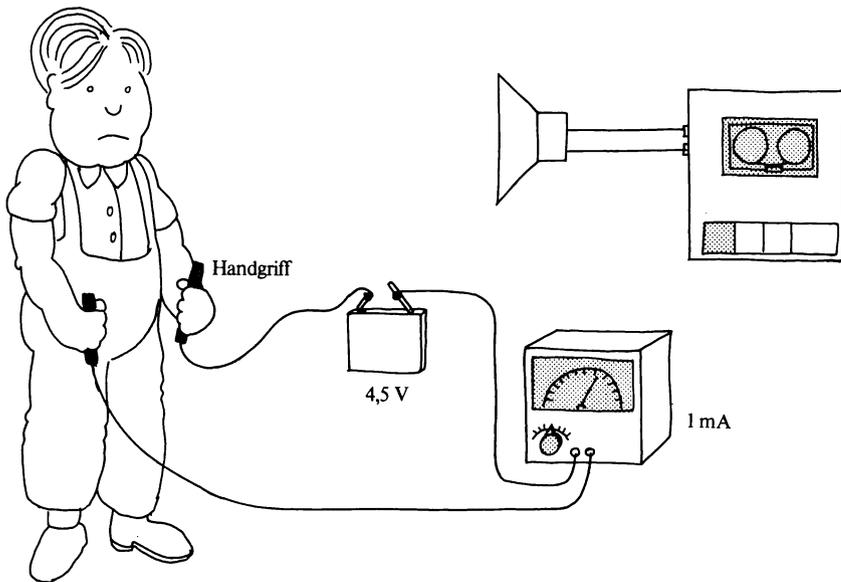
- Aufbau des Ohres, Schallweg (S. 35)
- Funktionsweise und mögliche Schädigung der Haarzellen
- Entstehungsbedingungen für Lärmschwerhörigkeit (S. 35/36)
- Nachweis der Lärmschwerhörigkeit mit Audiogramm
- Kurze Besprechung der vegetativen Reaktionen und psychischen Belastungen (Lärm als Risikofaktor).

## 4.5.6 Versuche

Versuch V 15	Schweißabsonderung bei Lärm	DL/DS
--------------	-----------------------------	-------

### Geräte:

- 2 Metall-Handgriffe mit Anschluß an Verbindungsschnur (Meßbereich ca. 0,1 bis 1 mA)
- 1 Vielfachmeßgerät
- 1 Spannungsquelle (ca. 2–10 Volt Gleichspannung)
- 3 Verbindungsschnüre
- 1 Radio oder Verstärker für lautes Geräusch (z. B. Compact-Cassette Nr. 5, 13, 17)



### Durchführung:

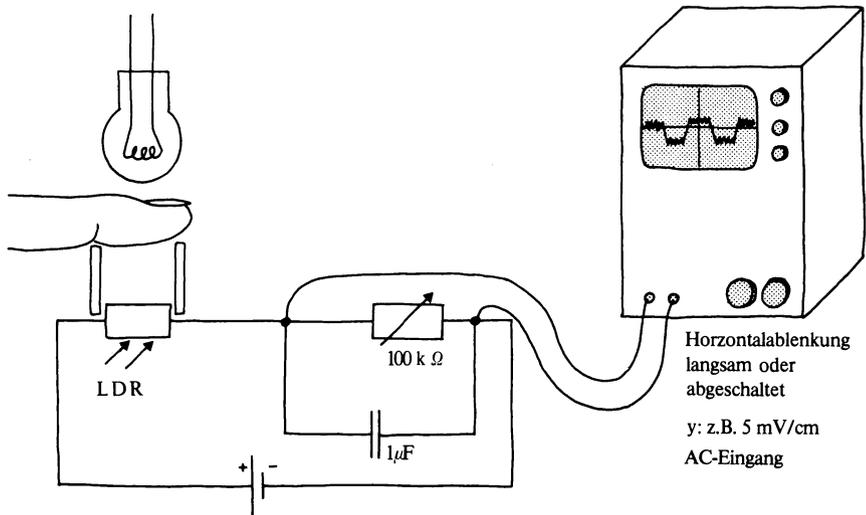
Vorbemerkung: Der Versuch ist nicht sehr zuverlässig und geht mit manchen Versuchspersonen gut, mit anderen schlecht oder garnicht. Wir halten ihn aber selbst bei einem Mißerfolg für sinnvoll, da er zu weiterem Nachdenken anreizt und die Problematik der vegetativen Reaktionen ins Blickfeld rückt.

- Man mißt den Strom, der über zwei Handgriffe durch den Körper fließt (Spannung etwa 2–10 Volt, Strom ca. 0,1 bis 1 mA).
- Nun beschallt man die Versuchsperson einige Zeit mit **lauten** oder unangenehmen Geräuschen (ca. 90–100 dB(A)). Dann sollte sich eine Stromerhöhung wegen erhöhter Schweißausscheidung einstellen.

Versuch V 16	Veränderung des Blutdrucks (Fingerpulsamplitude) durch Lärm	DL/DS
--------------	--	-------

**Geräte:**

- 1 Fotowiderstand (LDR) mit Röhren zur Abschirmung von Seitenlicht
- 1 veränderlicher Widerstand (ca. 100 k $\Omega$ )
- 1 Lampe (z. B. Soffittenlampe 12 V/1,5 A)
- 1 Oszilloskop (z. B. HM 312)
- 1 Spannungsquelle 12 V (geglättet!)
- 1 Lärmquelle (z. B. Compact-Cassette Nr. 5, 13, 17)



**Durchführung:**

- a) Lampe und Fotowiderstand können evtl. aus derselben geglätteten (!) Spannungsquelle betrieben werden.
- b) Durch Erdung, abgeschirmte oder verdrehte Kabel am Eingang ist für eine Minimierung der Störsignale zu sorgen. Auch ein zum Eingang des Oszilloskops parallel geschalteter Kondensator (ca. 0,1  $\mu\text{F}$  bis 1  $\mu\text{F}$ ) kann dazu beitragen.
- c) Optimale Einstellung des veränderlichen Widerstandes hat man dann, wenn er gleich groß wie der Fotowiderstand (mit Finger und Lampe) ist.
- d) Jetzt sollte der Puls auf dem Oszilloskop sichtbar sein (ca. 1 Hz).
- e) Durch „Beschallung“ der VP mit lauten, unangenehmen Geräuschen kann sich die „Fingerpulsamplitude“ erhöhen oder erniedrigen!
- f) Die Empfindlichkeit kann durch dazwischengeschalteten Verstärker (z. B. OP-Baustein) erhöht werden.

## 4.6 Sechster Unterrichtsabschnitt: Lärmkonflikte – Verlauf, Institutionen, Richtwerte, Gesetze

### 4.6.1 Sachstruktur

Lärmpegel L  
Mittelungs-  
pegel  $L_m$

#### 20 Lärmkonflikt

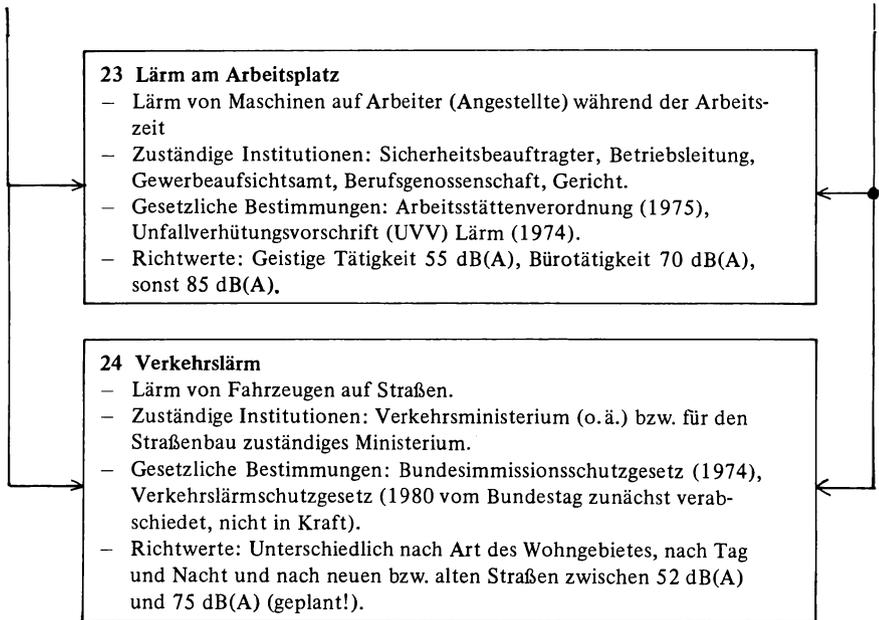
- Wenn ein **Betroffener** sich durch Lärm gestört fühlt und sich zu wehren beginnt, entsteht ein Lärmkonflikt.
- Der Betroffene kann sich direkt an den **Verursacher** oder an eine **zuständige Institution** wenden oder selbst Lärmschutzmaßnahmen einleiten (vgl. 4.7).
- Welche Institutionen, **gesetzliche Bestimmungen** und **Richtwerte** für einen bestimmten Lärmkonflikt **zuständig** sind, hängt von der Art des Lärms ab.
- Gesetze (und die in ihnen enthaltenen Richtwerte) sind von Menschen (bzw. Politikern, Parteien) gemacht. Sie sind kritisierbar und veränderbar.
- Es gibt (u. a.) die folgenden vier Arten von Lärm:

#### 21 Nachbarschaftslärm

- Lärm in der Nachbarschaft, der nicht von gewerblichen Anlagen stammt.
- Zuständige Institutionen: Polizei, Umweltministerium, Gericht.
- Gesetzliche Bestimmungen: Bürgerliches Gesetzbuch (§ 906), Lärmverordnungen, o. ä.
- Richtwerte: Nicht allgemein verbindlich, Anhaltspunkte geben die Werte beim Arbeitslärm in der Nachbarschaft.

#### 22 Arbeitslärm in der Nachbarschaft

- Lärm in der Nachbarschaft, der von gewerblichen Anlagen stammt.
- Zuständige Institutionen: Gewerbeaufsichtsamt, Umweltministerium, Gericht
- Gesetzliche Bestimmungen: Bundesimmissionsschutzgesetz (1974), Technische Anleitung (TA) Lärm, u. a.
- Richtwerte: Je nach Art des Gebietes (Bebauungsplan) und je nach Tageszeit (Tag, Nacht): 35 dB(A) bis 70 dB(A).



Die Sachstruktur dieses Abschnitts ist nach Einschätzung der Autoren am unmittelbarsten **handlungsrelevant**. Die hier vermittelten **einfachen Kenntnisse** über Institutionen, Richtwerte und gesetzliche Bestimmungen scheinen uns in vielen praktischen Fällen Voraussetzung für das Aktivwerden gegen Lärm zu sein. Das gilt besonders für solche Fälle, bei denen einfache eigene technische Lärmschutzmaßnahmen oder eine schnelle Einigung mit dem Verursacher nicht möglich sind.

Das Wichtigste scheint uns hierbei die Kenntnis der etwas verschiedenen **Zuständigkeit** der Institutionen bei verschiedenen Arten von Lärm (Lärmbereichen) zu sein. Sie beantwortet die Frage: An wen kann ich mich zur Informationsbeschaffung oder mit einer Beschwerde wenden?

Die angegebenen **Richtwerte** dienen einer ersten groben Einschätzung von Erfolgsaussichten, falls Lärmmessungen oder gute Schätzungen vorliegen.

Zur **kritischen Wertung** der gesetzlichen Bestimmungen sei auf den Text „Zur Entstehung eines Umweltgesetzes (am Beispiel des Verkehrslärmschutzgesetzes)“ (3.3) hingewiesen.

#### 4.6.2 Lernziele

Z 7: Sich gegen Lärm wehren

- Verschiedene Möglichkeiten zur Lösung eines Lärmkonfliktes kennen
- Für konkrete Fälle von Lärm die zuständigen Institutionen benennen
- Wissen, daß es verschiedene gesetzliche Bestimmungen und in diesen Richtwerte gibt
- Die für einen konkreten Fall wichtigen gesetzlichen Bestimmungen aus Informationsmaterial herausuchen.

## Z 8: Kritische Einstellung zu Gesetzen

- Gesetze werden von Menschen (Parteien, Politikern) gemacht und sind veränderbar. Sie stellen oft einen Kompromiß zwischen verschiedenen Interessen dar.

### 4.6.3 Für den Unterricht benötigte Hilfsmittel

Die Seiten 18, 21, 22, 37–41 und 46–48 des Schülerheftes.

Der Abschnitt 3.3 des Lehrermaterials (Auszüge aus gesetzlichen Bestimmungen).

Compact-Cassette: Beispiele Nr. 2, 4 und 6 für Richtwerte.

Von den Schülern gesammeltes Informationsmaterial: Zeitungsausschnitte, Informationsbroschüren (z. B. Umweltschutzatlas), Bücher, Zeitschriftenaufsätze, Gesetzestexte.

Der Lehrer kann versuchen, von folgenden Stellen Informationsmaterial zu erhalten:

- Umwelt-, Innen- oder Sozialministerium des jeweiligen Landes
- Referat Lärm beim Bundesinnenminister, 53 Bonn
- Umweltbundesamt, Bismarkplatz 1, 1 Berlin 33.

Aktuelle Informationen sind auf dem juristischen Sektor besonders wichtig, da gerade die Lärm-Gesetzgebung sehr im Fluß ist.

### 4.6.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Da juristische Informationen den stärksten Bezug zu den Handlungsmöglichkeiten der Betroffenen haben, sind **Simulationsrollenspiel** (vgl. 2.3) und **Erkundungen** (2.4) hier besonders zu empfehlen. Dazu dienen insbesondere die Rollentexte (Schülerheft, S. 18–21) bzw. die Erkundungshilfen (Schülerheft, S. 22).

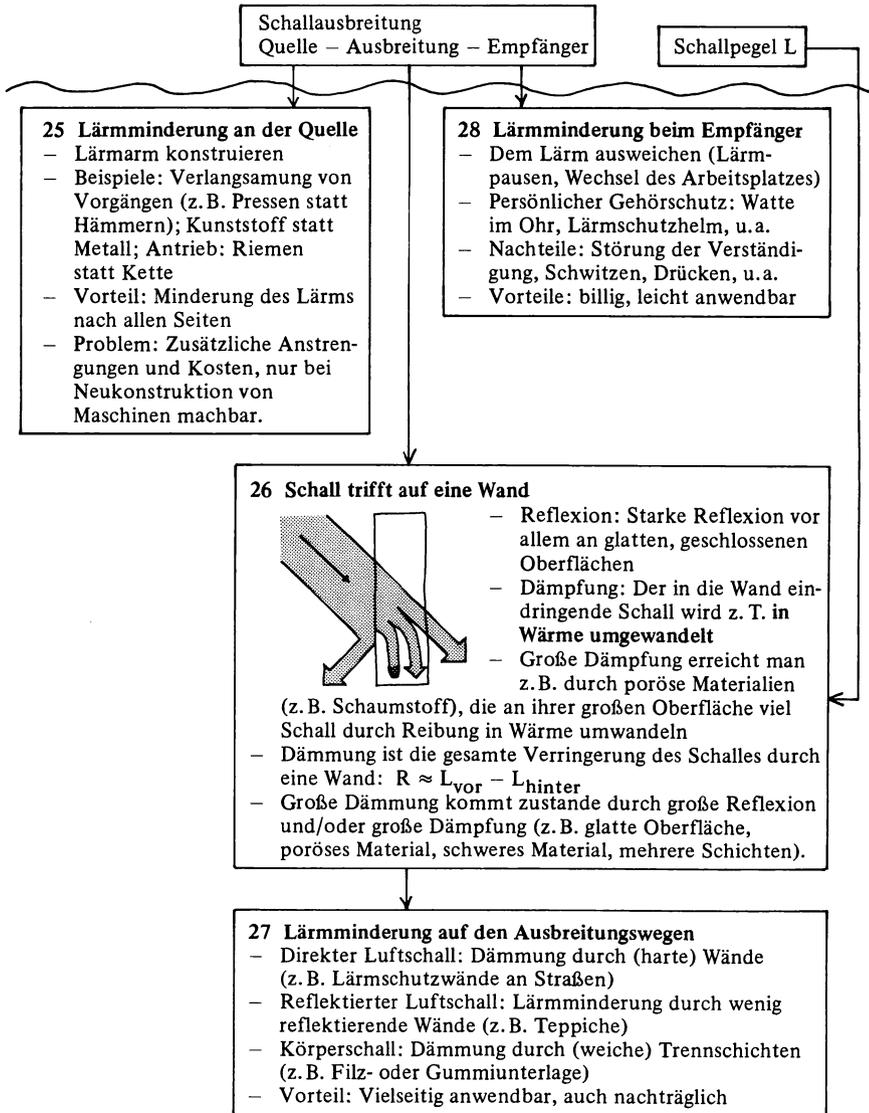
Zur Aufarbeitung der Informationstexte (Schülerheft, S. 37–41) können neben bzw. statt dem Simulationsrollenspiel **Referate** von Schülern über die vier Lärmbereiche (Nachbarschaftslärm, Arbeitslärm in der Nachbarschaft, Lärm am Arbeitsplatz, Verkehrslärm) dienen. Auf jeden Fall sollten auch konkrete **Fälle** (z. B. von Schülern gesammelte Zeitungsausschnitte oder die im Schülerheft, S. 1, 46–48 enthaltenen Fälle) durchgesprochen werden. Dabei können die auf Seite 22 (Schülerheft) vorgeschlagenen Fragen benutzt und ergänzt werden, um mit solchen Fragen einen Fall durchzuarbeiten.

### 4.6.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung ( 1 Std.)

Die Texte S. 37–41 (Schülerheft) werden von den Schülern abschnittsweise **im Unterricht** gelesen und gemeinsam in der Klasse besprochen.

## 4.7 Siebter Unterrichtsabschnitt: Technische Lärm- bekämpfung und physikalische Erklärungen

### 4.7.1 Sachstruktur



Schwerpunkt dieses Unterrichtsabschnitts ist die Verbindung von technisch-praktischen Anwendungsbeispielen und deren physikalischer Erklärung. Das ist vor allem in den Blocks 26 (physikalische Grundlagen) und 27 (technische Anwendung) zu sehen. Aber auch im Block 28 können die Kenntnisse aus Block 26 bei der Erläuterung des Aufbaus eines Lärmschutzhelms (vgl. Abbildung im Schülerheft, S. 45) angewandt werden. Die physikalischen Aspekte von Block 25 liegen eher in der Frage der Anregung und Erzeugung (bzw. Vermeidung) von Schwingungen. Sie wurden hier nicht vertieft.

Wegen einer genaueren Diskussion der Begriffe Absorption und Dämpfung und ihrer physikalischen bzw. technischen Bedeutung sei auf den Abschnitt 3.6 verwiesen.

#### **4.7.2 Lernziele**

##### **Z 9: Drei Arten technischer Lärmschutzmaßnahmen**

- Beispiele für Lärminderungen an der Quelle, beim Empfänger und auf den Ausbreitungswegen kennen
- Für konkrete Lärmfälle mögliche technische Maßnahmen diskutieren
- Die Vor- und Nachteile dieser Maßnahmen kennen und diskutieren.

##### **Z 10: Schall trifft auf eine Wand**

- Verschiedene Schallwege beim Auftreffen von Schall auf eine Wand differenziert beschreiben
- Die Begriffe Reflexion, Dämpfung und Dämmung erklären und zur Beschreibung der Wirkungen einer Wand verwenden
- Bedingungen für große Reflexion bzw. Dämpfung bzw. Dämmung kennen.

#### **4.7.3 Für den Unterrichtsabschnitt benötigte Hilfsmittel**

Schülerheft, S. 15–17 und S. 42–45

Compact-Cassette (Schalldämpfer beim Moped, technischer Lärm als Lärmquelle, Wirkung einer Lärmschutzwand, weißes Rauschen als Lärmquelle).

##### **Für Demonstrationsversuche die folgenden Geräte**

2 (notfalls 1) Schallpegelmessgerät mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät

1 elektrische Klingel mit einstellbarer Spannungsquelle (oder äquivalente, veränderliche, technische Lärmquelle)

1 Rolle Tesakrepp

1 Bohrmaschine oder äquivalente Lärmquelle

1 Miniatursummer mit dazu passendem Kasten o.ä. zur Bündelung des Schalls in eine Richtung

1 Paket (Lärmschutz-) Watte

1 Lärmschutzhelm (ersatzweise Kopfhörer).

Verschiedene Materialien: Filz, Schaumstoff, Styropor (Kasten), Holz-Kasten, (ein Karton aus) Pappe, 2 Plastikwannen mit passender Schaumstoffinnenverkleidung, 3 (oder mehr) Wände gleicher Größe (z. B. 80 x 50 cm), mindestens aus Holz (Dicke ca. 1 cm), Styropor (ca. 1 cm) und Schaumstoff (Dicke ca. 2–5 cm).

#### 4.7.4 Anregungen und Hinweise zur Gestaltung des Unterrichts

Der Einstieg in diesen Unterrichtsabschnitt erfolgt vielleicht am besten über einen Versuch, bei dem die Schüler **eigene intuitive Vorschläge zur Lärminderung** ausprobieren können (V 19, vgl. Schülerheft, S. 15).

Nach einer kurzen Übersicht über die Schallausbreitung (Quelle – Ausbreitungsvorgang – Empfänger), die evtl. eine Wiederholung aus Unterrichtsabschnitt 2 darstellt, können nun zunächst die **Maßnahmen zur Lärminderung an der Quelle** besprochen werden. Einige technisch relevante Beispiele sind im Schülerheft, S. 42 aufgeführt. Sie können im Unterrichtsgespräch durch Beiträge technisch interessierter Schüler ergänzt werden. Auch der Versuch V 17 (Lärminderung an der Quelle) bietet neben einem relativ einfachen Grundversuch die Möglichkeit, technisch relevantere Beispiele vorzuführen und messend zu verfolgen. Betont werden sollten in jedem Fall die **großen Vorteile** von technischen Maßnahmen **an der Quelle** (vgl. Sachstruktur 4.7.1 und Schülerheft, S. 42).

Die Maßnahmen zur **Lärminderung beim Empfänger** (persönlicher Lärmschutz) können kurz behandelt werden (Versuch V 18).

Wichtigster Teil dieses Unterrichtsabschnitts ist die Untersuchung von Vorgängen beim **Auftreffen von Schall auf eine Wand**. Dabei steht der Versuch V 20 im Mittelpunkt (vgl. auch Schülerheft, S. 16 und S. 43). Der Versuch erlaubt die direkte Erschließung der **Reflexion** (als Zuwachs des Pegels L 1) und der **Dämmung** (als Abnahme von L 2). Die **Dämpfung** (= Umwandlung von Schall in Wärme) ist **indirekt** aus den beiden Ergebnissen für Schaumstoff zu erschließen. („Wenn Dämmung ohne Reflexion passiert, so muß Schall im **Innern der Wand** ‚vernichtet‘ worden sein.“)

An die grundsätzliche Klärung der Vorgänge an einer Wand sollten sich **Beispiele für Schalldämmung** anschließen (Versuch V 21, Schülerheft, S. 43, 44 und Lehrertext 3.4). Außerdem kann der Schalldämpfer (V 24) als Beispiel für reine Dämpfung (Schall wird in Wärme umgewandelt und „vernichtet“) behandelt werden.

Neben dem direkten Luftschall spielt der **reflektierte Luftschall** oft eine große Rolle. Er kann durch schallschluckende Wände stark vermindert werden (Versuch V 22).

Weiterhin ist – besonders bei technischem Lärm – oft der **Körperschall** (d.h. die Ausbreitung und „Verstärkung“ des Schalls durch Leitung und Abstrahlung von festen Körpern) sehr störend. Er kann durch dämmende Zwischenschichten (z. B. Filz, Gummi, o. ä.) stark vermindert werden (Versuch V 23).

#### 4.7.5 Vorschlag für eine überblickmäßige Kurzbehandlung (1 Std.)

- Übersicht über Maßnahmen zur Lärminderung anhand des Schemas Quelle – Ausbreitung – Empfänger.
- Reflexion, Dämmung und Dämpfung beim Auftreffen von Schall auf eine Wand (Versuch V 20, Schülerheft, S. 16 und S. 43).
- Besprechung technischer Beispiele (Schülerheft S. 42 und 44).

#### 4.7.6 Versuche

Versuch V 17	Lärminderung an der Quelle	DS, DL
--------------	----------------------------	--------

##### Geräte:

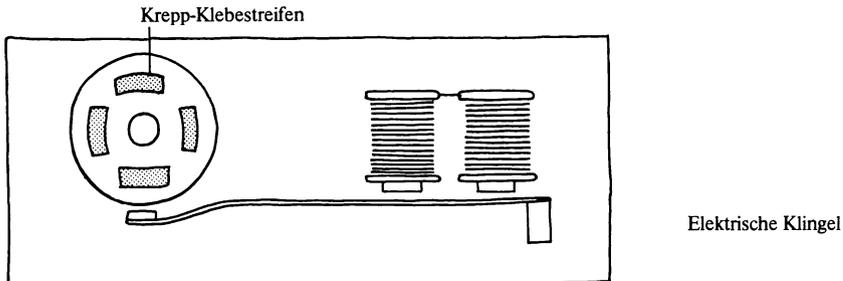
1 elektrische Klingel mit einstellbarer Spannungsquelle

1 Schallpegelmesser (mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät)

1 Rolle Tesakrepp (oder/und Tesamoll)

Evtl. zusätzlich: Andere manipulierbare Lärmquellen, z. B.

- Bohrmaschine (mit Drehzahlregler)
- Papierkorb oder Kasten, mit und ohne dämpfende Auskleidung (als Modell-Glascontainer)
- Verformung eines Blechstückes durch Biegen, Hämmern, Pressen (Schraubstock)
- Heißluftmotor (evtl. Vergleich mit Benzinmotor von Modellflugzeug oder Moped).



##### Durchführung:

Als Grundversuch (weil einfach durchführbar) ist vorgesehen, den Lärm einer elektrischen Klingel zu messen und ihn dann durch Veränderungen an der Quelle zu vermindern; z. B.

- Spannung vermindern
- Glocke durch Aufkleben von Tesakrepp (oder Tesamoll) bedämpfen
- Die Aufschlagstelle des Klöppels auf die Glocke bedämpfen (ebenfalls durch Bekleben mit Tesakrepp)
- Glocke entfernen.

Die zusätzlich genannten Beispiele sind lebensnäher und sprechen für sich. Weitere technische Anwendungsbeispiele finden sich im Schülerheft, S. 42.

Versuch V 18	Persönlicher Schallschutz (Lärminderung beim Empfänger)	DL/G1
--------------	--	-------

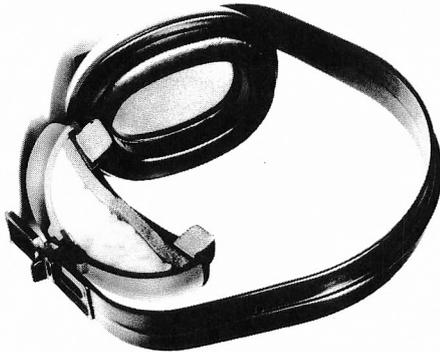
**Geräte:**

1 Lärmquelle (z. B. Bohrmaschine oder Beispiele der Compact-Cassette)

1 Paket Watte

1 Lärmschutzhelm (oder ersatzweise 1 Kopfhörer)

Falls vorhanden: 1 Pegelmesser mit abschraubbarem Mikrofon.



**Durchführung:**

1. Die verschiedenen Möglichkeiten werden von den Schülern selbst ausprobiert und ihre Effektivität verglichen.
2. Evtl. kann als Zusatzversuch die tatsächliche Lärminderung durch einen Lärmschutzhelm gemessen werden, indem man das Mikrofon eines Pegelmessers in einer Ohrkapsel dicht einschließt.

Versuch V 19	Intuitive Lärmdämmung einer vorgegebenen Lärmquelle	DS/DL
--------------	---	-------

**Geräte:**

1 Lärmquelle, z. B. Bohrmaschine (Vorsicht, daß das Bohrfutter nicht abfliegt)

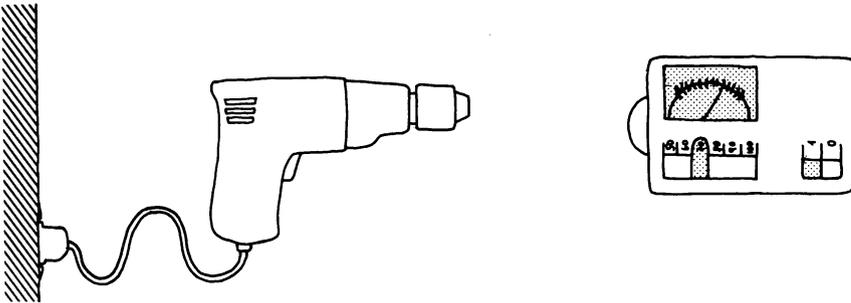
1 Schallpegelmessgerät mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät

Verschiedene Materialien, z. B.

Filz- oder Schaumstoffunterlage

Styroporkasten, Pappkarton, Holzkasten, Plastikwanne (evtl. mehrere ineinanderpassend)

Styropor-, Holz-, Schaumstoffplatten.



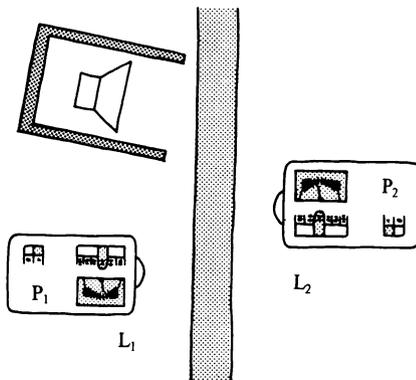
**Durchführung:**

1. Die Maßnahmen sollen von Schülern vorgeschlagen werden.
2. Es können verschiedene Maßnahmen einzeln oder kombiniert durchgeführt und ihre Wirkungen in einer Tabelle festgehalten werden (vgl. Schülerheft, S. 15).

Versuch V 20	Schall trifft auf eine Wand	DL/DS
--------------	-----------------------------	-------

**Geräte:**

- 1 Schallquelle Q (z. B. Miniatursummer oder Lautsprecher mit Compact-Cassette Nr. 19)
- 1 Kasten K aus Pappe oder Holz
- 1 Schaumstoffunterlage für die Quelle im Kasten
- 1 (2) Schallpegelmesser  $P_1$  bzw.  $P_2$  mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät
- Verschiedene Wände aus Holz, Schaumstoff, Styropor; evtl. zusätzlich aus Pertinaxplatte gelocht und ungelocht, Blech u. a. (alle etwa gleiches Maß, z. B. 50 x 80 cm), evtl. verschiedene Dicken.



$P_1, P_2$  = Pegelmesser  
 K = Kasten aus Holz oder Metall

**Durchführung:**

Beim Aufbau ist darauf zu achten, daß alle Abstände von der Wand hinreichend klein sind, damit große Effekte erzielt werden. Außerdem müssen K und  $P_1$  so postiert werden, daß  $L_1$  ohne Wand möglichst gering wird.

Zunächst werden die Werte  $L_1$  und  $L_2$  ohne Wand gemessen. Dann werden nacheinander verschiedene Wände eingebracht und jeweils der Unterschied  $\Delta L_1$  zu  $L_1$  bzw.  $\Delta L_2$  zu  $L_2$  in einer Tabelle festgehalten. Die Diskussion dieser Werte soll zu folgenden Ergebnissen führen:

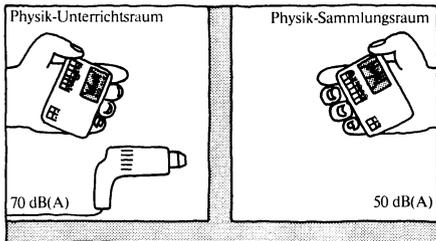
- Styropor: mittlere Reflexion ( $\Delta L_1$ ), geringe Dämmung ( $\Delta L_2$ ).  
Die Dämmung ist fast ausschließlich auf die Reflexion zurückzuführen.
- Schaumstoff: Keine Reflexion ( $\Delta L_1 \approx 0$ ), gute Dämmung ( $\Delta L_2$ ).  
Die Dämmung ist fast ausschließlich auf Dämpfung (Umwandlung von Schallenergie in Wärmeenergie durch Reibung der schwingenden Luft in den Poren) zurückzuführen.
- Holz: Mittlere Reflexion ( $\Delta L_1$ ), gute Dämmung ( $\Delta L_2$ ).  
Die Dämmung ist auf Reflexion und Dämpfung zurückzuführen.

Versuch V 21	Schalldämmung von Fenster, Tür oder Wand	DS/DL
--------------	--	-------

**Geräte:**

1 Schallquelle (z. B. Bohrmaschine oder Compact-Cassette)

1 Schallpegelmesser



**Durchführung:**

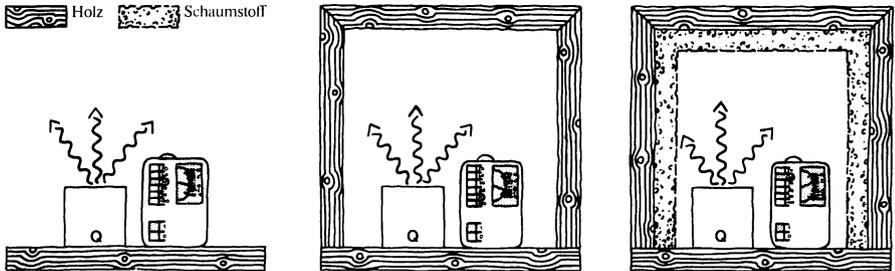
Dieser Versuch ist besonders praxisrelevant und lebensnah. Er kann in gleicher Weise auch zu Hause durchgeführt werden, um einen ersten Anhaltspunkt für die Dämmung einer Trennwand im Reihenhaus oder einer Kinderzimmertür o.ä. zu erhalten.

1. Man betreibt auf der einen Seite der „Wand“ eine laute Lärmquelle (z. B. Bohrmaschine auf Tisch, ca. 95 dB(A)).
2. Man mißt den Schallpegel  $L_1$  vor der Wand.
3. Dann geht man hinter die Wand (z. B. ins Reihenhaus zum Nachbarn) und mißt dort den Schallpegel  $L_2$ .
4. Die Schalldämmung der Wand ist ungefähr gleich der Differenz der beiden Pegelwerte (insbesondere dann, wenn der Raum **hinter** der Wand gut absorbiert, z. B. im Freien oder Raum mit Teppichboden).

Versuch V 22	Lärminderung durch schallschluckende Wände	DL/DS
--------------	--	-------

**Geräte:**

- 1 Schallquelle (z. B. Miniatursummer)
- 2 gleiche Kunststoffkästen (ca. 50 x 50 x 50 cm)
- 5 in den einen Kasten passende Schaumstoffwände zur Auskleidung (ca. 2–5 cm dick)
- 1 Schaumstoffunterlage (ca. 60 x 60 x 5 cm)
- 1 Schallpegelmesser mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät.



**Durchführung:**

Schallquelle und Schallpegelmesser werden auf die Schaumstoffunterlage gelegt. Dann wird der Schallpegel a) ohne Kasten, b) mit darübergestülptem „nacktem“ Kasten, c) mit darübergestülptem ausgekleidetem Kasten gemessen.

Diskussion der Ergebnisse:

b) ergibt den größten, c) den kleinsten Wert.

Anwendungsbeispiele: z. B. Teppiche in Treppenhäusern oder Büros.

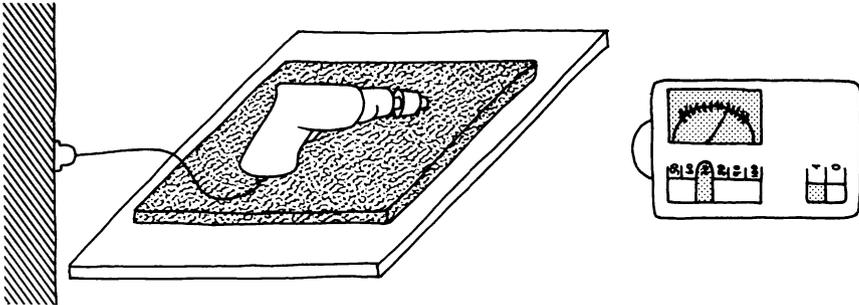
Versuch V 23	Lärminderung durch Verminderung des Körperschalls	DL/DS
--------------	---	-------

**Geräte:**

1 Schallquelle (z. B. Bohrmaschine)

1 Schallpegelmesser mit angeschlossenem Demonstrationsmeßgerät

Verschiedene Unterlagen zwischen Maschine und Tisch (z. B. Holz, Metall; Schaumstoff, Filz).



**Durchführung:**

Der Schallpegel wird jeweils **mit** und **ohne** Unterlage gemessen. Interessant ist, daß ein gutes Material für Luftschalldämmung (Holz) hier nicht unbedingt die besten Ergebnisse bringt. Erklärung: Es muß ein Übergang von „schallweich“ nach „schallhart“ oder umgekehrt entstehen.

**Zusatzversuche:**

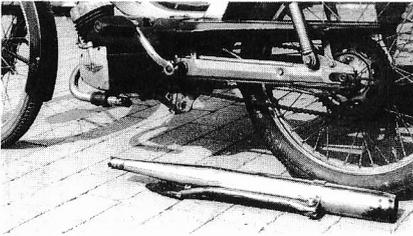
Schalleitung in festen Körpern mit den bekannten Versuchen demonstrieren (z. B. Ohr auf der Tischplatte – kratzende oder tickende Geräusche).

Versuch V 24	Der Schalldämpfer	DL/DS
--------------	-------------------	-------

**Geräte:**

Entweder Compact-Cassette mit Aufnahmen von einem Moped mit/ohne Schalldämpfer  
oder ein Moped mit abmontierbarem Schalldämpfer.

1 Schallpegelmesser.



**Durchführung:**

Der Unterschied mit/ohne Schalldämpfer soll vorgeführt und gemessen werden.

## 5. Schülerheft

Auf den folgenden Seiten ist das Schülerheft der vorliegenden Unterrichtseinheit in verkleinerter Form abgedruckt. Die *kursiv* gesetzten Eintragungen sollen einen Eindruck von möglichen Schülerantworten geben. Sie sind lediglich als Vorschläge aufzufassen und müssen keinesfalls genauso übernommen werden.

Drei Punkte scheinen uns für die Arbeit mit dem Schülerheft wichtig zu sein:

1. Das Schülerheft stellt ein **Angebot** von Lernhilfen für den Unterricht über die Begriffe Schwingungen – Schall – Lärm bereit. Es enthält schwerpunktmäßig Inhalte der Physik, daneben aber auch Themen aus Technik, Biologie und Gemeinschaftskunde.
2. Es ist nicht notwendig und häufig auch nicht sinnvoll, **alle** Seiten des Schülerheftes zu bearbeiten.
3. Die Abfolge der Themen im Schülerheft und ihre Behandlung im Unterricht **muß** nicht übereinstimmen. Nicht immer erscheint es günstig, das Schülerheft Seite für Seite durchzugehen, da dann wenig Raum bleibt, um spontanen Einfällen und aktuellen Interessen der Schüler nachzugehen, oder die speziellen Gegebenheiten einer Klasse zu berücksichtigen.

Lärm hat dich sicher auch schon gestört. In der Schule, zu Hause, nachts, auf der Straße, in Fabriken – fast überall gibt es Probleme mit LÄRM.

In dieser Unterrichtseinheit wirst du mehr darüber erfahren, wie man sich gegen Lärm wehren kann. Dabei sind uns einige Grundlagen aus Physik, Technik, Biologie und Gemeinschaftskunde (Politik) von Nutzen, die ebenfalls in dieser Unterrichtseinheit enthalten sind.

Dieses Schülerheft besteht aus zwei Teilen.

Im ersten Teil (Seite 2 bis 22) findest du alles, was du zur Bearbeitung während des Unterrichts brauchst. Im zweiten Teil (Seite 23 bis 48) findest du einen zusammenfassenden Text über einige wichtige Unterrichtsthemen. Dort kannst du nachlesen, wenn du gefehlt oder etwas nicht verstanden hast, oder wenn es dich sonst interessiert.

## Inhaltsverzeichnis

### Teil 1

Ein Streitfall um LÄRM	2
Schwingungsvorgänge und ihre AMPLITUDE	3
Schwingungsvorgänge und ihre FREQUENZ	4
Wie wird Schall übertragen?	5
Wie lassen sich Schallschwingungen untersuchen?	6
Druckschwankungen bei der Schallübertragung	7
Ableseübungen am Oszilloskop	8
Wieviele Schwingungen kann pro Sekunde kann das menschliche Ohr hören?	9
Wie reagiert das Ohr auf verschiedene Töne?	10
Wir nehmen ein Audiogramm auf	11
Ableseübungen mit einem Schallpegelmesser	12
Zwei Versuche zur Untersuchung des Schallpegelmessers	13
Beispiele von Schallpegelwerten	14
Technische Maßnahmen zur Lärminderung	15
Information zum Simulations-Rollenspiel	18
Wie geht ein Meßfachmann bei einer Lärmmessung vor?	19
Wie geht ein Schallschutzfachmann vor, wenn ein Lärmproblem an ihn herangetragen wird?	19
Was tut ein Arzt, wenn ein vom Lärm geplagter Patient zu ihm kommt?	20
Allgemeine Informationen für folgende Rollen (Polizei, Gewerbeaufsichtsamt, . . .)	21
Allgemeine Fragen zur Durcharbeitung eines „Lärm-Falles“	22

### Teil 2

Lärm in unserer Umwelt	23
Quelle, Übertragung, Empfänger	24
Die Frequenz von Schwingungsvorgängen	25
Die Aufzeichnung von Schwingungen	26
Unterschiedliche Töne und ihr Bild auf dem Oszilloskop	27
Wie reagiert das menschliche Ohr auf Töne mit verschiedener Frequenz?	28
Messung der Lautstärke	29
Die Maßeinheit Dezibel (dB), Beispiele	30
Verminderung von Schallpegelwerten	32
Der Mittelungspegel $L_m$ von Schallpegelwerten	32
LÄRM macht krank	33
Lärmschwerhörigkeit als anerkannte Berufskrankheit	34
Wie entsteht ein Hörverlust im Ohr?	35
An wen kann man sich wenden, wenn man durch Lärm gestört wird?	37
Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen	39
Technische Maßnahmen zur Lärmbekämpfung	42
Auszüge aus dem Briefwechsel zu einem tatsächlich ausgetragenen Lärmkonflikt	46
Lärm und Licht in Diskos	48

## Ein Streitfall um LÄRM

# „Lärmbelästigung menschenunwürdig“

## Osterdeich-Anwohner laden Politiker zur Nacht-„Ruhe“ in ihre Wohnungen

„Die Belastungen der Anwohner des Hastedter Osterdeichs durch den ständig angewachsenen Straßenverkehr sind unerträglich geworden.“ Höchste Zeit sei es nunmehr, endlich Abhilfe zu schaffen. Über 2000 Fahrzeuge, so bemängelte der Vorsitzende der Bürgerinitiative „Rettet den Hastedter Osterdeich“, Hans Tangemann, am Donnerstagnachmittag während einer

Einwohnerversammlung in der Hastedter Auferstehungsgemeinde, rollten stündlich an den Wohnungen vorbei. Die Lärm- und Abgasbelastungen, die Erschütterungen der Gebäude in den Tag- und Nachtstunden, ganz zu schweigen von den Unfallgefahren, könnten nicht mehr länger hingenommen werden. Etliche Betroffene litten bereits unter nervösen Störungen.

Offenbar hätten die verantwortlichen Politiker die Sorgen der Osterdeich-Anwohner bislang noch gar nicht so recht wahrgenommen, meinte Tangemann. „Wir laden die Verantwortlichen herzlich ein, eine Nacht in unserer Wohnung zu verbringen, dann können sie sich selber von der menschenunwürdigen Belästigung überzeugen.“ Keineswegs wolle man das Auto schlechthin verdammen. Auch sei den Anwohnern klar, daß der Osterdeich eine durchgängige Verbindung zwischen dem Bremer Osten und der Innenstadt darstelle.

Trotzdem forderten die Hastedter, wenigstens den angestiegenen Schwerlastverkehr einzudämmen. Etliche Fahrten, so zum Beispiel zwischen Obervieland und Hemelingen, könnten „besser über die Autobahn abgewickelt“ werden. Früher seien Fernstraßen für den Fernverkehr nötig gewesen. Angesichts des inzwischen weitverzweigten Autobahnnetzes müsse heute aber die berechtigte Frage gestellt werden, wieso es Bundesfernstraßen jetzt noch in der Innenstadt gebe.

Die Bürgerinitiative will in diesen Tagen bei den Anwohnern des Osterdeichs eine Unterschriftenaktion zur Unterstützung ihrer Forderungen starten. „Wir sind gegen Kreuzungsblockaden, Ampelbesetzungen und ähnliche Selbsthilfreaktionen“, erklärte der Vorsitzende. Allerdings seien die verantwortlichen Politiker aufgerufen, so bald wie möglich entscheidende Verbesserungen in die Wege zu leiten. Sonst könnten die Anwohner möglicherweise doch mal die Geduld verlieren, gab Tangemann zu bedenken. khp

Weser-Kurier, vom 15. 4. 1980

Wer hat hier den Anstoß gegeben, damit etwas passiert?

### Eine Bürgerinitiative

Welche Schritte wurden bisher unternommen oder geplant?

### Einwohnerversammlung, Unterschriftenaktion

Welche Belastungen oder gesundheitliche Auswirkungen wurden bisher festgestellt?

### 2000 Fahrzeuge/Stunde, Lärm, Abgase, Erschütterungen, nervöse Störungen

Welche Lösungsvorschläge wurden bisher gemacht?

### Weniger Schwerlastverkehr, Umleitung über Autobahn

Diese Bürgerinitiative könnte ihren Kampf zur Lärmverminderung noch verbessern, zum Beispiel

- durch Verweis auf **gesetzliche Bestimmungen** (vgl. S. 39)
- durch entsprechende **Lärmmessungen** (vgl. S. 29)
- durch Aufklärung der Bevölkerung über die **gesundheitlichen Auswirkungen** (vgl. S. 33)
- durch weitere technische Vorschläge zur **Lärminderung** (vgl. S. 42)
- durch Anträge an die **zuständigen Behörden** (vgl. S. 39)

Es sind also Kenntnisse aus verschiedenen Bereichen notwendig, um sich erfolgreich gegen Lärm wehren zu können.

Welchen Schulfächern würdest du diese Kenntnisse zuordnen?

### Physik, Gemeinschaftskunde, Biologie, Technik

## Schwingungsvorgänge und ihre AMPLITUDE

Schall wird durch schwingende Gegenstände (Saiten, Membrane, ...) erzeugt.

Um die Eigenschaften einer Schwingbewegung im einzelnen untersuchen zu können, werden daher im folgenden zunächst sehr langsame und deutlich sichtbare Schwingbewegungen behandelt.

Für alle Schwingungen ist die **Amplitude** wichtig. Sie gibt den Abstand zwischen **Ruhelage** und **Umkehrpunkt** an. (Amplitude = Schwingungswerte)

Beispiele:

- Die Bewegung des Pendels dieser Uhr ist ein Schwingungsvorgang. Drei besondere Stellungen des Pendels sind gestrichelt gezeichnet. Wie werden sie genannt?

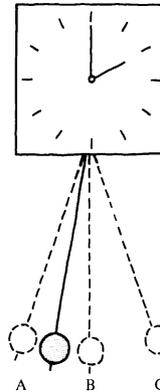
A: Umkehrpunkt

B: Ruhelage

C: Umkehrpunkt

Wie groß ist die Amplitude in der Zeichnung?

Die Amplitude ist 1,5 cm groß



- Von der Schwingbewegung des Spielzeugs sind drei Stellungen gezeichnet.

Wie groß ist die Amplitude (in der Zeichnung)?

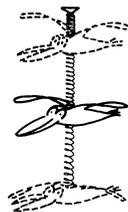
Amplitude: 2,0 cm

Wie werden diese Stellungen bezeichnet?

Umkehrpunkt

Ruhelage

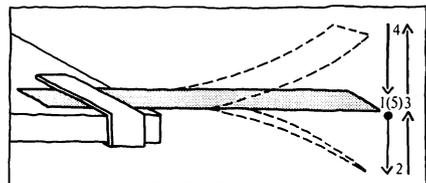
Umkehrpunkt



### Was ist „eine Schwingung“?

Eine Schwingung ist eine volle Hin- und Herbewegung, die sich danach immer wiederholt. Sie kann z.B. bei einer Blattfeder beim oberen Umkehrpunkt beginnen und durchläuft dann die Stationen Ruhelage – unterer Umkehrpunkt – Ruhelage – oberer Umkehrpunkt (Ende). Sie kann aber auch bei der Ruhelage beginnen. Schreibe die dann folgenden Stationen für eine Schwingung auf!

- Anfang: Ruhelage
- Station: unterer Umkehrpunkt
- Station: Ruhelage
- Station: oberer Umkehrpunkt
- Ende: Ruhelage



## Schwingungsvorgänge und ihre FREQUENZ

Was heißt „Frequenz“ und „Hertz“ (Hz)?

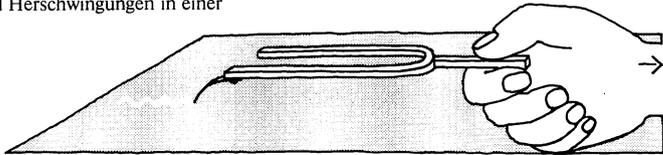
*Der Pulsschlag hat eine Frequenz von etwa 1 Hz.*

*Der Kammerton a hat eine Frequenz von 440 Hz.*

*NDR II sendet das Nachtprogramm auf Kanal 92, entsprechend der Frequenz von 104 000 000 Hz = 104 MHz.*

Was bedeuten diese Aussagen?

Zeichnet man die Hin- und Herschwingungen einer Stimmgabel, die den Kammerton a aussendet, auf, so erhält man 440 Hin- und Herschwingungen in einer Sekunde.



Die „Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde“ wird „Frequenz“ genannt.

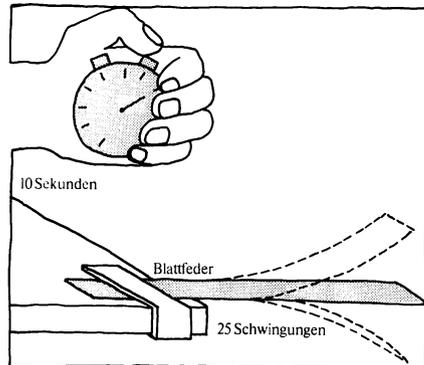
Wenn ein Vorgang mit der Frequenz von 1 Hz abläuft, so wird in einer Sekunde eine Hin- und Herschwingung ausgeführt.

**Beispiel:** Wie groß ist die Frequenz der Bewegung, die die abgebildete Blattfeder ausführt?

In 10 Sekunden 25 Schwingungen

In 1 Sekunde 2,5 Schwingungen

**Ergebnis:** Die Frequenz der Blattfeder beträgt 2,5 Hz



**Aufgabe:** Wie groß ist die Frequenz der Bewegung, die dein eigenes Herz ausführt? (Zähle deinen Puls 10 Sekunden lang)

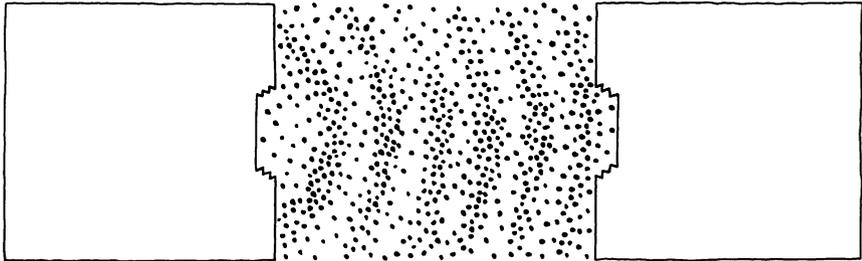
In 10 Sekunden 12 Schläge, also ist  $f = 1,2$  Hz

**Schwingungen werden hörbar**

Die oben abgebildete Blattfeder kann man auch kürzer einspannen. Dann zeigt sich im Versuch: Je kürzer man die Feder einspannt, desto schneller wird die Schwingung, desto größer wird die Frequenz. Von einer bestimmten Frequenz an wird ein Ton hörbar, der bei noch größeren Frequenzen höher klingt.

## Wie wird Schall übertragen?

Schall (bzw. Lärm) wird in einer **Quelle** erzeugt, durch ein **Medium** übertragen und von einem **Empfänger** empfangen.



*Quelle*

*Medium*

*Empfänger*

Trage die Begriffe Quelle, Medium und Empfänger in das gezeichnete Schema ein!  
Gib je zwei Beispiele an!

	1. Beispiel	2. Beispiel
Quelle:		
Medium:		
Empfänger:		

## Wie kann man sich die Schallübertragung vorstellen?

Die Schallquelle besitzt ein Teil, das hin und her schwingen kann. Diese Schwingungen (Vibrationen) erzeugen in dem benachbarten Medium ebenfalls Schwingungen in Form von Druckschwankungen. Da das Medium elastisch ist, breiten sich diese Druckschwankungen nach allen Seiten hin aus und bringen beim Empfänger wiederum gewisse Teile zum Schwingen (Vibrieren).

Was könntest du erwidern, wenn jemand behauptet, Schall wäre ein Stoff, der sich wie ein Parfüm ausbreitet? Diskutiere einige Unterschiede zwischen „Schall“ und „Parfüm“ an Hand verschiedener Versuche!

**Bei einem Parfüm braucht man an der Quelle eine Öffnung oder einen Hahn, beim Schall braucht man Schwingungen. Ein Parfüm muß man nachfüllen, eine Schallquelle anstoßen. Ein Parfüm könnte auch durch den leeren Raum (Vakuum) kommen, der Schall geht nicht durch das Vakuum.**

---



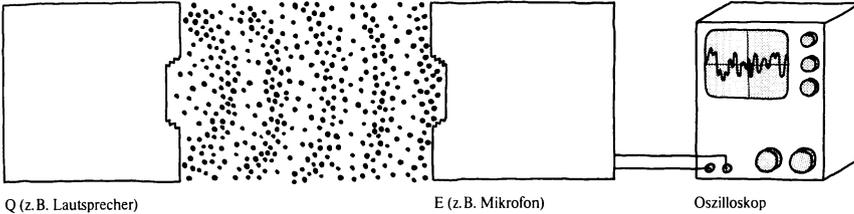
---



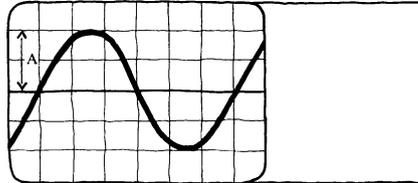
---

## Wie lassen sich Schallschwingungen untersuchen?

Zur Untersuchung von Schall bzw. Lärm benötigt man eine Methode, mit der die Druckschwankungen der Luft sichtbar gemacht werden können. Dies gelingt am besten, indem man die Luftdruckschwankungen z.B. mit einem Mikrofon in elektrische Schwingungen umwandelt und diese elektrischen Schwingungen dann am Oszilloskop sichtbar macht. (Weitere Methoden: vgl. S. 26)



Bei reinen Tönen erhält man dann auf dem Oszillographen immer etwa das nebenstehende Bild. Dabei ist A die Amplitude. Im Unterricht werdet Ihr herausfinden:

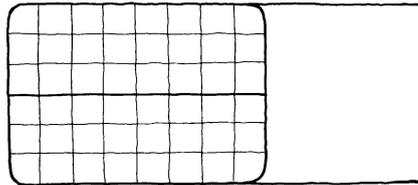
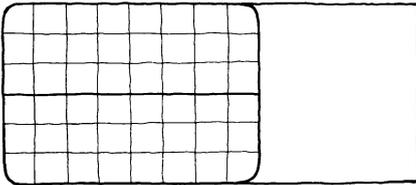


Je größer die Amplitude, desto größer

die Lautstärke \_\_\_\_\_ eines Tones.

Zeichne in die folgenden Bilder

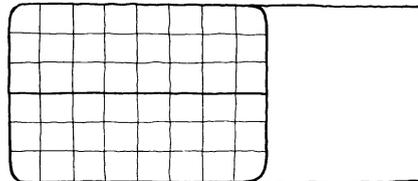
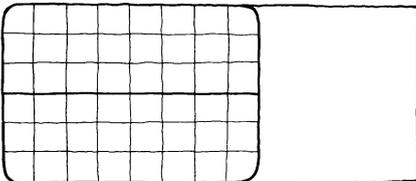
einen **lauten** Ton mit großer Amplitude    und    einen **leisen** Ton mit kleiner Amplitude ein!



Ebenso kann man mit dem Oszilloskopbild zwischen **hohen** und **tiefen** Tönen unterscheiden. Bei hohen Tönen sind die Bilder der einzelnen Schwingungen enger zusammengedrängt.

Zeichne in die folgenden Bilder

einen **hohen** Ton mit großer Frequenz    und    einen **tiefen** Ton mit kleiner Frequenz ein!

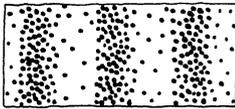
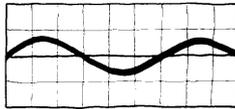
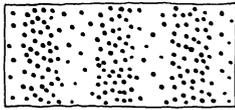
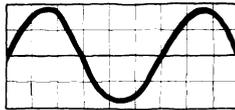
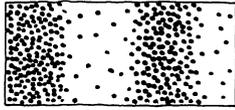
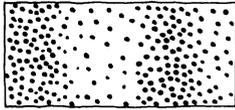
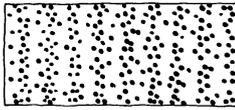
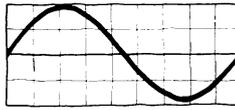


## Druckschwankungen bei der Schallübertragung

Hohe und tiefe bzw. laute und leise Töne gelangen durch Druckschwankungen (der Luft) an unser Ohr. Wie können wir uns das vorstellen?

Im folgenden sind die Druckschwankungen von fünf verschiedenen Tönen sowie die zugehörigen Bilder am Oszilloskop dargestellt, beide jedoch in verschiedener Reihenfolge.

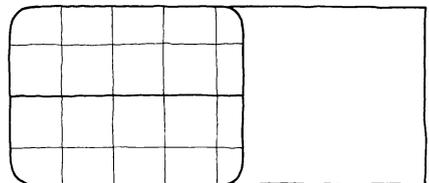
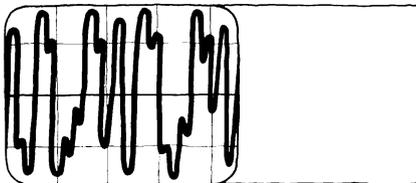
Welches Oszilloskopbild gehört zu welcher Druckschwankung?

	①	Trage ein!		②	Kreuze an!
	②			①	laut <input type="checkbox"/> hoch <input type="checkbox"/>
	③			④	leise <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/>
	④			⑤	tief <input type="checkbox"/> hoch <input type="checkbox"/>
	⑤			③	leise <input type="checkbox"/> mittel <input type="checkbox"/>
					tief <input type="checkbox"/> hoch <input type="checkbox"/>

Man kann Lärm auffassen als ein **Gemisch** von hohen und tiefen, lauten und leisen Tönen. Das Bild eines solchen Gemisches sieht auf dem Oszilloskopschirm dann unregelmäßiger aus.

laut (großer Lärm)

leise (kleiner Lärm)



(Zeichne das Bild selbst ein!)

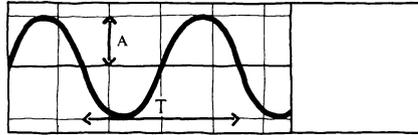
## Ableseübungen am Oszilloskop

Mit dem Oszilloskop kann man besonders gut die **Amplitude A** und die **Schwingungsdauer T** einer Schwingung bestimmen. Die Schwingungsdauer T ist die Zeit für **eine** Schwingung (gemessen in Sekunden). Je **kleiner** die Schwingungsdauer, desto **schneller** die Schwingung, desto **größer** die Frequenz. In einer Formel ausgedrückt:

$$f = \frac{1}{T}; \text{ Frequenz} = \frac{1}{\text{Schwingungsdauer}}$$

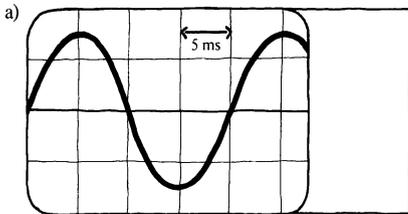
**Beispiel:**  $T = 10 \text{ ms (Millisekunden)} = \frac{1}{100} \text{ s}$

Dann ist  $f = \frac{1}{10 \text{ ms}} = \frac{1}{1/100 \text{ s}} = 100 \cdot \frac{1}{\text{s}} = 100 \text{ Hz}$ .



### Merke

1 ms	(Millisekunde)	= 0,001 s
1 $\mu$ s	(Mikrosekunde)	= 0,000001 s
1 kHz	(Kilohertz)	= 1000 Hz
1 MHz	(Megahertz)	= 1000000 Hz

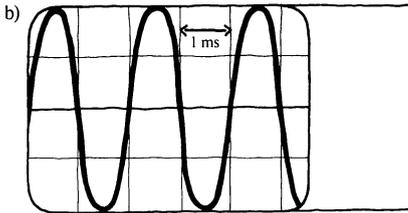


1 ms (Millisekunde) = 0,001 s

Amplitude  $A = \underline{1,5} \text{ cm}$

Schwingungsdauer  $T = \underline{20} \text{ ms} = \underline{2/100} \text{ s}$

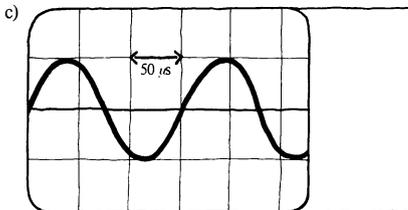
Frequenz  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2/100 \text{ s}} = \frac{100}{2} \text{ Hz} = 50 \text{ Hz}$



Amplitude  $A = \underline{2} \text{ cm}$

Schwingungsdauer  $T = \underline{2} \text{ ms} = \underline{0,002} \text{ s}$

Frequenz  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,002 \text{ s}} = 500 \text{ Hz}$



Amplitude  $A = \underline{1} \text{ cm}$

Schwingungsdauer  $T = \underline{150} \mu\text{s} = \underline{0,00015} \text{ s}$

Frequenz  $f = \frac{1}{0,00015 \text{ s}} = \frac{100000}{15} \text{ Hz}$   
 $= \frac{100}{15} \text{ kHz} \approx 6 \text{ kHz}$

1  $\mu$ s (Mikrosekunde) = 0,000001 s

## Wieviele Schwingungen pro Sekunde kann das menschliche Ohr hören?

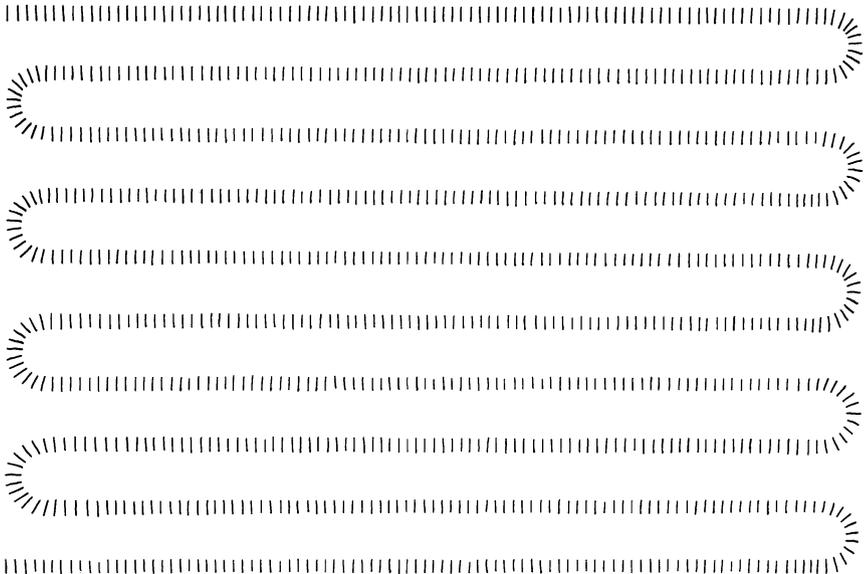
Um euch ein Gefühl für die erstaunlich große Empfindlichkeit des menschlichen Ohres zu vermitteln, möchten wir euch auffordern, die folgende Aufgabe durchzuführen, auch wenn sie etwas mühselig erscheint. In der ersten Abbildung sind 20 Streifen zu sehen. Wenn jeder dieser Streifen eine Druckschwankung darstellt und die 20 Druckschwankungen in einer Sekunde an euer Ohr treffen, so vernehmt ihr einen sehr tiefen Ton. Wie groß ist seine Frequenz?



In der zweiten Abbildung sind sehr viele Streifen dargestellt.

Wieviele sind es ungefähr?

ungefähr 1000



Glaubt ihr, daß euer Ohr sovielen Luftschwingungen wahrnehmen kann, falls diese Luftschwingungen in einer Sekunde an euer Ohr treffen?

---

Wie steht ihr zu der Behauptung, daß das Ohr noch zehnmals soviel Schwingungen pro Sekunde wahrnehmen kann?

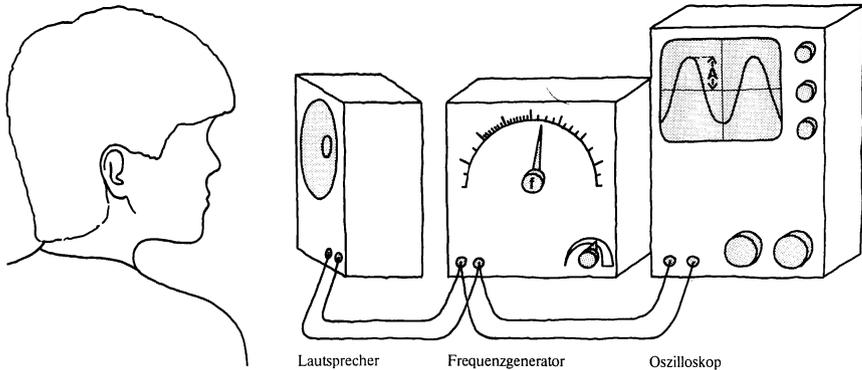
---

Auf den nächsten Seiten sind zwei Versuche beschrieben, die Antworten auf diese und andere Fragen geben.

## Wie reagiert das Ohr auf verschiedene Töne?

Zwei verschieden hohe Töne (Schallschwingungen mit **verschiedener** Frequenz), die aber gleiche Amplituden haben (also gleich große Druckschwankungen erzeugen), werden vom menschlichen Ohr im allgemeinen nicht gleich laut empfunden.

Wir untersuchen dies mit einem **Versuch**:



Es werden euch 5 Töne **verschiedener** Frequenz  $f$  aber gleicher Amplitude  $A$  vorgespielt. Jeder von euch schätzt die Lautstärke der Töne ein, indem er für jede Frequenz einen Kreis ankreuzt.

	1. Ton (250 Hz)	2. Ton (500 Hz)	3. Ton (1 kHz)	4. Ton (5 kHz)	5. Ton (10 kHz)
sehr laut 10	<input type="radio"/>				
9	<input type="radio"/>				
laut 8	<input type="radio"/>				
7	<input type="radio"/>				
6	<input type="radio"/>				
mittel 5	<input type="radio"/>				
4	<input type="radio"/>				
3	<input type="radio"/>				
leise 2	<input type="radio"/>				
sehr leise 1	<input type="radio"/>				

Das Ohr hört also Töne mit mittleren Frequenzen (um 1 kHz) am lautesten, während es sehr hohe und sehr tiefe Töne weniger gut hört.

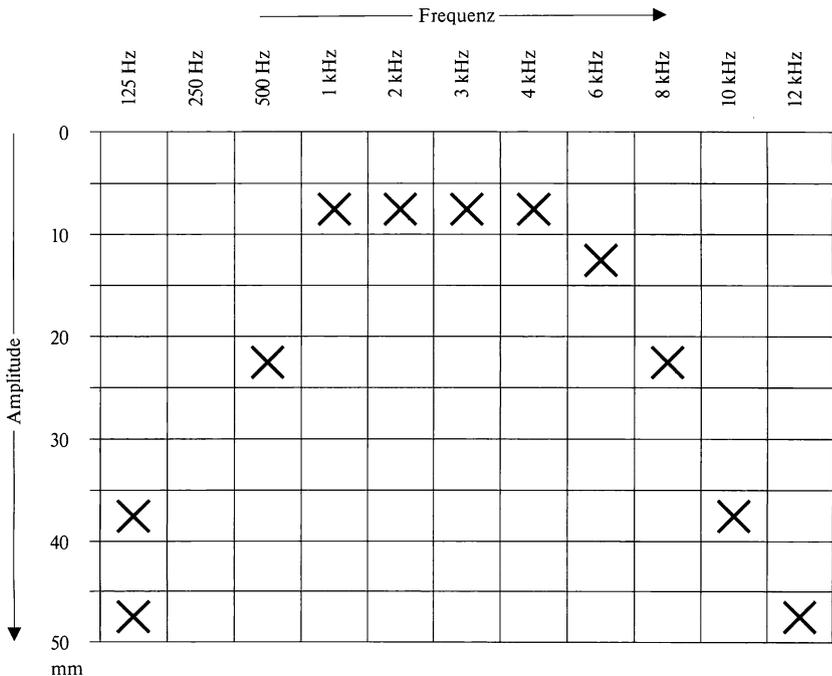
Unter 20 Hz und über 17000 Hz (17 kHz) hören die meisten Menschen gar nichts mehr. Man nennt diese Frequenzen **Hörgrenzen des Ohres**.

## Wir nehmen ein AUDIOGRAMM auf

Mit demselben Versuchsaufbau wie beim vorigen Versuch (S. 10) können wir eine Gehörprüfung durchführen, ähnlich wie es ein Ohrenarzt tut. Dabei prüfen wir für verschiedene Frequenzen, ab welcher Amplitude die Versuchsperson den Ton hört.

Das geschieht in folgenden **Schritten**:

1. Lautstärkeeinstellung (Amplitude) auf Null drehen
2. Die Frequenz des Prüftons einstellen
3. Die Lautstärke ganz allmählich erhöhen
4. Wenn die Versuchsperson den Ton hört, gibt sie ein Zeichen
5. Lautstärkeregler loslassen
6. Die Amplitude auf dem Oszilloskop ablesen (in mm)
7. Diesen Wert in das Diagramm unten eintragen!
8. Jetzt beginnt das Ganze mit einer neuen Frequenz wieder bei 1.



Bei diesem Diagramm wird die Amplitude **nach unten** aufgetragen, weil eine größere Amplitude **schlechteres** Hören bedeutet! Ein solches Diagramm über die Hörfähigkeit eines Menschen nennt man **Audiogramm**.

**Anregung:** Vergleicht verschiedene Kurven für verschiedene Personen z.B. verschiedene Schüler oder ein Lehrer und ein Schüler.

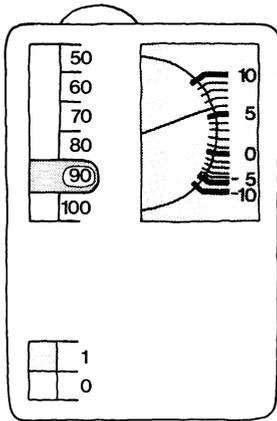
Überall wo Punkte in diesem Audiogramm tiefer liegen, hört die Versuchsperson **schlechter**. Besonders bei Frequenzen zwischen 2 und 6 kHz erkennt man oft einen beginnenden Hörschaden, der von Lärm verursacht sein kann.

## Ableseübungen mit einem Schallpegelmesser

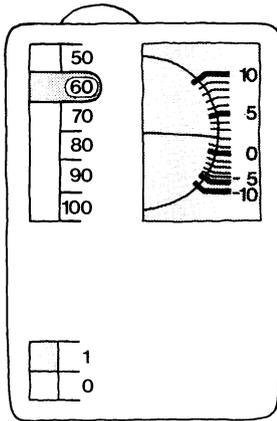
Bei allen Messungen im Zusammenhang mit LÄRM wird ein Schallpegelmesser benützt. Er mißt die Lautstärke des Lärms in der **Einheit dB (A)**. In dieser Einheit sind auch die zulässigen Höchstwerte („Richtwerte“) in den Gesetzen angegeben.

Für die Ablesung muß man den **Meßbereichsschalter** und den **Zeigerausschlag** beachten. Dann gilt:  
 Meßwert = Meßbereichswert + Anzeigewert

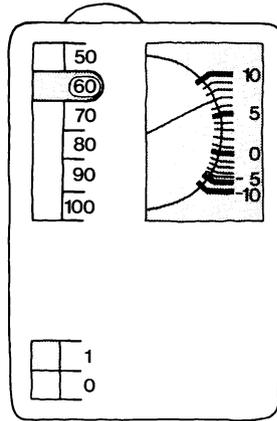
Wenn der Anzeigewert negativ ist – Beispiel c und d – muß er vom Meßbereichswert abgezogen werden. Beachtet auch die Beschreibung des Schallpegelmessers auf Seite 30!



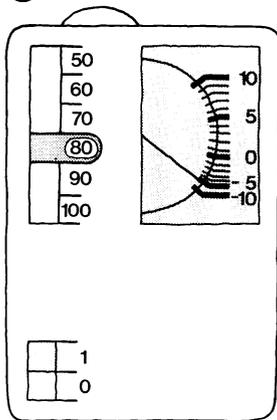
a 96 dB(A)



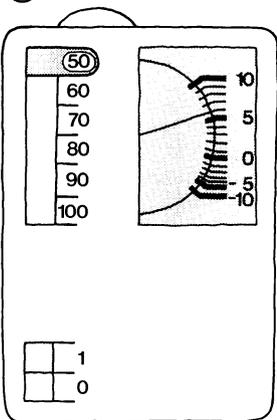
b 62 dB(A)



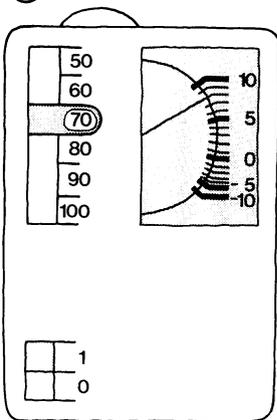
c 67 dB(A)



d 75 dB(A)



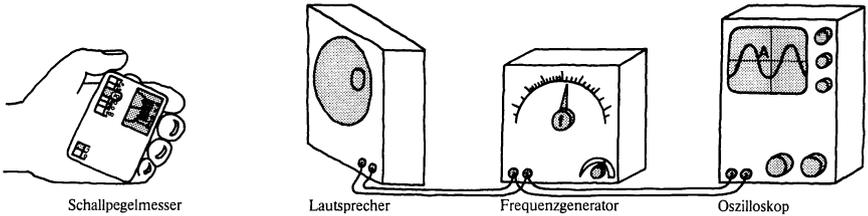
e 56 dB(A)



f 78 dB(A)

## Zwei Versuche zur Untersuchung des Schallpegelmessers

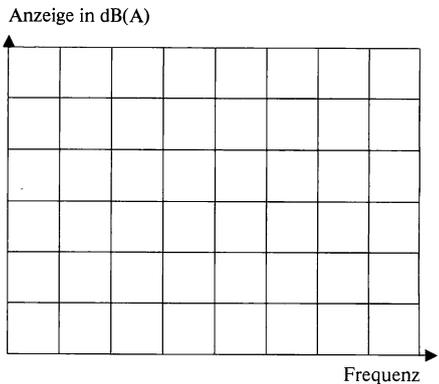
Ein Schallpegelmesser soll auf die Lautstärke des Lärms ähnlich wie das Ohr reagieren. Man sagt, er soll **gehör- richtig messen**. Um dies zu überprüfen, machen wir mit dem Schallpegelmesser dieselben Versuche wie mit dem Ohr (vgl. S. 10 u. 11). Dazu verwenden wir den folgenden Versuchsaufbau:



### 1. Versuch:

Wir lassen im Lautsprecher verschiedene Töne mit verschiedener Frequenz ertönen, aber wir lassen die **Amplitude** dabei immer **gleich groß**. Dann wird der Zeigerausschlag abgelesen.

Trage die Meßergebnisse in das nebenstehende Diagramm ein!



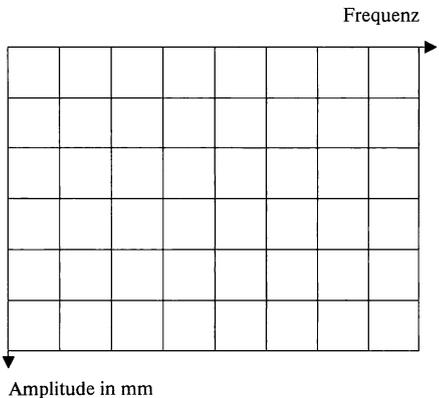
Welchem Versuch mit dem Ohr entspricht das?

*Dem Versuch, bei dem wir die Lautstärke geschätzt haben*

### 2. Versuch:

Jetzt wird bei jeder Frequenz die Amplitude von Null an so lange erhöht, bis eine bestimmte Anzeige, (z.B. 80 dB(A) auf dem Schallpegelmesser erreicht ist. Die zugehörige Amplitude wird auf dem Oszilloskop abgelesen.

Trage die Meßergebnisse in nebenstehendes Diagramm ein!



Welchem Versuch mit dem Ohr entspricht dieser Versuch?

*Dem Versuch, bei dem die gerade noch hörbare Amplitude gemessen wurde*



## Technische Maßnahmen zur Lärminderung

In dem folgenden Versuch sollt ihr eine Lärmquelle (z.B. Lärmkassette oder Bohrmaschine) leiser machen. Macht dazu **selbst** Vorschläge, die sich mit den vorhandenen Materialien durchführen lassen. Tragt eure Ergebnisse in folgende Tabelle ein!

Versuch: Wir machen eine Bohrmaschine leiser

Ergebnis: Lärmpegel ohne Maßnahme  $L = 85 \text{ dB(A)}$

Nr.	Beschreibung der Maßnahme	Verminderung des Pegels um
1	<i>Holzboxe darüber</i>	15 dB(A)
2	<i>Schaumstoffunterlage</i>	10 dB(A)
3	<i>Holzboxe und Schaumstoffunterlage</i>	25 dB(A)
4	<i>Holzboxe innen mit Schaumstoff ausgekleidet</i>	30 dB(A)
5	<i>Bohrmaschine langsamer</i>	10 dB(A)
6	4 + 5	35 dB(A)

Wir haben schon früher gesehen, daß zur Übertragung von Schall bzw. Lärm drei Dinge nötig sind. Welche waren es?

Schallquelle, Medium, Empfänger

(Wenn du es nicht mehr weißt, so lies auf S. 5 nach)

Entsprechend teilt man die technischen Maßnahmen in drei Arten ein:

### 1. Technische Maßnahmen an der Quelle

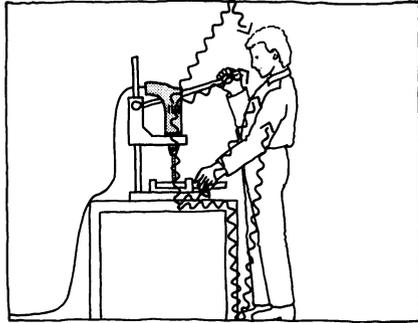
Beispiele: leisere Motoren im Auto (z.B. Stirlingmotor), Versteifen schwingungsfähiger Teile (z.B. Motorhaube des Autos), Kunststoffzahnäder im Getriebe, langsamere Fahrgeschwindigkeit beim Auto

Vorteile: Wirkung nach allen Seiten, keine Behinderung

## 2. Technische Maßnahmen auf den Ausbreitungswegen

In dem nebenstehenden Bild kannst du dir klarmachen, daß es **verschiedene Ausbreitungswege** von der Lärmquelle (hier eine Bohrmaschine) zum Empfänger (hier dem Arbeiter an dieser Maschine) gibt.

Zeichne verschiedene mögliche Schallwege mit Farbe ein, und bezeichne jeden Weg mit einer Nummer z. B. ①!



Ordne die verschiedenen Wege den folgenden drei Arten zu!

Direkter Luftschall: Nr. ②, reflektierter Luftschall: Nr. ①, Körperschall: Nr. ③ ④ ⑤ ⑥  
 (= Schall, der sich durch feste Körper ausbreitet, und von diesen abgestrahlt wird)

Für jede dieser drei Arten von Übertragungswegen gibt es wiederum typische Schallschutzmaßnahmen.

### a) Schallschutzwände zur Verminderung des direkten Luftschalles

In einem Versuch können die wichtigsten Eigenschaften von Schallschutzwänden untersucht werden. Zeichne hier die Versuchsanordnung auf!

V Versuchsergebnisse: ohne Wand:  $L_{refl.} = 75 \text{ dB(A)}$ ,  $L_{hinter} = 80 \text{ dB(A)}$

Nr.	Art der Wand	Zunahme von $L_{refl.}$ (Reflexion)	Abnahme von $L_{hinter}$ (Dämmung)	das bedeutet:
1	Schaumstoff	0	- 20 dB(A)	Es wird nichts reflektiert, aber viel geschluckt („gedämpft“)
2	Styropor	+ 10 dB(A)	- 10 dB(A)	Es wird einiges reflektiert, aber wenig geschluckt („gedämpft“)
3	Holz	+ 15 dB(A)	- 30 dB(A)	Es wird gut reflektiert und gut gedämpft, beides zusammen führt zu einer guten Dämmung

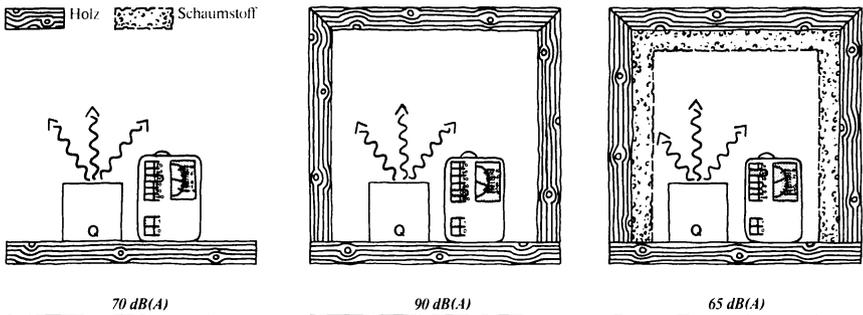
**Merke:** Dämmung = Allgemeine Lärminderung durch eine Wand (einen „Damm“)  
 Dämpfung = Lärminderung durch „Bedämpfung“ des Schalls; dabei wird Schallenergie in Wärme verwandelt (z.B. auch bei der Dämmung)

Die Dämmung einer Wand ist umso besser, je **besser sie reflektiert und je größer die Dämpfung im Inneren der Wand ist**

Beispiele für Schallschutzwände: **Lärmschutzwände an Verkehrsstraßen, Einfach- und Doppelfenster, Türen, Hauswände**

b) Auskleidung mit schallschluckenden Stoffen zur Verminderung des reflektierten Luftschalls.  
 Um den Lärm durch reflektierten Luftschall zu vermindern, kann man die Wände mit Stoffen auskleiden, die **den Schall schlecht reflektieren, also z.B. mit porösen Stoffen wie Schaumstoff oder Lochplatten**

Versuch:



c) Anbringung von Zwischenschichten zur Verminderung von Körperschall

Beispiele: **Filtzunterlage unter einer Maschine, Gummilager bei der Motoraufhängung,**

Plant selbst (mit eurem Lehrer) Versuche zur Untersuchung solcher Zwischenschichten!

### 3. Technische Maßnahmen beim Empfänger

Beispiele: **Watte, Gehörstöpsel, Lärmschutzklappen**

Vorteile: **billig, keine Veränderung der Umgebung nötig**

Nachteile: **Kommunikationsstörung, Schwitzen und Drücken**

## Informationen zum Simulations-Rollenspiel

Wenn es Streit um Lärm gibt, so nennt man das **einen Lärmkonflikt**. Ein Lärmkonflikt beginnt meistens damit, daß sich einige Leute durch Lärm gestört fühlen und sich wehren. Wir nennen diese Leute **die Betroffenen**. Sie können sich als erstes an **den Verursacher** des Lärms wenden. Wenn sie sich mit diesem einigen, kann der Lärmkonflikt schnell und einfach beendet werden. Oft ist das aber nicht so einfach, z.B. weil der Verursacher gar nicht ansprechbar ist (Verkehrslärm) oder weil er sich weigert, auf Wünsche der Betroffenen einzugehen. Dann können sich die Betroffenen beschweren, etwa beim **Umweltministerium**, bei der **Polizei** oder beim **Gewerbeaufsichtsamt**. Dann wird aus dem Lärmkonflikt ein „Fall“. Solche Fälle könnt ihr im Unterricht nachspielen, indem ihr von einem wirklichen oder erdachten Lärmkonflikt ausgeht und die verschiedenen Personen oder Ämter als **Rollen** unter euch verteilt. Das nennen wir dann ein **Simulations-Rollenspiel** (Simulation = ähnlich nachmachen). **Beispiele** für solche Fälle findet ihr auf den Seiten 1, 46, 48). Im folgenden findet ihr einige Hinweise für die wichtigsten Rollen. Sie können auch dann von Nutzen sein, wenn in eurem Unterricht **kein** Spiel durchgeführt wird.

### Was können die Betroffenen tun, um sich gegen Lärm zu wehren?

Grundregel: Die Betroffenen müssen etwas unternehmen, sonst ändert sich nichts. Im Spiel ist das ähnlich:  
Wenn die Betroffenen nicht handeln, kommt das Spiel nicht in Gang.

Möglichkeiten:

1. Sich an den **Verursacher** wenden. Einigt man sich mit diesem, so ist der „Fall“ erledigt, das Problem ist gelöst.
2. Sich mit Nachbarn oder Kollegen zusammentun und gemeinsam weitere Schritte überlegen. Eventuell eine Bürgerinitiative gründen.
3. Einige Verbesserungsvorschläge ausarbeiten (z.B. für Veränderungen der Lärmquelle oder für Schutzmaßnahmen).
4. Wenn man jemand kennt, der ein Lärmmeßgerät besitzt, so kann man diesen bitten, einige (vorläufige!) Messungen zu machen oder das Meßgerät auszuleihen.
5. Sich über gesetzliche Bestimmungen informieren.  
Vergleiche dazu den Text „Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen für die vier wichtigsten Lärmbereiche“ (S. 39).
6. Sich an eine zuständige, ebenfalls in dem obigen Text angegebene Stelle oder Institution mit einer **Beschwerde** wenden. Vergleiche dazu auch die Fälle im Anhang!
7. Die Zeitung informieren.

### Was kann der Verursacher tun, um seine Interessen zu vertreten?

1. Eigene Messungen in Auftrag geben.
2. Informationen über mögliche Maßnahmen und ihre Kosten einholen.
3. Vorschläge zur Lösung des Konflikts machen.
4. Gutachten über den „Stand der Technik“ einholen, wenn er der Meinung ist, der Lärm läßt sich nicht weiter verringern.

## Wie geht ein Meßfachmann bei einer Lärmmessung vor?

1. Informationen über Lärmquelle und den Betroffenen sammeln.
2. Richtwerte feststellen, die für den speziellen Fall in Frage kommen.  
Vergleiche dazu den Text: „Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen für die vier wichtigsten Lärmbereiche“ (S. 39).
3. Meßorte festlegen.  
Grundregel: Gemessen wird an der Stelle, wo sich der Betroffene meistens befindet. Also z.B. bei Verkehrslärm an der Hausfront (vor dem Fenster), bei Nachbarschaftslärm ebenso; bei Lärm am Arbeitsplatz etwa an der Stelle, wo sich das Ohr des Arbeiters (am häufigsten) befindet.
4. Zahl der notwendigen Messungen festlegen und diese durchführen. Man mißt so oft, daß die typischen Werte und Schwankungen erfaßt werden und eine Mittelung möglich ist. Vergleiche dazu den Text: „Die Mittelung von Meßwerten“ (S. 32).
5. Mittelwerte bestimmen und evtl. einen Vergleich mit dem Richtwert vornehmen.
6. Die wichtigsten Ergebnisse in einem Kurzbericht aufschreiben.

Beispiel für ein Meßprotokoll		
Fall: _____		
Lärmquelle: _____		
Richtwerte: _____		
Meßprotokoll		
Nr.	Meßort	L in dB(A)
Geschätzter Mittelwert:		_____
Ergebnis: _____		

## Wie geht ein Schallschutzfachmann vor, wenn ein Lärmproblem an ihn herangetragen wird?

Der Schallschutz wird heute meistens von Spezialfirmen für „Isolationsfragen“ (oft gemeinsam mit Wärmeisolation) durchgeführt. Um zu einer guten und nicht zu teuren Lösung zu kommen, muß der Schallschutzfachmann mehrere Teilfragen beantworten:

1. Welche Art von technischer Maßnahme (an der Quelle, auf dem Ausbreitungsweg, beim Empfänger) kommt in Frage?  
Lest dazu den Text: „Technische Maßnahmen zur Lärmbekämpfung“ (S. 42)!
2. Ist eine Vorentscheidung in dieser 1. Frage gefallen, so müssen Einzelheiten der technischen Maßnahme festgelegt werden (z.B. Material, Maße, Befestigung, etc.).  
Hierzu können auch **Versuche** durchgeführt werden, die ihr euch selbst überlegen könnt. Euer Lehrer wird euch bei der Durchführung helfen.
3. Häufig kommen auch mehrere verschiedene Maßnahmen in Frage. Dann müssen Überlegungen zu deren Vor- und Nachteilen durchgeführt werden, z.B. über den Preis und den Grad der zu erwartenden Lärm-minderung.

## Was tut ein Arzt, wenn ein vom Lärm geplagter Patient zu ihm kommt?

### A. Bei Verdacht auf Hörverlust

1. Prüfung des Gehörs
  - a) Audiogramm aufnehmen (vgl. S. 11!)
  - b) Feststellung der Hörminderung durch Vergleich mit dem Audiogramm von gesunden Personen. Vergleiche hierzu auch den Text „Wie wird Schwerhörigkeit nachgewiesen?“ (S. 34!) Im **Spiel** sollten auch **zwei** Audiogramme (z.B. vom Lehrer und von einem Schüler) aufgenommen und verglichen werden.
  - c) Kontrolle des Ergebnisses durch andere Verfahren (z.B. Messung des Abstandes für normales Sprechen bzw. Flüstern)
2. Klärung der Arbeitsplatzbedingungen des Patienten, wenn es sich um einen arbeitsbedingten Fall von Schwerhörigkeit handelt. Wurde der Schallpegel an dem Arbeitsplatz gemessen? Wie lange arbeitet der Patient schon an diesem (oder einem ähnlichen) Arbeitsplatz?  
Vergleiche dazu den Text „Bei welchem Lärm muß man mit einem Hörverlust rechnen?“ (S. 35)
3. Anfertigung eines Gutachtens mit den folgenden Punkten:
  - eine Beurteilung des Gehörschadens
  - eine Abschätzung darüber, wodurch der Schaden entstanden sein könnte
  - eine Empfehlung über eine Entschädigung oder Rente.

### B. Bei anderen krankhaften Auswirkungen von Lärm

Zunächst läßt sich der Arzt möglichst genau über die Lärmsituation des Patienten und seine gesundheitlichen Auswirkungen berichten. Eine wichtige Aufgabe des Arztes besteht dann darin, den Patienten über mögliche Auswirkungen von Lärm zu informieren. (Vergleiche hierzu den Text „Andere gesundheitliche Schäden durch Lärm“ S. 36.) Der Arzt muß aber auch andere, zusätzliche Belastungen (z. B. besonderen Streß) und den allgemeinen Gesundheitszustand des Patienten erfassen und berücksichtigen.

## Allgemeine Informationen für folgende Rollen: Polizei, Gewerbeaufsichtsamt, Berufsgenossenschaft und Umweltministerium

Wenn ihr in einem Simulations-Rollen-Spiel eine dieser Rollen übernommen habt, so lest zuerst die beiden folgenden **Texte** durch:

1. „An wen kann man sich wenden, wenn man durch Lärm gestört wird?“ (S. 37)
2. „Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen für die vier wichtigsten Lärmbereiche“ (S. 39)

Es ist zur **Vorbereitung eines Spiels** zweckmäßig, die für eure Rolle speziellen Informationen aus diesen Texten **herauszuschreiben**, insbesondere über

- **Zuständigkeit** eurer Rolle in diesem speziellen Fall
- **Handlungsmöglichkeiten** eurer Rolle

Einige mögliche Handlungen sind:

Polizei: Ordnungswidrigkeit gegen gesetzliche Bestimmungen feststellen, Anordnungen zur Lösung des Konflikts treffen, Bußgeld verhängen

Gewerbeaufsichtsamt: ähnlich wie „Meßfachmann“ (S. 17)

Berufsgenossenschaft: ähnlich wie „Meßfachmann“, nur in Betrieben (Arbeitslärm)

Umweltministerium: Beschwerde aufnehmen, an zuständige Stellen oder den Verursacher weiterleiten, auf gesetzliche Bestimmungen verweisen

Daraus solltet ihr eigene Ideen entwickeln, was ihr mit eurer Rolle in diesem speziellen Fall tun könnt und diese Ideen **stichwortartig aufschreiben!**

## Allgemeine Fragen zur Durcharbeitung eines „Lärm-Falles“

Im Anhang dieses Heftes sind einige „Fälle“ bzw. Zeitungsausschnitte wiedergegeben (vgl. S. 1, 46, 48)

Eine Untersuchung dieser Berichte zeigt, daß häufig die folgenden Fragen wichtig gewesen sind:

1. Wie haben die Betroffenen den Fall in Gang gebracht?
2. Welche Belastungen oder gesundheitliche Schäden traten auf?
3. Welche Institutionen waren beteiligt? Wie haben sie reagiert?
4. Welche gesetzlichen Bestimmungen wurden zugrunde gelegt?
5. Wurden Messungen durchgeführt? Mit welchem Ergebnis?
6. Welche Maßnahmen wurden vorgeschlagen bzw. durchgeführt, um das Problem zu lösen? (Technische oder andersartige Maßnahmen)

Versucht, diese Fragen anhand der Texte (S. 46–48) zu beantworten!

Schreibt euch die Antworten zu diesen Fragen aus dem Text heraus!

**Vorschlag:** Falls ihr in eurer Tageszeitung einen Bericht über einen „Lärmkonflikt“ in eurer Umgebung findet, so ist es sicher interessant, den „Fall“ anhand dieser Fragen zu untersuchen.

### Anregungen für Fragen bei einer Erkundung

(z.B. bei Polizei, Gewerbeaufsichtsamt, Berufsgenossenschaft, Umweltministerien, Gemeindeverwaltung, Arzt, Schallschutzfirma, Betroffene)

Um konkretere Erfahrungen mit Lärm zu machen, ist es interessant, solche Leute oder Stellen zu besuchen, die häufiger mit Lärm zu tun haben (siehe oben).

Für einen solchen Besuch solltet ihr euch dadurch vorbereiten, daß ihr eure eigenen Fragen über Lärm aufschreibt (die **euch** am meisten interessieren!). Macht euch einige Zettel, auf denen ihr diese Fragen aufschreibt und laßt hinter jeder Frage Platz, um in Stichworten die Antworten aufzuschreiben.

#### Hier einige Beispiele für Fragen:

1. Mit welchen Beispielen von Lärm haben Sie in letzter Zeit am meisten zu tun?
2. Welche Probleme treten dabei auf?
3. Was tun Sie in diesen Fällen?
4. Welche weiteren Informationen können Sie uns geben?

In diesem zweiten Teil des Schülerheftes findest du zusammengefaßte Informationen zu unserem Thema. Wenn du etwas Bestimmtes suchst, so sieh im Inhaltsverzeichnis auf S. 1 nach!

## Lärm in unserer Umwelt

Lärm wird in unserer technischen Umwelt an sehr vielen verschiedenen Orten erzeugt und führt in wachsendem Maße zu einer Verminderung der Lebens- und Wohnqualität in unserem Land. Dabei ist nicht jedes Geräusch für alle Beteiligten gleich störend. Während für den Motorradfahrer das selbsterzeugte Geknatter als angenehm empfunden wird, ist es für andere eine sehr lästige Störung, eben Lärm.

Umfragen haben ergeben, daß sich **rund 40% aller Bewohner der Bundesrepublik zeitweilig oder dauernd durch Lärm gestört** fühlen. Das sind etwa 20 bis 25 Millionen Menschen, also fast jeder zweite Einwohner. Allerdings produzieren diese Menschen auch einen Teil dieses Lärms selber, indem sie z.B. ihr Auto in Wohnvierteln benutzen.

Häufigste **Lärmquelle** ist das **Auto**. Aber auch Flugzeuge, Fabriken, Baustellen, Eisenbahnen, Diskotheken, Mofas, Rasenmäher, Radios, Fernseher und andere belästigen viele Menschen.

Etwa 15% aller Menschen sind an ihrem **Arbeitsplatz** einem Lärm ausgesetzt, der **Lärmschwerhörigkeit** bewirken kann. So ist z.B. **Lärmschwerhörigkeit** die häufigste anerkannte Berufskrankheit, und sie ist unheilbar! Etwa 30-35% aller Menschen arbeiten an Arbeitsplätzen, die sie selbst als „laut“ bezeichnen.

In dieser Unterrichtseinheit werden solche Kenntnisse aus Physik, Technik, Biologie und Politik vermittelt, die jedem helfen können, **sich gegen Lärm zu wehren**.

Aus **Physik und Technik**: Lärmmessung, technische Schutzmaßnahmen gegen Lärm.

Aus der **Biologie**: Entstehung und Untersuchung der Lärmschwerhörigkeit, andere gesundheitliche Gefahren durch Lärm.

Aus der **Politik**: Gesetzliche Bestimmungen über Lärm, Ämter und Stellen, die zuständig sind.

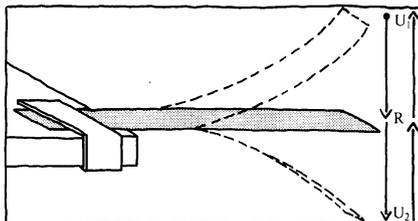




## Die Frequenz von Schwingungsvorgängen

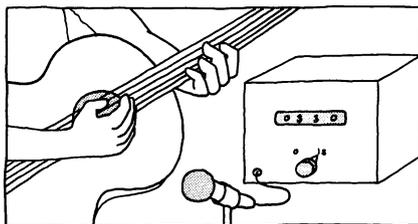
So wie die Amplitude die Lautstärke eines Tones bestimmt, so ist die Frequenz maßgeblich für die **Tonhöhe**.

Den Bewegungsablauf von einem Umkehrpunkt  $U_1$  über die Ruhelage  $R$  zum zweiten Umkehrpunkt  $U_2$  und wieder zurück nennt man **eine einzelne Schwingung**.



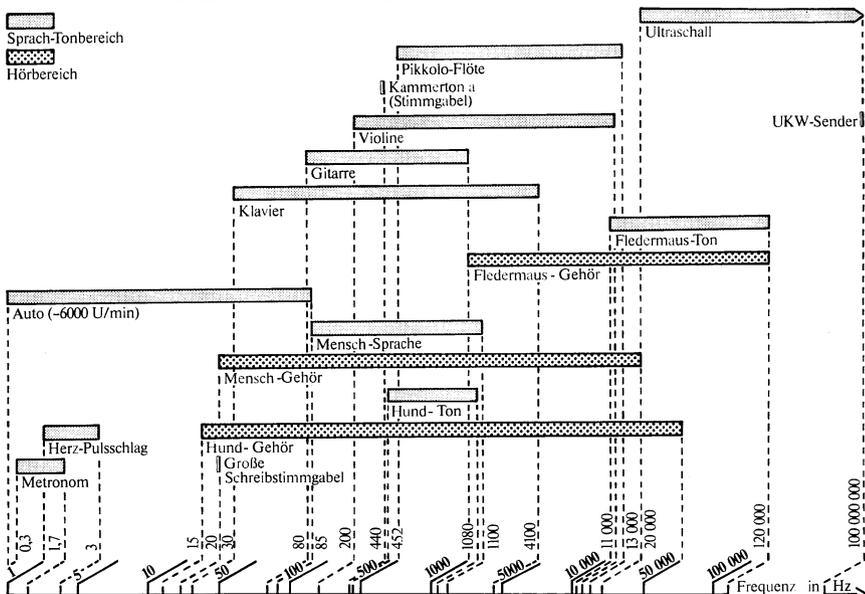
Die Anzahl solcher einzelnen Schwingungen, die in einer Sekunde ablaufen, nennt man die **Frequenz  $f$**  der Schwingung. Die Einheit dieser Größe wird mit Hertz (Hz) bezeichnet.

Die Frequenz läßt sich sehr einfach mit einem Zähler feststellen, der die einzelnen Schwingungen zählt und genau nach einer Sekunde abschaltet.



**Beispiel:** Die Frequenz der höchsten Gitarrensaiten ergibt sich zu  $f = 330$  Hz

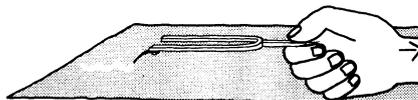
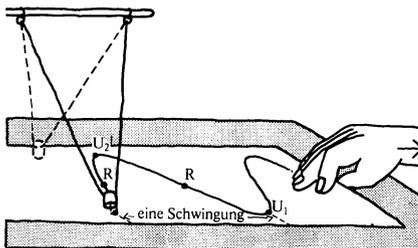
### Beispiele für Schwingungen verschiedener Frequenz:



## Die Aufzeichnung von Schwingungen

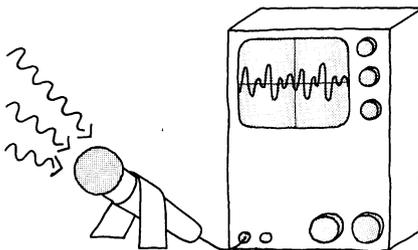
Um Schwingungsvorgänge näher untersuchen zu können, oder um sie überhaupt sichtbar zu machen, ist es notwendig, sie aufzuzeichnen.

Wenn es gelingt, den Schwingungsvorgang über einen Stift auf eine Schreibunterlage aufzuzeichnen, und wenn diese Unterlage dann gleichmäßig zur Seite bewegt wird, so erhält man eine Darstellung des Schwingungsvorganges.



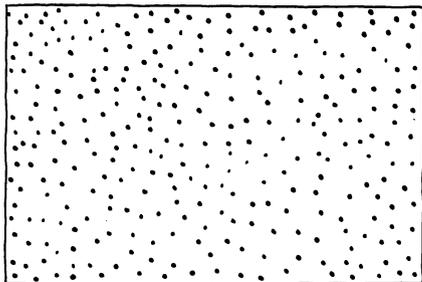
Bei schnellen Schwingungen ist es einfacher und eleganter, die Schwingungsbewegung zunächst in elektrische Spannungs- oder Stromschwankungen umzuwandeln und diese dann am Oszilloskop sichtbar zu machen.

Der Leuchtpunkt wird dabei immer wieder von links nach rechts über den Leuchtschirm des Oszilloskops geführt. Das entspricht der Bewegung der Schreibunterlage im zweiten Beispiel.

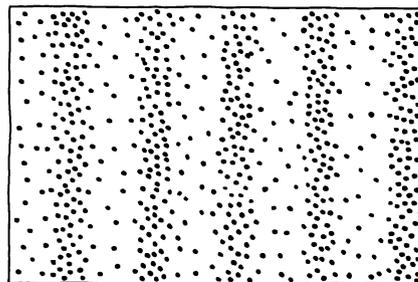


### Was bedeutet ein solches Bild auf dem Oszilloskop?

Wenn eine Lautsprechermembrane hin und her schwingt, so stößt sie die Luft an. Die Luft schwingt dann auch hin und her. Durch diese **Luftschwingungen** entstehen in der Luft **Druckschwankungen**.



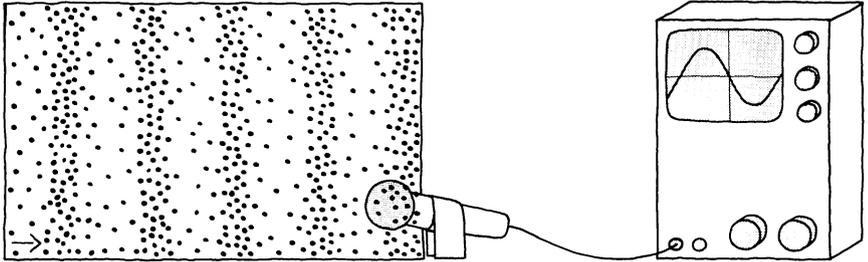
Luft ohne Druckschwankungen



Zonen mit niedrigem Druck

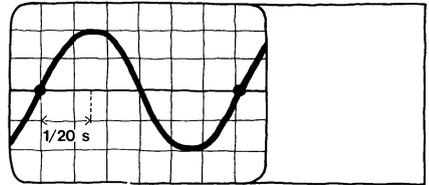
Zonen mit höherem Druck

Diese Druckschwankungen werden im Mikrophon in elektrische Spannungsschwankungen umgewandelt und dann am Oszilloskop sichtbar gemacht.



Kennt man die Strecke, die der Leuchtpunkt des Oszilloskop in einer Sekunde in Richtung der Zeit-Achse (X-Achse) zurücklegt, so kann man aus dem Bild der Schwingungen die Frequenz bestimmen.

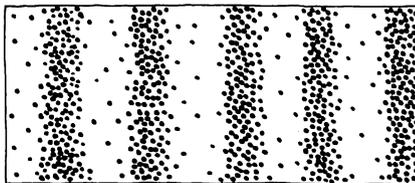
**Beispiel:** Der Leuchtpunkt legt in einer Sekunde 20 cm zurück; also 1 cm in 1/20 Sekunde.  
Eine einzelne Schwingung erstreckt sich in dem Oszilloskopbild über 4 cm.  
In einer Sekunde laufen also 5 Schwingungen ab. Die Frequenz  $f$  beträgt  $f = 5$  Hz



## Unterschiedliche Töne und ihr Bild auf dem Oszilloskop

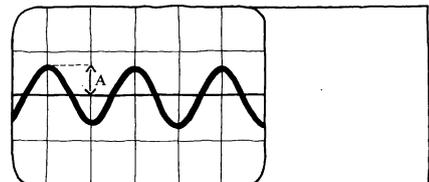
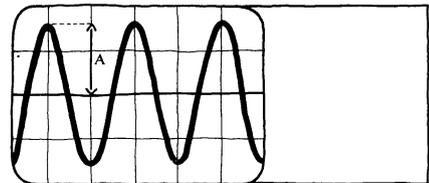
Schall oder auch Lärm ist im allgemeinen ein Gemisch aus hohen und tiefen, lauten und leisen Tönen.

Laute und leise Töne unterscheiden sich durch die **Amplitude A** der Luftschwingungen.

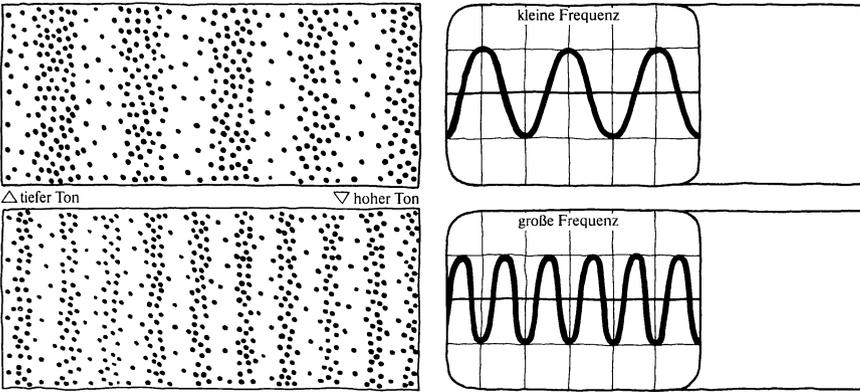


△ lauter Ton

▽ leiser Ton



Hohe und tiefe Töne unterscheiden sich durch ihre **Frequenz f**.

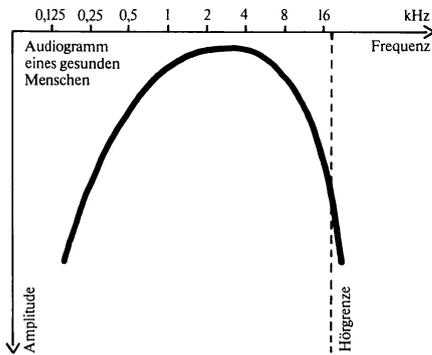


## Wie reagiert das menschliche Ohr auf Töne mit verschiedener Frequenz?

Aufbau des Ohres: Vergleiche Seite 35!

Treffen zwei Töne mit unterschiedlicher Frequenz aber gleicher Amplitude auf das menschliche Ohr, so werden diese Töne im allgemeinen nicht als gleich laut empfunden. Die Art und Weise, in der das Ohr auf Töne verschiedener Frequenz reagiert, läßt sich mit einem sog. Audiogramm darstellen. Ein **Audiogramm** ist eine Meßkurve, welche die Hörfähigkeit eines bestimmten Menschen bei verschiedenen Frequenzen darstellt.

Amplitude, die gerade noch hörbar ist (in willkürlichen Einheiten)



Bei der **Aufnahme eines Audiogrammes** (z.B. beim Arzt) wird festgestellt, welche Amplitude nötig ist, damit eine Person einen Ton gerade noch ganz leise hört. Diese Messung wird bei Tönen verschiedener Frequenz durchgeführt. Bei einem Menschen mit normalem Hörvermögen ergibt sich dann ungefähr das obige Bild. Dabei wird die Amplitude **nach unten** aufgetragen, weil eine größere Amplitude **schlechtere** Hörfähigkeit bedeutet.

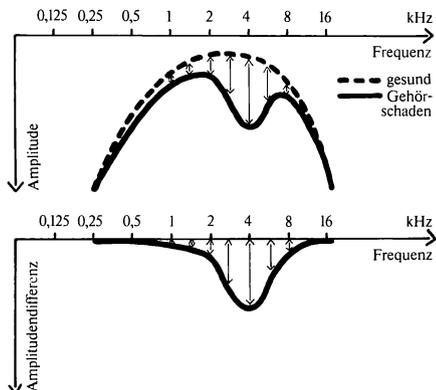
Aus dieser Abbildung wird deutlich, daß zur Wahrnehmung von Tönen mit einer Frequenz von 1000 bis 4000 Hz eine kleinere Amplitude notwendig ist als bei den anderen Frequenzen. Das bedeutet, daß das Ohr bei diesen mittleren Frequenzen am empfindlichsten ist, also am besten hört.

Das Audiogramm eines Menschen mit einem Gehörschaden hat dann etwa das Aussehen, wie in dem nebenstehenden Diagramm. Die Doppelpfeile zeigen die **größeren** Amplituden im Vergleich zu einem normalhörenden Menschen an.

Trägt man diese Unterschiede **direkt** in ein Diagramm ein, so erhält man ein Audiogramm, wie es üblicherweise vom Ohrenarzt mit speziellen Geräten angefertigt wird. Dieses Audiogramm zeigt besonders klar, wo die Hörfähigkeit am schlechtesten ist. Hier im Beispiel ist dies bei etwa 4 kHz der Fall.

Die Kurve eines normal hörenden Menschen ist dann eine Gerade (die Frequenzachse).

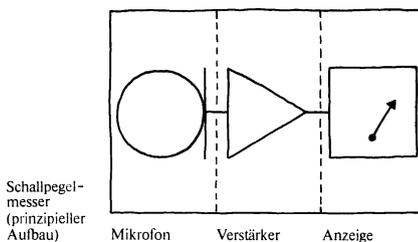
(vgl. das „richtige“ Audiogramm auf S. 34)



## Messung der Lautstärke

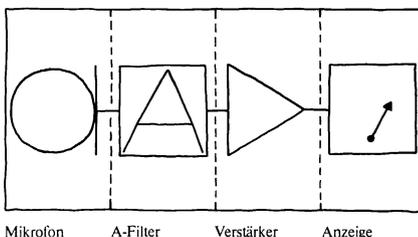
Weil Lärm zu Streitigkeiten führen kann, braucht man Gesetze und Richtlinien, welche Regeln über noch zulässigen und unerlaubten Lärm aufstellen. In diesen Gesetzen stehen auch „Richtwerte“, die etwas darüber aussagen, ab wann ein Geräusch zu laut ist. Um diese Richtwerte überhaupt angeben und später überprüfen zu können, kann man sich nicht auf die Empfindungen einzelner Menschen verlassen, sondern braucht ein Meßgerät.

Ein solches Meßgerät, genannt Schallpegelmesser, könnte man entsprechend der Abbildung aufbauen: Ein solcher Aufbau hat aber einen großen Nachteil. Das Gerät zeigt in dieser Form Töne unterschiedlicher Frequenz als gleich laut an, wenn sie die gleiche Amplitude aufweisen. Damit entspricht diese Messung nicht der Empfindung des menschlichen Ohres. Das menschliche Ohr hört mittlere Frequenzen am besten. Höhere und niedrigere Frequenzen werden schlechter wahrgenommen.



Wenn also der Schallpegelmesser gehörrichtig messen soll, so muß die Anzeige für die verschiedenen Frequenzen entsprechend verändert werden. Dies wird erreicht durch eine besondere elektronische Schaltung, genannt „A-Filter“.

Dieses A-Filter bewirkt dann, daß bei verschiedenen Tönen mit gleicher Amplitude die mittleren Töne (um 1 kHz) einen größeren Zeigerausschlag ergeben als die anderen Töne.

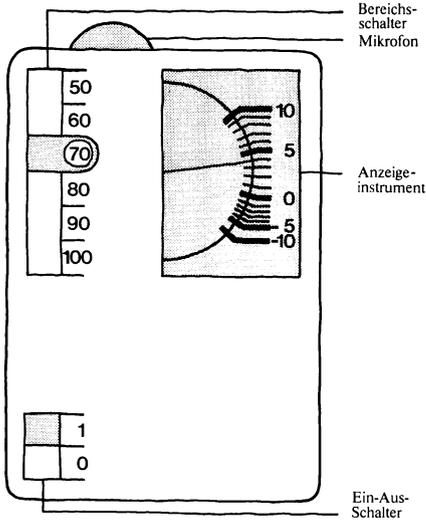


Die Größe, die ein Schallpegelmesser mißt, nennt man **Schallpegel L**.

Die Maßeinheit des Schallpegels ist das „Dezibel A“ (Abkürzung: dB(A)).

Das A in der Klammer verweist auf das gehörrichtige Messen mit dem A-Filter.

Die Maßeinheit dB ist etwas komplizierter zu handhaben als andere auch bekannte Einheiten (z. B. Meter, Sekunde, Ampere). Sie wird im nächsten Abschnitt erklärt.



Die nebenstehende Abbildung zeigt einen Schallpegelmesser.

Der jeweilige Meßwert ergibt sich aus dem Bereichswert (hier 70) und den dazu addierten Wert des Anzeigenstruments (in unserem Fall +4)

Gesamtlesung:

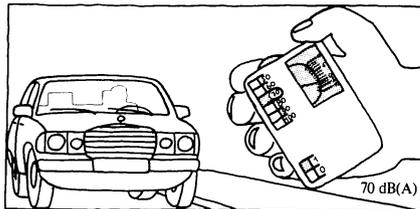
$$70 + 4 = 74 \text{ dB(A)}$$

Mit dem Ein-Aus-Schalter kann meistens auch noch in einer dritten Schalterstellung die eingebaute Batterie geprüft werden.

## Die Maßeinheit Dezibel (dB)

Das menschliche Ohr reagiert sehr unterschiedlich auf **verschieden laute Töne**. Dieser Eigenschaft des menschlichen Ohres ist die Dezibelskala angepaßt. Das leiseste Geräusch, das von einem normal hörfähigen Ohr noch wahrgenommen werden kann, überträgt eine Schalleistung, die mit dem Wert „0 dB“ belegt wird. Der Schallpegel eines Geräusches, das die zehnfache Schalleistung überträgt, erhält den Wert 10 dB. Bei jeder Verzehnfachung der Schalleistung erhöht sich der Schallpegel um 10 dB.

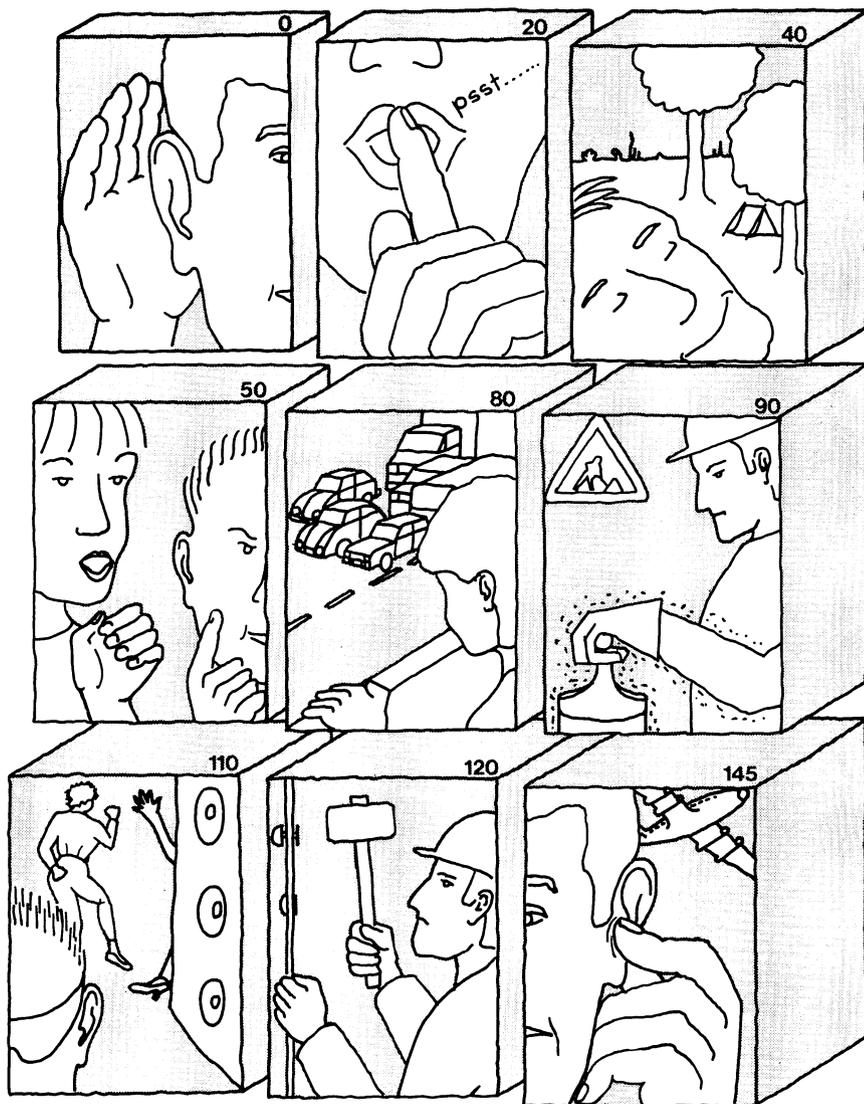
Der Lärm, den ein Auto erzeugt, überträgt eine etwa 10 000 000 mal so große Schalleistung, wie das leiseste Geräusch, das das menschliche Ohr noch gerade wahrnehmen kann. 10 000 000 sind 7 Verzehnfachungen, also 7 mal eine Erhöhung um 10 dB, also 70 dB.



Schallpegel mißt man im allgemeinen nicht in der Einheit dB, sondern in der Einheit **dB(A)**. Im Prinzip handelt es sich dabei um die gleiche Einheit; ein Filter (das sogenannte A-Filter), sorgt aber dafür, daß die Messung an die unterschiedliche Empfindlichkeit des menschlichen Ohres für tiefe und hohe Töne angepaßt wird. (Vergleiche Seite 29 und 30.)

## Beispiele für Schallpegel in dB(A)

Die folgenden Beispiele sollen eine anschauliche Vorstellung von verschiedenen dB(A)-Werten vermitteln. Die hier angegebenen Werte sind nur grobe Angaben. Die genauen Werte hängen vom Einzelfall ab.

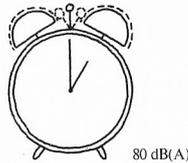
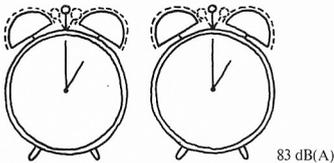
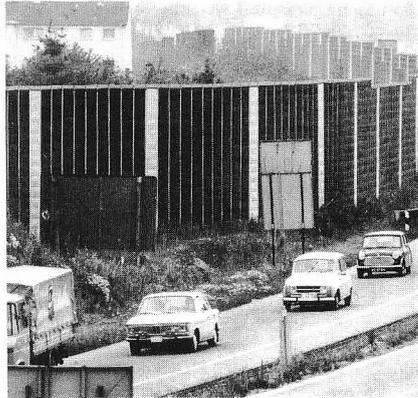


## Verminderung von Schallpegelwerten

Durch Schutzmaßnahmen wie Bau einer Schutzmauer, Bau leiserer Maschinen, Verringerung der Lärmquellen läßt sich der Schallpegel herabsetzen. Eine Lärmschutzwand verringert z.B. den Verkehrslärm für die dahinterliegenden Häuser von 75 dB(A) auf 65 dB(A). Ist das viel oder wenig?

Zur Einschätzung der Bedeutung solcher Pegelminderungen sind folgende Regeln wichtig:

- Das menschliche Ohr empfindet einen um 10 dB(A) verringerten Wert als halb so laut.
- Eine Halbierung der Anzahl der Lärmquellen verringert den Schallpegel um 3 dB(A); z. B. senkt eine Halbierung der Anzahl fahrender Autos auf einer verkehrsreichen Straße den Lärmpegel „nur“ um 3 dB(A).



## Der Mittelungspegel $L_m$ von Schallpegelwerten

In den meisten Fällen ist der Lärm an einer bestimmten Stelle nicht dauernd gleich laut, sondern mal lauter und mal leiser. Obwohl natürlich die lautesten Werte am meisten stören, ist in den Gesetzen nur vorgeschrieben, wie laut es im **Mittel** höchstens sein darf (vergleiche die „Richtwerte“, Seite 39 bis Seite 41).

Um einen mittleren Wert, den sogenannten Mittelungspegel  $L_m$ , zu bestimmen, muß man mehrere Messungen zu verschiedenen Zeiten machen. Dabei werden dann große, mittlere und kleine Lärmpegel gemessen. Wegen der Besonderheit der dB-Maßeinheit (vgl. Seite 30) ist die Bestimmung des Mittelungspegels  $L_m$  kompliziert und wird hier nicht beschrieben. Man kann Mittelungspegel aber ungefähr schätzen, wenn man beachtet, daß er immer kleiner als der Maximalwert und immer größer als der „normale“ Mittelwert ist.

**Beispiel:** Es werden 3 Messungen des Schallpegels durchgeführt.

1. $L_1 = 95$ dB(A)	Mittelungspegel	$L_m = 92$ dB(A)
2. $L_2 = 90$ dB(A)	Maximalwert	$L_1 = 95$ dB(A)
3. $L_3 = 85$ dB(A)	„Normaler“ Mittelwert $L$	$= 90$ dB(A)

Der Mittelungspegel einer Meßreihe sagt somit nichts darüber aus, wie störend und gefährlich der stärkste Lärmpegel ist.

**Beispiel:** Bei einer Verkehrslärmmessung in Freiburg ergab sich für die Zeit von 6.00 bis 22.00 Uhr ein geringer Mittelungspegel von  $L = 61$  dB(A). Einzelne Spitzenwerte (vorbeidonnender LKW) ergaben aber einen Schallpegel von  $L = 87$  dB(A).

## LÄRM macht krank

Lärm kann viele verschiedenartige, schädliche Auswirkungen für die menschliche Gesundheit haben:

- Lärmschwerhörigkeit;
- „vegetative Reaktionen“, das sind **unbewulte** Einwirkungen auf das Nervensystem, die sich z. B. als Veränderung der Herz- und Magentätigkeit oder als Erhöhung des Blutdrucks bemerkbar machen;
- „psychische Reaktionen“, das sind die Störungen oder Belästigungen, die uns auch bewußt werden, wie z. B. Ärger, Konzentrationsverminderung und Reizbarkeit;
- kombinierte vegetative **und** psychische Belastungen, wie z. B. Müdigkeit, Schlafstörungen, Streß;
- mechanische Schäden, z. B. das Platzen des Trommelfells.

### Lärmschwerhörigkeit

Lärmschwerhörigkeit entsteht hauptsächlich bei der Arbeit an lauten Arbeitsplätzen, z. B. beim Hämmern, Nieten, Schmieden, Sägen und vielem anderen. Deshalb treten etwa 60% aller Fälle von Lärmschwerhörigkeit in der Eisen- und Stahlindustrie auf.

Ein Beispiel:

# LÄRM

**A**ls er noch hören konnte, hatte der Karosseriebaumeister Friedrich Twelkemeier (56) aus Düsseldorf drei Hobbys: Er besuchte regelmäßig die Oper, schwang gern das Tanzbein und trat alljährlich in den Sitzungen des Karnevalvereins „Gerresheimer Bürgerwehr“ als närrischer Schutzmann auf.

Heute geht Friedrich Twelkemeier weder in die Oper noch bringt er die Jecken der Bürgerwehr mit deftigen Scherzen zum Lachen. Und wenn er einmal tanzen möchte, muß er sich von seiner Frau führen lassen, denn „ich vernehme zwar Geräusche, aber ob es Walzer, Foxtrott oder Rumba ist, kann ich nicht unterscheiden“.

Friedrich Twelkemeier ist fast taub. Jahrzehntelanger ohrenbetäubender Lärm hat die Hörzellen seiner Innenohren weitgehend zerstört. Allein das Dröhnen des Druckluftmeißels, mit dem er auch heute noch in einer Werkstatt Karosserieteile formt, bearbeitet seine Trommelfelle mit einem Schalldruck von mehr als 110 Dezibel (früher Phon) – ein Wert, der weit über dem Krach liegt, den Lärmexperten am Arbeitsplatz gerade noch für zulässig halten.

Seit 1972 bezieht der Karosseriebaumeister von der zuständigen Berufsgenossenschaft eine 50prozentige Rente, weil er die Hälfte seiner Erwerbsfähigkeit durch die Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit verloren hat.

Textauszug aus der Illustrierten „Quick“ (Nr. 50, 1978)

Den Höreindruck bei mittlerer Lärmschwerhörigkeit kann man etwa folgendermaßen beschreiben:

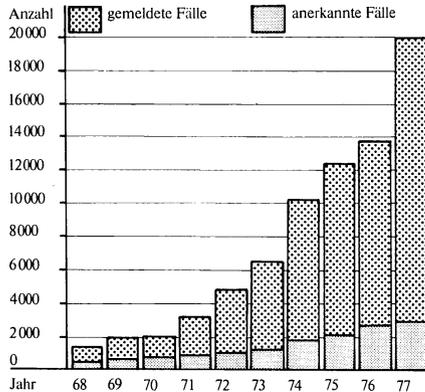
- Es fallen vor allem die höheren Frequenzen, also die höheren Töne weg;
- Dadurch wirkt die **Musik** dumpf, die **Sprache** unklar;
- Vor allem die Konsonanten verstümmeln, so daß die Sprache sich wie ein Murmeln anhört und sehr schwer verständlich wird.
- Die allgemeine Lautstärke verändert sich (zunächst) **nicht** wesentlich!

## Lärmschwerhörigkeit als anerkannte Berufskrankheit

In der Bundesrepublik ist Lärmschwerhörigkeit eine anerkannte Berufskrankheit. Ihre Häufigkeit und Zunahme zeigt das nebenstehende Diagramm. Danach wurden 1977 über 20000 Fälle angezeigt. In allen diesen Fällen war eine mindestens teilweise Schwerhörigkeit bereits nachgewiesen. Von diesen wurden aber „nur“ etwas mehr als 2000 für eine Entschädigung von der Berufsgenossenschaft anerkannt. Wenn eine nachgewiesene Schwerhörigkeit nicht „anerkannt“ wird, kann das unter anderem folgende Gründe haben:

- Die Lärmschwerhörigkeit ist nicht mit Sicherheit durch die berufliche Arbeit entstanden
- Die Schwerhörigkeit ist nicht weit genug fortgeschritten

Die Entscheidung hierüber trifft die Berufsgenossenschaft in Zusammenarbeit mit bestimmten Fachärzten (Hals-Nasen-Ohrenarzt)



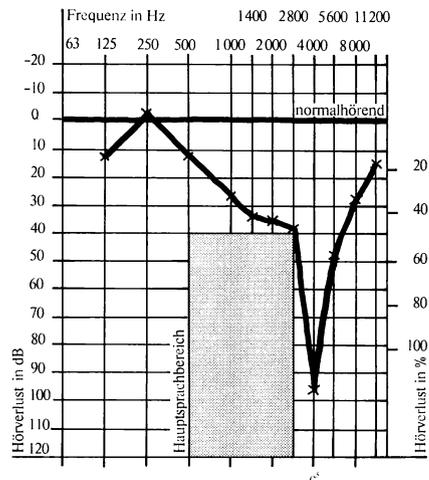
Anstieg der beruflichen Lärmschwerhörigkeit in der Bundesrepublik Deutschland seit 1965 (bei den „gemeldeten“ Fällen ist ein Gehörschaden bereits nachgewiesen).

## Wie wird Lärmschwerhörigkeit nachgewiesen?

Zur Prüfung des Gehörs eines Patienten erstellt der Arzt mit Hilfe eines Audiometers das **Audiogramm** des Patienten (vgl. S. 29). Dieses wird mit dem durchschnittlichen Audiogramm eines normalhörenden Menschen verglichen. Meistens tritt eine erste (und besonders merkbare) Verschlechterung bei etwa 3–6 kHz (c<sup>5</sup>-Senke) auf. Jede Verschlechterung, die etwa 20 dB übersteigt, wird im allgemeinen als Gehörschaden bezeichnet.

Für die Frage der Anerkennung spielt weiterhin der „Hauptsprachbereich“ zwischen 500 Hz und 3 kHz eine wichtige Rolle.

In diesem Bereich liegen die für das Sprechen wichtigen Frequenzen. Wenn das Hörvermögen bei diesen Frequenzen um 40 dB oder mehr verschlechtert ist, so liegen die Meßpunkte des Audiogramms in dem schraffierten Rechteck. Erst dann ist mit einer Anerkennung des Gehörschadens und mit einer entsprechenden Entschädigung zu rechnen. 40 dB Verschlechterung bedeuten etwa 1/16 der ursprünglich empfundenen Lautstärke.

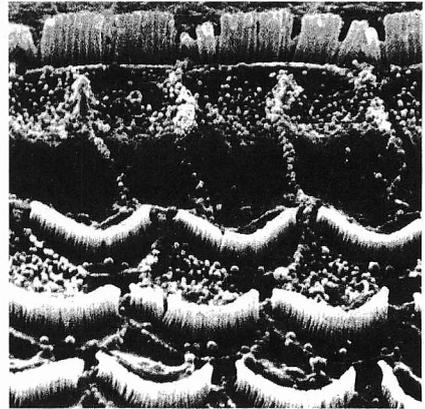


Audiogramm eines Lärmarbeiters. Das schraffierte Rechteck wird von der Gehörkurve noch nicht geschnitten. Somit entsteht noch keine „Rentenentschädigungspflicht“, trotz 100 dB-c<sup>5</sup>-Senke.

## Wie entsteht ein Hörverlust im Ohr?

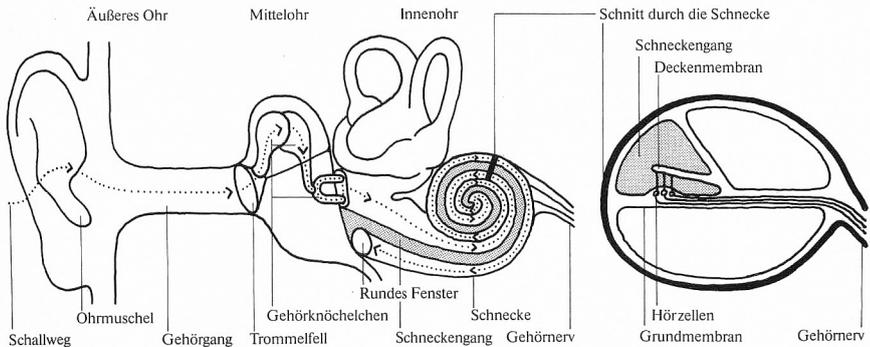
Im Innenohr, in der sogenannten Schnecke, befinden sich ca. 19000 **Hörzellen**. Die Hörsinneszellen besitzen Haarfortsätze, die durch den Schall in der Innenohrflüssigkeit bewegt werden (hin und her). Durch diese Bewegung werden in der Sinneszelle chemische Prozesse ausgelöst, die wiederum elektrische Impulse erzeugen. Diese werden an das Gehirn weitergeleitet: dadurch „hört“ der Mensch.

Für diese elektro-chemischen Prozesse in der Hörzelle ist ein erhöhter Stoffwechsel nötig, unter anderem auch Sauerstoff aus dem Blut. Bei zu starkem Schallreiz (lauten Geräuschen) kommt es bei diesem Stoffwechsel zu Mängeln im Nachschub (insbesondere Sauerstoffmangel). Man nennt das „**Stoffwech-selerschöpfung**“. Sie führt zunächst zu schadhafte Veränderungen der Hörsinneszellen und bei fortgesetzter Lärmeinwirkung zum Absterben dieser Sinneszellen. Wenn das geschieht, ist der dadurch entstehende Hörverlust **unheilbar**.



Gesunde Hörzellen

Übersichtsskizze des Ohres mit Außen-, Mittel- und Innenohr (Schallweg eingezeichnet).



## Bei welchem Lärm muß man mit einem Hörverlust rechnen?

Das hängt von folgenden Bedingungen ab:

- Wie laut ist es? Wie hoch ist der mittlere Schallpegel (in dB(A) pro Tag?

Im allgemeinen gilt Schall ab 85 dB(A) über den ganzen Tag als gefährlich. Aber auch kürzere Lärmeinwirkungen können bei höheren Lärmpegeln gefährlich werden, denn 85 dB(A) über 8 Stunden entspricht 88 dB(A) über 4 Stunden oder 91 dB(A) über 2 Stunden! Täglich 2 Stunden **Diskothekenlärm** mit ca. 110 dB(A) kann also schon sehr gefährlich werden!

- Wieviele Jahre ist man (täglich) einem solchen Lärm ausgesetzt?

Verschiedene Menschen sind aber auch verschieden anfällig für Lärmschwerhörigkeit. Deshalb kann man **nicht mit Sicherheit** vorhersagen, ob oder wann bestimmte Arbeiter einen Gehörschaden erleiden werden. Man kann dafür nur **Wahrscheinlichkeiten** angeben. Durch Untersuchungen in Amerika ist man z.B. zu folgenden Ergebnissen gekommen:

Bedingungen	Wahrscheinlichkeit für einen Hörverlust von 25 dB(A)
Täglich im Mittel 85 dB(A), 15 Jahre lang	Jeder Zehnte (10%)
Täglich im Mittel 100 dB(A), 15 Jahre lang	Jeder Zweite (50%)
Täglich im Mittel 100 dB(A), 5 Jahre lang	Jeder Fünfte (20%)
Täglich im Mittel 115 dB(A), 5 Jahre lang	Jeder Zweite (50%)

### Andere gesundheitliche Schäden durch Lärm

Außer der Lärmschwerhörigkeit gibt es noch mehrere andere, gesundheitsschädigende Auswirkungen von Lärm.

In einer Untersuchung des Umweltbundesamtes aus dem Jahre 1976 wurden solche Menschen befragt, die ihre Wohnung als „laut“ oder „sehr laut“ bezeichneten.

Anteil	Gesundheitliche Schädigung
9%	allgemeine, innere Störungen
13%	Magenbeschwerden
52%	Schlaflosigkeit
15%	chronische Müdigkeit oder Erschöpfung
35%	benutzten Schlafmittel oder standen unter ärztlicher Kontrolle
32%	neurotische Störungen

Die dabei gefundenen Werte liegen höher als im Durchschnitt der Bevölkerung:

Aus dieser Aufstellung kann man also ablesen, daß Lärm eine Belastung darstellt, die verschiedene Krankheiten fördert. **Lärm ist also „Risiko“ für die Gesundheit zu betrachten.** Insbesondere dann, wenn Lärm mit anderen Belastungen (z.B. Streß, schlechte Luft, hohe Konzentration, Magen-, Herz- und Kreislaufbeschwerden) **gemeinsam** auftritt, kann er für die Gesundheit gefährlich werden. Dies gilt in hohem Maße auch für Geräusche, deren Schallpegel kleiner ist als 85 dB(A).

Das liegt daran, daß Lärm auf das **vegetative Nervensystem** einwirkt. Das „vegetative Nervensystem“ ist derjenige Teil des Nervensystems, der **vom Willen unabhängig**, wichtige Vorgänge im Körper steuert. Unter Lärmeinwirkung werden z.B. folgende Vorgänge entweder verstärkt oder geschwächt: Herzschlag und Blutdruck, Schweißreaktionen, Tätigkeit der

Magendrüsen. Diese Reaktionen sind vergleichbar mit denen, die bei Angst oder Gefahr auftreten.

**Psychische Störungen** sind z.B. Verminderung der Konzentrationsfähigkeit, Erzeugung von Ärger (Aggression) oder Störung der Verständigung (Kommunikation). Psychische Störungen sind oft nur wenig durch die Lautheit des Lärms bedingt.

**Beispiel:** Ein tickender Wecker ist sehr leise (ca. 10-20 dB(A), stört aber manche Menschen beim Einschlafen.

Besonders häufig wirkt sich Lärm als **Schlaflosigkeit**, dauernde Müdigkeit oder Streß aus. Diese Schädigungen entstehen durch kombinierte **vegetative und psychische** Auswirkungen und sind besonders typisch für die gesundheitsschädlichen Auswirkungen von Lärm.

## An wen kann man sich wenden, wenn man durch Lärm gestört wird?

Als „Betroffener“ sollte man sich in der Regel zuerst an den „Verursacher“ wenden und versuchen, sich mit diesem zu einigen.

Von einer bestimmten Lärmquelle werden meistens gleichzeitig **mehrere** Leute gestört. Es ist dann günstig, wenn sich alle Betroffenen zusammentun und **gemeinsam** überlegen, wie sie vorgehen wollen.

Wenn eine Einigung mit dem Verursacher des Lärms nicht möglich ist, können sich die Betroffenen an andere „Institutionen“ wenden. Um zu wissen, was diese im allgemeinen tun können, folgt jetzt eine kurze Beschreibung der wichtigsten Institutionen. (Die für einen Fall **zuständige** Institution findest du in dem Text „Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen in den vier wichtigsten Lärmbereichen“, Seite 39.)

### 1. Der Verursacher



Der Verursacher hat das Recht, sich gegen ihn gerichtete Beschwerden zu wehren, d.h. er kann z.B. Auflagen ablehnen, ein eigenes Gutachten aufstellen lassen und eine Entscheidung durch ein Gericht bewirken. Bei unterschiedlichen Standpunkten z.B. zwischen einer Betriebsleitung und Anwohnern sind schon Verfahren bekannt geworden, die sich über Jahre ausdehnten und durch mehrere Instanzen liefen.

### 2. Die Polizei



Die Polizei erfüllt mehrere Funktionen im Kampf gegen den Lärm. Einerseits wird von der Polizei die Überwachung bzw. Zulassung von Kraftfahrzeugen übernommen. Es existieren Richtwerte für die unterschiedlichen Fahrzeugarten.

Eine andere Aufgabe der Polizei liegt im Bereich des Nachbarschaftslärms (vgl. S. 39). Die einzelnen Bundesländer haben unterschiedliche Verordnungen hierzu erlassen. In den einzelnen Verordnungen sind auch entsprechende Geldbußen aufgeführt, die von der Polizei verhängt werden können. Sind die mit einer Buße belegten Personen nicht bereit, diese zu zahlen, so muß ein Gericht entscheiden.

### 3. Das Umweltamt oder Umweltministerium



In einigen Bundesländern sind Umweltämter oder Umweltministerien entstanden. Diese haben die Aufgabe, für die Einhaltung der Umweltschutzgesetze zu sorgen, also auch das Problem des Lärms zu behandeln. Bei ihrer Aufgabe haben sie keine Möglichkeit, selbst Auflagen zu erlassen oder Strafen zu verhängen. Sie können beraten oder vermitteln, d. h. sie versuchen eine Einigung zwischen Verursacher und Betroffenen zu erreichen, oder sie verweisen an verschiedene Ämter, wobei sie auf die wichtigsten gesetzlichen Bestimmungen für den vorliegenden Fall hinweisen.

### 4. Das Gewerbeaufsichtsamt



Die Gewerbeaufsichtsämter beschäftigen sich vor allem mit Arbeitslärm, sowohl innerhalb von Betrieben als auch in deren Nachbarschaft. Die Gewerbeaufsichtsämter haben bei ihrer Tätigkeit zwei Bereiche. Zum einen genehmigen sie gewerbliche Anlagen, also Betriebe oder Einrichtungen, die der kommerziellen Nutzung dienen. Hierbei prüfen sie die technischen und örtlichen Gegebenheiten und stimmen einer Genehmigung nur unter Auflagen zu, falls einige Mängel gefunden werden. Die zweite Aufgabe ist es, Beschwerden von Anliegern und natürlich auch von Betriebsangehörigen über eine Lärmbelästigung nachzugehen. Das Gewerbeaufsichtsamt kann Auflagen machen, jedoch erst nach vorhergehenden Messungen, die die Unzulässigkeit der Belästigungen nachweisen.

### 5. Die Berufsgenossenschaft



Die Berufsgenossenschaft greift entweder ein, wenn Beschäftigte eines Betriebes geschädigt wurden oder vorbeugend, wenn dies zu befürchten ist. Sie zahlt im ersten Fall eine Rente, Zusatzrente oder Entschädigung. Um Schädigungen zu vermeiden, erlassen die Berufsgenossenschaften Unfallverhütungsvorschriften, die bei genauer Befolgung Unfälle bzw. Schädigungen verhindern sollen. Zur Vermeidung von Schäden ist die Berufsgenossenschaft berechtigt, Auflagen zu machen, um die entsprechende Unfallquelle (bzw. zu starke Lärmbelästigung) zu beseitigen.

## 6. Der Sicherheitsbeauftragte



Der Arbeitgeber muß Sicherheitsbeauftragte einstellen, wenn mehr als 20 Arbeitnehmer beschäftigt sind. Sicherheitsbeauftragte sind Meister, Techniker oder Ingenieure, die eine Zusatzausbildung als „Sicherheitsfachkraft“ gemacht haben.

Die Sicherheitsbeauftragten achten darauf, daß die **Unfallverhütungsvorschriften** (z.B. für Lärm) eingehalten werden. Sie können allerdings keine Auflagen machen, arbeiten aber mit den Berufsgenossenschaften und den Gewerbeaufsichtsamtern zusammen.

## 7. Das Gericht



Je nach Art der Lärmbelästigung bzw. Gefährdung sind unterschiedliche Gerichte zuständig. Am häufigsten wird das Zivilgericht neben Strafgericht, Amtsgericht, Verwaltungsgericht usw. mit Straffällen, die aus Lärmkonflikten entstehen, beschäftigt sein. Das Gericht entscheidet, wie hoch eine Strafe sein wird, ob Auflagen bestehen bleiben, ob der Betrieb geschlossen wird, usw. Bei den entsprechenden Urteilen kann der Weg über mehrere Instanzen gehen, so daß sich Verfahren über Jahre hinziehen können.

# Gesetzliche Bestimmungen und zuständige Institutionen in den vier wichtigsten Lärmbereichen

## 1. Nachbarschaftslärm



Lärm, der von Hausbewohnern erzeugt wird und die Nachbarn stört, z.B. Lärm von Radio, Fernseher oder Rasenmäher.

**Gesetzliche Bestimmungen:** Bürgerliches Gesetzbuch (BGB) § 906 u.a., Verordnungen und Gesetze einzelner Bundesländer (z.B. „Verordnung für die Bekämpfung des Lärms“ o.ä.).

Die wichtigsten Absätze dieser Gesetze sind:

### a) Verbot vermeidbaren Lärms

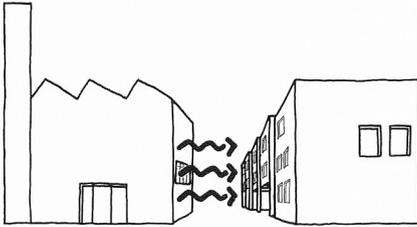
Jeder hat sich so zu verhalten, daß andere nicht mehr als notwendig durch Lärm gefährdet bzw. belästigt werden.

b) Benutzung von **Radios, Tonbändern, Plattenspielern** und **Musikinstrumenten** soll derart geschehen, daß niemand belästigt wird.

c) Während der **Nachtzeit** von 22.00–6.00 Uhr sind Belästigungen verboten, welche die Nachtruhe stören. Außer diesen allgemeinen Richtlinien wird manchmal auf die Richtwerte für den TA-Lärm hingewiesen (siehe nächste Seite).

**Zuständige Institutionen** Umweltministerium (evtl. mit „Beschwerdetelefon“), Polizei, Gericht.

## 2. Arbeitslärm in der Nachbarschaft



**Richtwerte für Arbeitslärm in der Nachbarschaft**  
(TA-Lärm, VDI 2058)

Ort <sup>1)</sup>	bei Tag	bei Nacht <sup>2)</sup>
Industriegebiet	70 dB(A)	70 dB(A)
vorwiegend gewerbliche Anlagen	65 dB(A)	50 dB(A)
Mischgebiet	60 dB(A)	45 dB(A)
Hauptsächlich Wohnungen	55 dB(A)	40 dB(A)
Reine Wohngebiete	50 dB(A)	35 dB(A)
Kurgebiete	45 dB(A)	35 dB(A)

Lärm von Fabriken oder anderen gewerblichen Anlagen, der Anwohner in der Nachbarschaft stört, z.B. eine Tischlerei in einem Wohnviertel.

**Gesetzliche Bestimmungen:** Bundesimmissionschutzgesetz von 1974, Technische Anleitung (TA) Lärm von 1968 (allgemeine Verwaltungsvorschrift des Bundes), VDI-Richtlinien 2058, Blatt 1. Diese Bestimmungen enthalten Vorschriften über die Genehmigung von (neuen) Betrieben, über **Meßverfahren** und über die **Zuständigkeiten** verschiedener Institutionen.

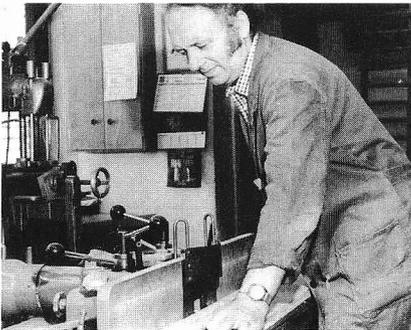
### Zuständige Institutionen

Umweltministerium (evtl. mit „Beschwerdetelefon“), Gewerbeaufsichtsamt (GWA), Gericht

1) Die Gebietsarten werden auf dem Stadtplanungsamt festgelegt

2) Die Nachtzeit geht von 22.00 bis 6.00 Uhr

## 3. Lärm am Arbeitsplatz



Lärm von Maschinen, der auf Arbeiter oder Angestellte während ihrer Arbeitszeit im Betrieb einwirkt, z.B. von Preßluftschlämmern, Sägen, Nietvorgängen und vielen anderen.

**Gesetzliche Bestimmungen:** Arbeitsstättenverordnung (Bundesgesetzblatt 1975), Unfallverhütungsvorschrift (UVV) Lärm (erlassen von den Berufsgenossenschaften), VDI-Richtlinien 2058, Blatt 2. Diese gesetzlichen

Regelungen enthalten Vorschriften über ärztliche **Einstellungs- und Kontrolluntersuchungen** von Lärmarbeitern, Vorschriften über die Verwendung von **persönlichem Gehörschutz** bzw. die dringend gebotene Verminderung der Lärmbelastigung durch **Veränderung der Arbeitsplätze bzw. Maschinen**.

In der Arbeitsstättenverordnung (§ 15) sind folgende **Richtwerte** für Lärm am Arbeitsplatz enthalten, die (im Mittel) nicht überschritten werden dürfen:

#### Richtwerte für Lärm am Arbeitsplatz

Bei überwiegend geistigen Tätigkeiten	55 dB(A)
Bei einfachen oder überwiegend mechanischen Bürotätigkeiten und vergleichbaren Tätigkeiten	70 dB(A)
Bei allen sonstigen Arbeiten (z. B. an Maschinen)	(1) 85 dB(A)

**Zuständige Institutionen:** Betriebsleitung, Sicherheitsbeauftragter des Betriebes, Berufsgenossenschaft, Gewerbeaufsichtsamt, Gericht.

(1) Andere gesetzliche Bestimmungen sehen 90 dB(A) vor (z.B. VDI 2058, UVV-Lärm).

#### 4. Verkehrslärm



Der durch Fahrzeuge erzeugte Lärm auf den Verkehrswegen, welcher die Anwohner stört, z.B. Lärm von Autos u.a. auf Straßen oder Fluglärm in der Nähe eines Flughafens.

**Gesetzliche Bestimmungen:** Gesetz zum Schutz gegen Verkehrslärm (Bundesgesetz 1980), DIN-Norm 18005 E, Straßenverkehrszulassungsordnung, Straßenverkehrsordnung, Fluglärmschutzgesetz. Diese Bestimmungen regeln einerseits allgemein die Vermeidung von unnötigem Lärm (z.B. unnützes Hin- und Herfahren) und die maximal zulässige Lautstärke für verschiedene Fahrzeugtypen. Außerdem sind darin folgende **Richtwerte** enthalten:

**Richtwerte für Verkehrslärm** (vom Bundestag zunächst so verabschiedet, vom Bundesrat an den Vermittlungsausschuss überwiesen, vom Bundestag am 3. 7. 1980 abgelehnt)

Ort	bei neuen Straßen		bei bestehenden Straßen	
	b. Tag	b. Nacht	b. Tag	b. Nacht
In reinen Wohngebieten und Kleinsiedlungsgebieten	62 dB(A)	52 dB(A)	70 dB(A)	60 dB(A)
In Kerngebieten, Dorfgemeinschaften Mischgebieten und besonderen Wohngebieten	67 dB(A)	57 dB(A)	70 dB(A)	60 dB(A)
In Gewerbegebieten und Industriegebieten	72 dB(A)	62 dB(A)	75 dB(A)	65 dB(A)

Die Nachtzeit gilt von 22.00 bis 6.00 Uhr

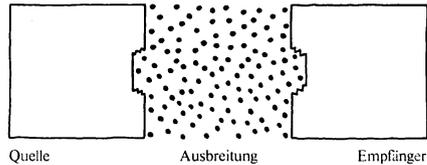
Diese Richtwerte für **Verkehrslärm** liegen erheblich höher als die entsprechenden Richtwerte für **Nachbarschaftslärm**. Daraus ergibt sich weiterhin eine starke Benachteiligung aller Anwohner an verkehrsreichen Straßen, auch bei neuen, erst noch zu bauenden Straßen!

## Technische Maßnahmen zur Lärmbekämpfung

Es gibt sehr verschiedene Möglichkeiten für technische Maßnahmen zur Lärmbekämpfung.

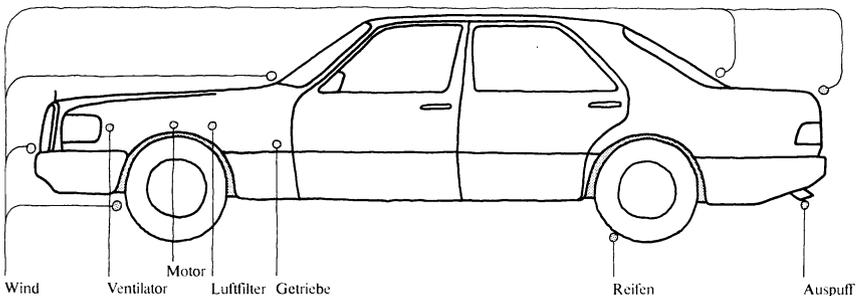
Man unterscheidet

- Maßnahmen an der Schallquelle
- Maßnahmen auf den Ausbreitungswegen
- Maßnahmen beim Empfänger



### 1. Maßnahmen an der Quelle

Man kann den Lärm am wirksamsten bekämpfen, wenn es gelingt, ihn bei der Entstehung an der Quelle zu verringern. Dazu muß man die einzelnen Geräuschquellen genau untersuchen.



Einige Möglichkeiten zur Verringerung der Lärm~~ent~~stehung beim Auto sind:

- Langsamere Fahrgeschwindigkeit (besonders die Reifengeräusche, Verringerung um bis zu 10 dB(A)).
- Kapselung des Motors, schon bei vielen Omnibussen verwirklicht (Verringerung um etwa 10 dB(A)).
- Andersartige Motorkonstruktionen (Brennstoff verbrennt gleichmäßig ohne Explosionen) z.B. im sogenannten Heißluft- oder Stirlingmotor. Daran wird in einigen Autofirmen gearbeitet.

Probleme: Schwierige Geschwindigkeitsregelung, höherer Verbrauch.

Andere Möglichkeit: Elektroauto. In London wird schon heute die Milch in den frühen Morgenstunden ausschließlich mit Elektroautos ausgeliefert (in England ca. 60000 Fahrzeuge).

In Berlin wurde bis zum Kriegsende die Post mit Elektroautos ausgefahren.

- Getriebe mit schrägverzahnten Zahnradern; dadurch verringert sich das „schlagende“ Geräusch zwischen den Zahnradern.
- Riemenantrieb („Keilriemen“) statt Kettenantrieb, z.B. bei Ventilator und Lichtmaschine (in allen Autos heute schon verwirklicht).
- Geringere Motordrehzahl (größerer Hubraum).

Auch bei anderen Lärmquellen gibt es noch Möglichkeiten, die Arbeit so zu verändern, daß sie leiser wird. Beispiele: Schweißen statt Nieten, Preßnieten statt Nieten mit Hammer, Mülleimer aus Kunststoff statt aus Metall. Das Ziel für die Ingenieure heißt:

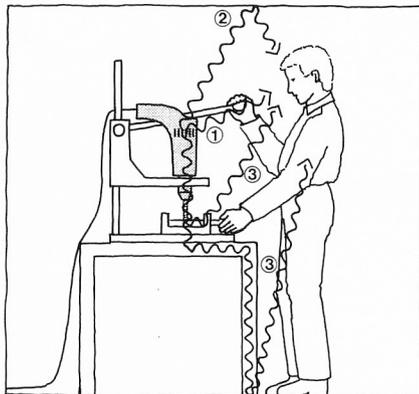
lärmarm konstruieren

## 2. Maßnahmen auf den Ausbreitungswegen

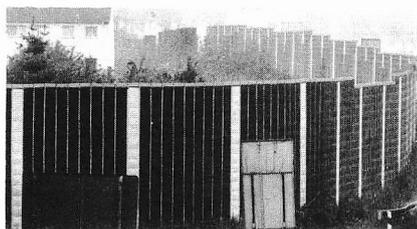
Der Schall breitet sich auf drei Arten von der Quelle zum Empfänger aus:

- ① Direkter Luftschall: Von der Quelle (Bohrmaschine) durch die Luft zum Empfänger (Ohr des Arbeiters).
- ② Reflektierter Luftschall: Von der Quelle durch die Luft an eine Wand, von dort reflektiert, durch die Luft zum Empfänger.
- ③ Körperschall: Durch das Werkstück, den Tisch, die Füße und den Boden kann sich der Schall auch durch feste Körper ausbreiten.

Von allen diesen festen Körpern kann er durch die Luft zum Empfänger gelangen.



Maßnahmen zur Verringerung des direkten Luftschalls:

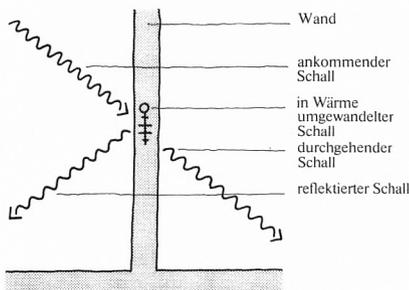


Den **direkten Luftschall** kann man durch Wände verringern. Die Verringerung des Lärms durch eine Wand nennt man **Dämmung**. Die Dämmung stellt man als Differenz zwischen dem Schallpegel L (in dB(A)) **vor** der Wand und **hinter** der Wand fest. Wenn z.B. der Verkehrslärm vor einer Schallschutzwand 80 dB(A) beträgt und hinter der Wand noch 70 dB(A) gemessen werden, so hat die Wand eine Dämmung R von 10 dB(A).

$$\text{Dämmung } R = \text{Schallpegel L (vor)} - \text{Schallpegel L (hinter)}$$

$$\text{Beispiel: } R = 80 \text{ dB(A)} - 70 \text{ dB(A)} = 10 \text{ dB(A)}$$

Die Verminderung des Schalls bei der Dämmung durch eine Wand entsteht durch **zwei** Vorgänge:



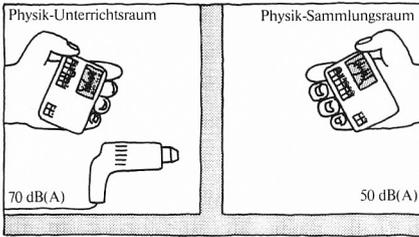
1. Ein Teil des ankommenden Schalls wird von der Wand zurückgeworfen, wie bei einem Echo (**Reflexion**).
2. Der in die Wand eindringende Schall wird in der Wand teilweise in Wärme umgewandelt (**Dämpfung**).

Die gesamte Verringerung (Dämmung) entsteht also durch Reflexion **und** Dämpfung.

$$\text{Dämmung} = \text{Reflexion} + \text{Dämpfung}$$

Gute **Dämpfung** erreicht man vor allem mit porösen Stoffen, z.B. Schaumstoff oder verschiedene Arten von Wolle (z.B. Stahlwolle im Auspufftopf). Durch solche Stoffe entsteht viel Reibung zwischen der schwingenden Luft und den Wänden. Dabei wird Schallenergie in Wärmeenergie umgewandelt.

Gute **Reflexion** erhält man vor allem an **glatten, geschlossenen** Oberflächen.

**Beispiel:** Dämmung durch die Wand des Physikraums

Im Unterricht kann der nebenstehende Versuch durchgeführt werden.

Der Schall wird dabei durch eine Wand vermindert. Im Nebenraum (Physiksammlung) kommen nur noch 50 dB(A) an, wenn im Klassenraum ein Lärm von 70 dB(A) entsteht.

Die Dämmung ist hier 20 dB(A).

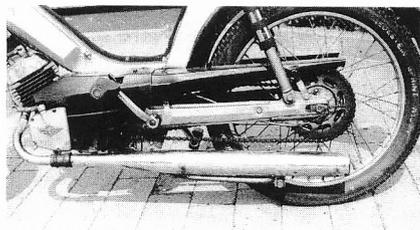
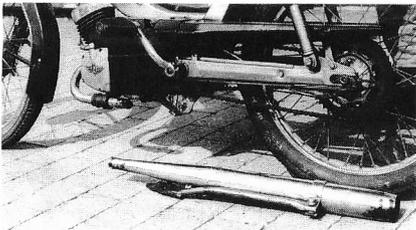
Weitere Beispiele	Dämmung R
Einfaches Fenster	20 dB(A)
Doppelfenster (mit mindestens 5 cm Abstand der Scheiben)	40–50 dB(A)
24 cm Hohlblocksteine, unverputzt	20 dB(A)
24 cm Hohlblocksteine, auf beiden Seiten verputzt	50 dB(A)
Einfache, leichte Zimmertür	20 dB(A)
Schalldämmende Türen (Spezialausführung)	40 dB(A)
Schallschutzwand an einer Straße, 3 m hoch	10 dB(A)

Gute **Dämmung** erreicht man durch

- glatte, geschlossene Oberflächen (starke Reflexion)
- viele Schichten (dadurch wird der Schall mehrfach hin und her reflektiert und so auf einem **längeren Weg** mehr gedämpft)
- dazwischen auch poröse Schichten (gute Dämpfung, also Umwandlung des Schalls in Wärme)
- außerdem aber auch durch schweres Material (Beton, Stahl, Holz).

Bei **Styropor** findet man eine **geringe** Dämmung des Schalls. Dies erklärt sich daraus, daß

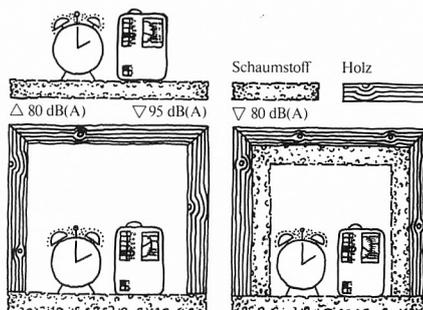
- die Dämpfung gering ist, weil die einzelnen Poren bei Styropor **geschlossen** sind (im Gegensatz zu Schaumstoff),
- Styropor insgesamt sehr leicht ist.

**Ein Beispiel für reine Dämpfung**

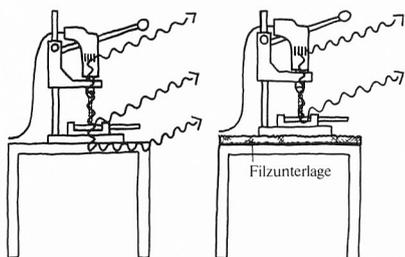
Der Schalldämpfer (Auspuff) „verschluckt“ den Schall. Er wandelt Schallenergie in Wärmeenergie um.

Den **reflektierten Luftschall** in einem Raum kann man dadurch verringern, daß man die Wände mit schallschluckendem Material auskleidet. Dafür eignen sich z.B. Teppiche, besondere Tapeten, Gardinen, Schaumstoff oder gelochte Platten in gewissem Abstand von der Wand. Dadurch wird das Geräusch (z.B. Schreibmaschinengeklapper) in dem Raum leiser.

In den Abbildungen nebenan sieht man aus Versuch a) und b), daß der Schallpegel in einem Raum durch Reflexion an den Wänden wesentlich vergrößert werden kann. Versuch c) zeigt, wie der Schallpegel durch **wenig reflektierende** Wände gesenkt wird.



Den **Körperschall** (also die Ausbreitung des Schalls durch **feste Körper**) kann man oft durch Zwischenschichten (z.B. aus Gummi, elastische Dichtungen) vermeiden.



#### Beispiel:

Eine Bohrmaschine steht auf einem Tisch. Der Schall breitet sich durch den Ständer und die Tischplatte, evtl. auch noch durch die Tischfüße und den Fußboden aus. Er wird dann insbesondere von der Tischplatte wie von einer Lautsprechermembrane abgestrahlt. Bringt man nun zwischen Bohrmaschine und Tisch eine Filzunterlage, so wird diese Schallausbreitung gestört und das Geräusch der Maschine ist wesentlich leiser.

### 3. Maßnahmen beim Empfänger

Am einfachsten und billigsten sind meistens die **Maßnahmen beim Empfänger**: Lärmschutzhelm oder -klappen, Ohrstöpsel oder -watte, u.ä. Sie haben aber auch große Nachteile: Man versteht mit solch Schutzklappen auch alles andere nicht mehr (oder mindestens schlechter), man schwitzt und hat unangenehme (Druck-)Gefühle.



Gehörschutzkapsel, ähnlich wie ein Kopfhörer. Eine Seite ist aufgeschnitten. Beachte die verschiedenen Schichten zur Dämmung und Dämpfung des Schalls!

## Auszüge aus dem Briefwechsel zu einem tatsächlich ausgetragenen Lärmkonflikt

(Namen und Bezeichnungen wurden geändert, Briefe gekürzt)

Herr Fischer an das Umweltministerium, 30.1.1975

"Die Stadt hat eine Getreideverkehrsanlage; sehr wohl zum Nutzen aller und vieler in dieser Stadt lebenden Menschen. Dieses Ding - sprich Anlage - hat den furchtbaren Nachteil, daß sie einen Höllenlärm verursacht, der im ganzen Stadtteil Oberhausen zu hören ist, ja selbst bis hinter der Autobahn in den Kleingärten.

Trotz geschlossener Fenster, Watte in den Ohren und Bett über dem Kopf, ist dieser Ton von dem "Apparat" zu hören. Die Frequenz mag zwischen ca. 400 - 800 Hz liegen - schätzungsweise - wenn ich meinen Ohren noch richtig trauen kann.

Mit Grauen denke ich an den Sommer, wenn man bei Temperaturen von ca. nachts 20 - 25°C die Fenster schließen muß, sich Watte in die Ohren steckt und das Bett über den Kopf zieht, nur um ruhig schlafen zu können.

Ich frage Sie allen Ernstes, wie es möglich ist, daß eine Firma wie die Lagerhaus-Gesellschaft, einen ganzen Stadtteil mit ihrem Lärm verseuchen darf. Interessieren würde mich folgendes, ob nicht schon andere Bürger bei Ihnen in puncto dieser Sache vorgesprochen haben.

Ich würde mich sehr freuen, wenn Sie in dieser Sache etwas unternehmen würden.

Umweltministerium an Herrn Fischer, 12.2.1975

Sehr geehrter Herr Fischer!

Hiermit möchte ich nicht nur den Eingang Ihrer Beschwerde bestätigen, sondern Ihnen gleichzeitig mitteilen, daß mir die von Ihnen angeführte Lärmquelle bereits bekannt ist und ich für den Immissionsschutz die zuständige Behörde, nämlich das Arbeitsministerium bzw. das Gewerbeaufsichtsamt gebeten habe, Maßnahmen zum Schutze der Bevölkerung zu ergreifen.

Ich hoffe, Ihnen mit diesen Angaben vorerst gedient zu haben.

Umweltministerium an Herrn Fischer, 15.5.1975

Sehr geehrter Herr Fischer!

Unter Bezugnahme auf Ihre o.g. Umweltbeschwerde teile ich Ihnen mit, daß das Gewerbeaufsichtsamt inzwischen Schallpegelmessungen durchgeführt hat und daß auch Gespräche mit der Lagerhausgesellschaft stattgefunden haben.

Bei den Schallpegelmessungen konnte eindeutig festgestellt werden, daß der als belästigend empfundene Heulton von Ventilatoren der Getreideanlage ausgeht. Als höchste Lärmbelästigung trat an den Wohnhäusern in der Goethestraße ein Lärmpegel von 58 dB(A) auf. Außerdem wurden eindeutig Spitzenpegel bei 500 Hz und 1kHz festgestellt, die dem Frequenzverlauf des Störgeräusches der Ventilatoren an der Kopfstation der Getreideanlage entsprechen. Bei einem etwa 1 km von der Anlage entfernt wohnenden Beschwerdeführer an der Schillerstraße war die Lärmbelästigung 50-52 dB(A), dabei war der Heulton klar wahrnehmbar.

Die Lagerhausgesellschaft ist vom Gewerbeaufsichtsamt schriftlich aufgefordert worden, die genannte Anlage durch geeignete Maßnahmen so zu ändern, daß der Richtwert von 45 dB(A) vor den nächstgelegenen Wohnhäusern nicht überschritten wird. Der Richtwert von 45 dB(A) gilt insbesondere für die Nachtzeit in als Mischgebiet ausgewiesenen Wohngebieten. Ich nehme an, daß die Lagerhausgesellschaft die Verbesserungsmaßnahmen inzwischen durchgeführt hat.

Umweltministerium an Lagerhausgesellschaft, 28.5.1975

Sehr geehrte Herren!

Wie mir das Arbeitsministerium mitteilte, sind Sie vom Gewerbeaufsichtsamt aufgefordert worden, die Ventilatoren der Getreideverkehrsanlage, die als Hauptlärmquelle ermittelt wurden, durch geeignete Maßnahmen so einzurichten, daß der Richtwert von 45 dB(A) vor den nächstliegenden Wohnhäusern nicht überschritten wird.

Meine Frage ist nun dahingehend, ab wann und in welcher Form diese Verbesserungsmaßnahmen durchgeführt werden, da auch weiterhin Beschwerden aus der Bevölkerung an uns herangetragen werden. Letztes Beschwerdedatum 23.5.1975.

Für eine baldige Nachricht wäre ich Ihnen dankbar.

Lagerhausgesellschaft an Umweltministerium, 3.6.1975

Sehr geehrte Herren,

zu Ihrem Schreiben vom 28. Mai teilen wir Ihnen mit, daß die ausliefernde Firma inzwischen die Veränderungen am Ventilator der Kopfstation vorgenommen hat. Um die Wirksamkeit dieser Maßnahme zu untersuchen, haben am 28. Mai Lärmmessungen durch eine Fachfirma im Beisein des Gewerbeaufsichtsamtes und der Lieferfirma stattgefunden. Dabei hat sich ergeben, daß der Grundpegel (durch Straßenlärm, Umgebung usw.) in dem der Getreideanlage naheliegenden Wohngebiet in der Zeit nach 22 Uhr zwischen 46 und 55 dB(A) und in Spitzenfällen bei max. 65 dB(A) liegt. Mit Sicherheit steht daher bereits heute fest, daß ein Grundpegel von 45 dB(A) nicht einhaltbar ist. Bei dieser Messung hat sich ergeben, daß gewisse Fördererelemente in der Silogruppe 3 noch Veränderungen bedürfen. Die Lieferfirma wird uns diese Veränderungen nach Abstimmung mit einer akustischen Fachfirma vorschlagen. Sobald uns diese Maßnahmen und deren Ausführungstermin bekannt sind, werden wir uns erneut mit Ihnen in Verbindung setzen.

Örtliche Gemeindeverwaltung an Arbeitsminister, 17.11.1975

Es wurde in o.a. Schreiben die Hoffnung ausgesprochen, daß die Lagerhausgesellschaft die notwendigen Maßnahmen in die Wege leiten würde. Dies ist jedoch offensichtlich nicht der Fall.

In den letzten Wochen haben uns verschiedene Anlieger wiederholt darauf hingewiesen, daß nach wie vor der belästigende Heulton auftritt. Den Betroffenen wurde mitgeteilt, daß es schwierig sei, genau zu ermitteln, wer Verursacher dieser Belästigung sei, da man eventuell auch die Möglichkeit mit einbeziehen müsse, daß ggf. der Heulton von einer anderen Firma ausgehe. Die Betroffenen waren sich sicher darüber, daß die Immission von der Getreideumschlagsanlage ausgeht.

Arbeitsministerium an Umweltministerium, 1.4.1977(!)

Als Anlage erhalten Sie die Kopie eines Schreibens der Lagerhausgesellschaft vom 20.8.1976. Die Punkte II 1 - II 4 sind zwischenzeitlich erledigt worden.

Nach Durchführung der Einbauten und der schon mit Terminvorgabe geplanten Bauten muß davon gesprochen werden, daß die Anlage dem Stand der Technik entspricht (siehe auch § 22 Abs.1 Nrn. 1 und 2 des BImSchG).

# Risiko: Lärm und Licht in Diskos

Personal stärker gefährdet als Besucher / Senat antwortete der FDP

Dröhnende Lautsprecherboxen, flackerndes Licht im wilden Rhythmus der Musik — das ist die Atmosphäre, die alle Disko-Besucher magisch anzieht. „Können beim häufigen Besuch von Diskotheken gesundheitliche Schäden auftreten?“, wollte die FDP-Fraktion nun in einer kleinen Anfrage vom Bremer Senat wissen. Genauer gefragt: Kann es Gehörschäden durch zu hohe Phonzahlen oder Sehschäden infolge neuartiger Lichteffekte ge-

hen? Die Bremer Landesregierung konnte in ihrer Antwort alle Diskofans und auch die Liberalen beruhigen. Sie wies auf Stellungnahmen mehrerer Fachkongresse hin, wonach bei Besuchern, die eine solche Tanzstätte nicht täglich aufsuchen, mit bleibenden Hörschäden nicht zu rechnen ist. Auch die Beleuchtungseffekte, bei denen manchmal Laserstrahlen verwendet werden, sollen den Augen keinen dauerhaften Schaden zufügen.

Allerdings so „ganz ohne“ sind die dröhnenden und grellen Einflüsse auf Ohren und Augen nun auch wieder nicht. In der Antwort des Senats wird darauf hingewiesen, daß mit bleibenden Hörschäden zwar nicht zu rechnen ist, es jedoch zu zeitweiligen und reversiblen (heilbaren) Veränderungen im Audiogramm (Hörkurve) kommen kann. Ein Arzt der Hals-, Nasen- und Ohrenklinik des Zentralkrankenhauses St.-Jürgen-Strasse erklärte dazu, daß die Lärmempfindlichkeit bei jedem verschieden sei.

Gleichzeitig betonte er, daß es nicht auf die Art des Lärms, sondern auf die Stärke ankomme. „Im Laufe der Zeit kann sich die Belastung so summieren, daß Dauerschäden auftreten.“ Er konnte denn auch ein extremes Beispiel nennen: Wenn man vier bis fünf Stunden täglich eine Diskothek besucht, dies ein halbes Jahr betreibt und die Lärmschwelle in dem Tanzlokal über 90 Dezibel beträgt, muß mit großer Wahrscheinlichkeit mit Hörschäden gerechnet werden.

„Typische Hörschädigungen“, so die Senatsantwort, können aber leicht Musiker und Diskotheken-Personal erleiden, da sie sich dort jeden Tag mehrere Stunden aufhalten. Der Leiter des Gewerbeaufsichtsamtes, Alexander Horn, winkte indes beruhigend ab: „Überprüfungen haben ergeben, daß in Bremer Diskotheken der Lärmwert für den Arbeitsplatz (90 Dezibel) nicht überschritten wird.“

Allerdings wurden nur Stichproben gemacht, und das Auftreten der Prüfer mit ihren Geräten dürfte jeden Diskotheken-Inhaber wohl



Lauter Musik und Lichteffekte machen es nicht die richtige Diskothekstimmung. In Maßen genossen sind diese äußeren Einflüsse nicht schädlich für Augen und Ohren. (eb) fo/sch

bewogen haben, die Anlage für die Zeit der Messungen einfach leiser zu stellen.

Was die Gefahr für die Augen betrifft, heißt es in der Antwort des Senats: „Netzhautschäden sind infolge intermittierender Belichtung oder geringer Ultravioletteinstrahlung nicht zu erwarten.“ Diese Form der Belichtung führe jedoch zu einer vorübergehenden Störung der Anpassung an die Dunkelheit. Bei jungen Menschen sei dieser Zeitraum relativ kurz, so daß die Tatsache auch beim anschließenden Autofahren keine Gefährdung darstelle. Abschließend heißt es zur FDP-Frage: „Es ist zur Zeit noch nicht zu beurteilen, inwieweit solche unphysiologischen Lichtverhältnisse und großen Lärmeinwirkungen auf die Dauer negative Auswirkungen auf das vegetative Nervensystem haben.“

Außerdem wies der Senat darauf hin, daß nach § 5 des Gaststättengesetzes zu jeder Zeit eine Auflage zum Schutz der Gäste gegen Gefahren für Leben und Gesundheit erteilt werden kann. Dabei würden die Betriebe der normalen ständigen polizeilichen Überwachung unterliegen. Bisher seien jedoch nirgendwo Auflagen nach § 5 notwendig geworden. spa

Weserkurier vom 29. 2. 80, Seite 9

## Anwohnerprotest hatte Erfolg

Gericht monierte Disco-Lärm / Sperrzeit auf 22 Uhr verlegt

Schleswig (dpa). Diskotheken sind „unerhört lärmintensiv“, verursachen wesentlich mehr Unruhe als „normale Tanzgaststätten“ und gehören deshalb nicht in Gebiete, die überwiegend Wohnzwecken dienen. Mit dieser Entscheidung des schleswig-holsteinischen Verwaltungsgerichts in Schleswig wurde jetzt die Klage eines Lübecker Diskothekenpächters gegen eine gaststättenrechtliche

Ordnungsverfügung der Hansestadt kostenpflichtig abgewiesen.

Die Ordnungsbehörde hatte nach Beschwerden von Anwohnern 1977 die Sperrzeit dieser Diskothek auf 22 Uhr vorverlegt, weil die Musik und der Lärm an- und abfahrender Gäste für die Anwohner das „Maß des Zumutbaren überschritten“ hätten. Dagegen hatte der Pächter Rechtsmittel mit der Begründung eingelegt, den Lärmpegel der Musik reduziert zu ha-

ben und für den Lärm seiner Besucher vor dem Haus nicht verantwortlich zu sein.

Dieser Auffassung folgte das Gericht nicht. Es stellte fest, daß der Pächter grundsätzlich für jeden Lärm — ob im oder vor dem Haus — als „Verursacher“ verantwortlich zu machen sei. Im übrigen dürften Diskotheken nur dann in Wohngebieten betrieben werden, wenn sie keinen Lärm verursachen, was allerdings kaum möglich sei (Aktenzeichen 12A 64/79).

## 6. Vorschläge für Testaufgaben und Evaluations- ergebnisse

### 6.1 Vorbemerkungen

Während der Erprobung der Unterrichtseinheit haben wir mehrere lernzielorientierte Leistungstests eingesetzt, um einige Anhaltspunkte über den Leistungsstand der Schüler nach Abschluß des Unterrichts zu gewinnen.

Wir geben die Aufgaben dieser Tests und unsere Auswertanleitung hier wieder, um einige Anregungen für die Zusammenstellung eines Tests für die Unterrichtseinheit zu geben. Die Auswahl der Aufgaben ist so getroffen, daß die wichtigsten Ziele der Unterrichtseinheit etwa abgedeckt sind. Werden im Unterricht andere Schwerpunkte gesetzt, wird man Aufgaben weglassen oder aber andere neu hinzunehmen.

Die Anzahl der hier vorgeschlagenen Aufgaben ist so groß, daß sie von den Schülern in einer Unterrichtsstunde von 45' Dauer **nicht** geschafft werden können. Es muß also in jedem Fall eine Auswahl getroffen werden.

Zur Darstellung der Aufgaben ist folgendes anzumerken: Die **Aufgaben** sind so beschrieben, wie sie auch in einem Testheft erscheinen könnten. Lediglich Leerzeilen sind weggelassen worden. Bei den Vorschlägen zur Bewertung geben wir i. a. die Auswertanleitungen an, nach denen wir die Tests der Erprobung ausgewertet haben.

Bei einigen Aufgaben haben wir sehr viele Items bewertet, um die Antworten der Schüler möglichst genau einordnen zu können. Diese feine Untergliederung kann man aber auch vereinfachen.

Unter **Item** verstehen wir eine Antwortmöglichkeit der Schüler, die bewertet wird. Bei jedem Item geben wir die prozentuale Häufigkeit richtiger Antworten nach einer unserer verschiedenen Erprobungen an. Items **ohne Prozentangaben** bedeuten, daß die Aufgabe zwar inhaltlich, aber nicht in der abgedruckten Formulierung verwendet wurde. Die verschiedenen Erprobungen fanden in unterschiedlichen Schulen statt; die Testergebnisse beziehen sich deshalb auf unterschiedliche Populationen, Lehrer und Ansätze (vgl. die Anmerkungen). Es nahmen jeweils zwischen 50 und 100 Schüler teil. Wegen dieser kleinen Stichprobe können die Zahlen natürlich nur einige Hinweise geben, mit welchen Ergebnissen etwa gerechnet werden kann und an welcher Stelle möglicherweise Lernschwierigkeiten zu erwarten sind.

Auf die Angabe weiterer Testkennwerte (wie z. B. Trennschärfe) haben wir verzichtet, da jeder Lehrer ohnehin seinen eigenen Test zusammenstellt und deshalb diese Angaben nur wenig Aussagekraft haben.

### 6.2 Aufgaben

#### Aufgaben zum Ziel Z 2: Schwingung, Amplitude, Frequenz

**1**

Gib einige Beispiele für Schwingungsvorgänge an!

Vorschlag zur Bewertung

Item 1.1. 2 richtige Beispiele

91 %<sup>3)</sup>

Item 1.2. 3 richtige Beispiele

85 %

**2**

Wenn man eine Schaukel anstößt, dann pendelt sie eine Weile hin und her und hängt dann wieder still.

Warum hört sie auf zu pendeln?

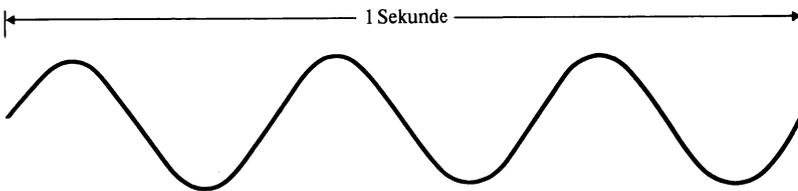
**Vorschlag zur Bewertung**

Item 2.1. Die Dämpfungsursache wird richtig umschrieben 78 %<sup>3)</sup>

Item 2.2 Energie wird im richtigen Zusammenhang genannt 59 %  
(z.B. „die Energie wird verbraucht“, „weil keine neue Energie dazugegeben wird“)

**3**

Eine schwingende Schreibstimmgabel wird über eine beruhte Glasplatte gezogen. Auf der Zeichnung siehst du diesen Schwingungsvorgang dargestellt.



- a) Zeichne folgende drei Punkte ein: Umkehrpunkt  $U_1$ , Umkehrpunkt  $U_2$  und Ruhelage R!
- b) Zeichne die Amplitude ein!
- c) Zeichne (mit einem Buntstift) **eine Schwingung** ein!
- d) Wie groß ist die Frequenz des dargestellten Schwingungsvorganges?

**Vorschlag zur Bewertung**

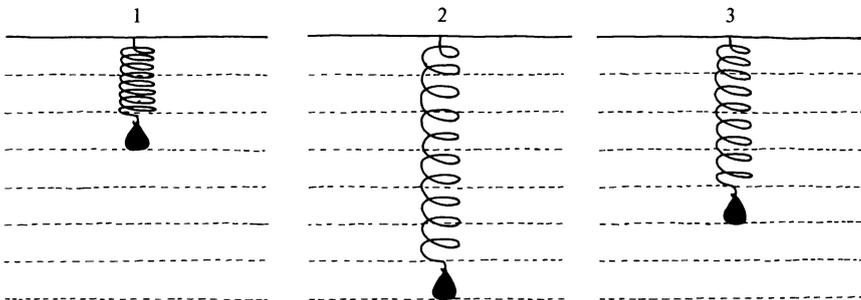
Item 3.1.  $U_1$ ,  $U_2$  und R richtig eingezeichnet 71 %<sup>3)</sup>

Item 3.2. Amplitude richtig eingezeichnet 83 %<sup>1)</sup>

Item 3.3. Eine Schwingung richtig eingezeichnet 83 %<sup>1)</sup>

Item 3.4. Richtige Frequenzangabe (3 Hz) 67 %<sup>1)</sup>

**4**



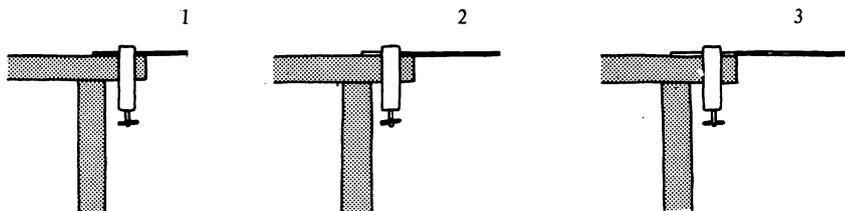
Die Zeichnungen (1) und (2) zeigen die höchste und tiefste Lage eines schwingenden Gewichtsstückes. Zeichnung (3) stellt die Ruhelage dar.  
 Miß die Amplitude mit einem Lineal aus.

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 4.1. Antwort: 2 cm

37%<sup>3)</sup>

**5**



Drei gleiche Blechstreifen werden so an einer Tischkante festgeklemmt, daß sie verschieden weit darüber hinausragen. Wenn man sie spannt und dann losläßt, schwingen sie kurze Zeit. Welcher schwingt mit der größten Frequenz? Kreuze an!

- (A) Blechstreifen 1
- (B) Blechstreifen 2
- (C) Blechstreifen 3
- (D) Alle schwingen mit der gleichen Frequenz

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 5.1. Nur (A) angekreuzt

63%<sup>3)</sup>

**6**

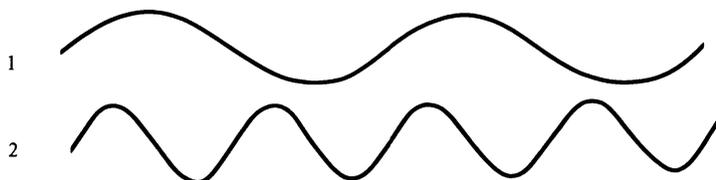
Was versteht man bei einem Schwingungsvorgang unter der **Frequenz**? (Denke z. B. an eine Stimmgabel mit 440 Hz).

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 7. Richtige Umschreibung, „440 Schwingungen/s“ ist nur richtig, wenn auf die Stimmgabel Bezug genommen wird.

43%<sup>3)</sup>

**7**



Diese beiden Schwingungskurven sind beide mit derselben Einstellung des Oszilloskops aufgenommen worden. Wie kommt der Unterschied zustande?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 7.1. Es muß zum Ausdruck kommen, daß Schwingung 1 eine kleinere Frequenz hatte als Schwingung 2

**Aufgaben zum Ziel Z 3: Schallausbreitung**

**8** Was schwingt bei den folgenden Schallquellen?

Schallquelle	Was schwingt?
Lautsprecher	_____
Gitarre	_____
Blockflöte	_____

Finde selbst \_\_\_\_\_  
ein Beispiel

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 8.1. Befriedigende Antworten und ein weiteres Beispiel **92 %<sup>1)</sup>**

**9** Welche Vorstellung machst du dir von der Ausbreitung des Schalls in Luft?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 9.1. Eine der im Unterricht erarbeiteten Vorstellung entsprechende Antwort **78 %<sup>1)</sup>**

**10** In welchen Stoffen kann sich der Schall ausbreiten? Kreuze an!

- a) in Gasen
- b) in Flüssigkeiten
- c) in festen Stoffen (z.B. Holz, Stein, Metall)

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 10.1. 2 angekreuzt **50 %<sup>2)</sup>**  
Item 10.2. 3 angekreuzt **30 %**

## Aufgaben zum Ziel Z 4: Hörfähigkeit, Audiogramm

- 11** Töne sind nur in einem bestimmten Frequenzbereich für das menschliche Ohr hörbar. Welches ist der Hörbereich bei einem Jugendlichen mit normalem Gehörsinn? Kreuze an!

Man hört Töne im Bereich von

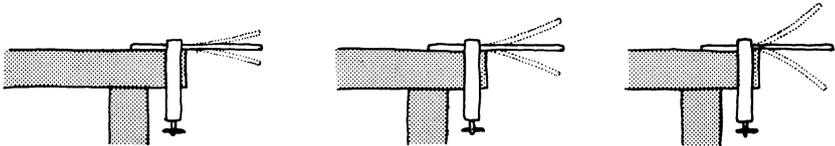
- 16 Hz bis 1 000 Hz ( )  
12 Hz bis 38 000 Hz ( )  
50 Hz bis 18 000 Hz ( )  
16 Hz bis 18 000 Hz ( )  
ich weiß es nicht ( )

### Vorschlag zur Bewertung

Item 11.1. 16 Hz bis 18 000 Hz

100 %<sup>1)</sup>

- 12** Du siehst hier 3 Blattfedern, die alle mit einer Frequenz von 20 Hz schwingen.



- a) Wodurch unterscheiden sich diese Schwingungsvorgänge?  
b) Ergänze folgenden Satz: Je größer ..... eines Schwingungsvorganges, desto ..... ist die Lautstärke des erzeugten Tones.

### Vorschlag zur Bewertung

Item 12.1. In a) wird **Lautstärke** oder **Amplitude** genannt.

43 %<sup>3)</sup>

Item 12.2. In b) wird die **Amplitude** und **größer** ergänzt.

30 %

- 13** Welche der folgenden Aussagen sind richtig?  
Kreuze an!

- (A) Je höher die Frequenz, desto höher der Ton.  
(B) Je höher die Frequenz, desto tiefer der Ton.  
(C) Je geringer die Frequenz, desto tiefer der Ton.  
(D) Je höher die Frequenz, desto größer die Amplitude.

### Vorschlag zur Bewertung

Item 13.1. Nur **A und C** angekreuzt

80 %<sup>3)</sup>

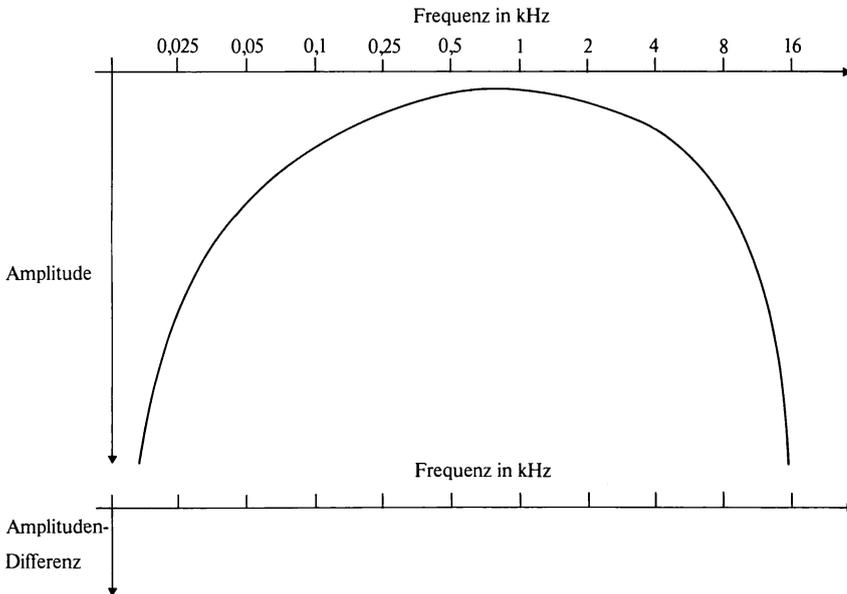
- 14** Unterstreiche die Frequenzen, bei denen eine Blattfeder für Menschen hörbare Töne erzeugt.  
5 Hz, 10 Hz, 20 Hz, 300 Hz, 6000 Hz, 17 000 Hz, 22 000 Hz, 50 000 Hz.

### Vorschlag zur Bewertung

Item 14.1. Von 20 Hz bis 17 000 Hz unterstrichen

46 %<sup>3)</sup>

15



- a) Was sagt dieses Audiogramm über die Hörfähigkeit eines Menschen aus?
- b) Zeichne ein mögliches Diagramm eines Lärmschwerhörigen in das obige Audiogramm ein.
- c\*) Zeichne die **Differenz** zwischen beiden Kurven als neue Kurve.

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 15.1. (Aufgabe a)	In der Antwort kommt gute Hörfähigkeit im mittleren Frequenzbereich zum Ausdruck	
Item 15.2. (Aufgabe a)	Es kommt schlechte Hörfähigkeit im oberen und unteren Frequenzbereich zum Ausdruck	
Item 15.3. (Aufgabe a)	Angaben von Hörgrenzen	
Item 15.4. (Aufgabe b)	Die 2. Kurve kann ungefähr dem Kurvenverlauf der ersten folgen, darf aber nicht oberhalb der ersten Kurve liegen	24 % <sup>3)</sup>
Item 15.5. (Aufgabe b)	Der Abstand zwischen beiden Kurven ist im Bereich um 4 kHz am größten	
Item 15.6. (Aufgabe c*)	Die Differenzkurve ist richtig gezeichnet	

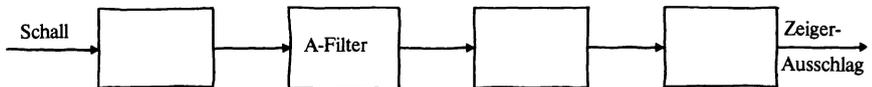
## Aufgaben zum Ziel Z 5: Schallpegel L in dB(A)

<b>16</b>	Welche Werte würde man ungefähr bei folgenden Geräuschen messen?		
	Absolute Ruhe	_____ dB(A)	(0 dB(A))
	Flüstern	_____ dB(A)	(20 dB(A))
	Normales Sprechen	_____ dB(A)	(50 dB(A))
	Lebhafter Straßenverkehr	_____ dB(A)	(70 dB(A))
	Diskotheke	_____ dB(A)	(100 dB(A))
Start von Düsenflugzeug (aus der Nähe)	_____ dB(A)	(120 dB(A))	

### Vorschlag zur Bewertung

Item 16.1.	3 richtig ( $\pm 10$ dB(A))	84 % <sup>4)</sup>
Item 16.2.	5 richtig ( $\pm 10$ dB(A))	52 %
Item 16.3.	6 richtig ( $\pm 10$ dB(A))	

- 17** a) Aus welchen Teilen besteht ein Schallpegelmesser?  
Beschrifte die drei leeren Kästen in dem folgenden Blockdiagramm eines Schallpegelmessers.



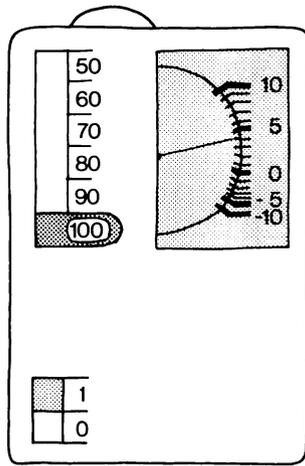
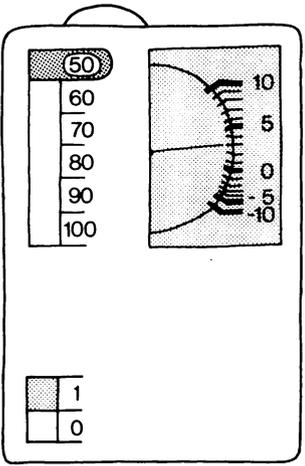
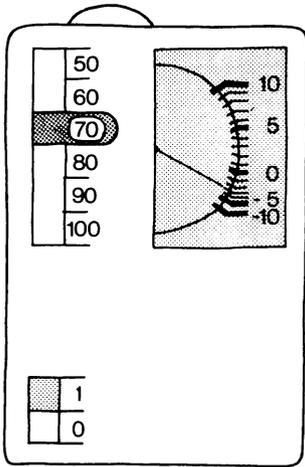
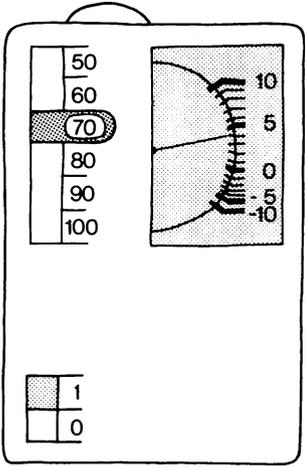
- b) Wozu dient das A-Filter?

### Vorschlag zur Bewertung

Item 17.1.	(Aufg. a)) Mikrophon an 1. Stelle	81 % <sup>3)</sup>
Item 17.2.	(Aufg. a)) Verstärker an 2. Stelle	24 %
Item 17.3.	(Aufg. a)) Anzeigeinstrument an 3. Stelle	14 %
Item 17.4.	(Aufg. b)) „Anpassung an das menschliche Gehör“ o.ä.	

18

Schreibe die angezeigten Meßwerte auf!



Vorschlag zur Bewertung  
Item 13.1. 4 richtige Lösungen

86 %<sup>3)</sup> 71 %<sup>4)</sup>

- 19** Wenn eine Maschine Lärm von 90 dB(A) erzeugt, wieviel erzeugen dann zwei dieser Maschinen?
1. ca. 180 dB(A)
  2. ca. 120 dB(A)
  3. ca. 95 dB(A)

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 15. Nur 3. angekreuzt 86 %<sup>3)</sup> 76 %<sup>4)</sup>

- 20** Wie entscheidet man in einem bestimmten Fall, ob eine unzulässige Lärmbelastung vorliegt?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 20.1. Man muß messen 60 %<sup>2)</sup> 58 %<sup>4)</sup>  
 Item 20.2. Man muß den richtigen Richtwert in Erfahrung bringen 30 % 60 %  
 Item 20.3. Man muß Messung (Beurteilungspegel oder Mittelungspegel) und Richtwert vergleichen.

**Aufgaben zum Ziel Z 6: Gesundheitliche Belastungen**

- 21** Welche gesundheitliche Schäden oder andere Nachteile kann Lärm haben?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 21.1. „Schwerhörigkeit“ 95 %<sup>3)</sup>  
 Item 21.2. andere Wirkungen (vegetativ/psychisch) 81 %  
 Item 21.3. „Konzentrationsstörungen“ 58 %  
 Item 21.4. Kommunikationsstörungen (Beispiele) 58 %

- 22** Setze den fehlenden Wert ein!  
 Im allgemeinen gilt Lärm ab ..... dB(A) als gehörschädigend.

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 22.1. 85 oder 90 dB(A) 57 %<sup>3)</sup> 77 %<sup>4)</sup>

- 23** Wovon hängt es ab, ob ein Mensch an einem lauten Arbeitsplatz schwerhörig wird? Kreuze an.
- Es hängt davon ab,
- (A) ob er eine leichte oder schwere Arbeit hat
  - (B) ob er einen Lärmschutzhelm trägt
  - (C) wieviel Jahre er an diesem Platz arbeitet
  - (D) ob er den Lärm überhaupt beachtet
  - (E) ob er Lärm gewöhnt ist
  - (F) wie lange er jeden Tag an diesem Platz arbeitet
  - (G) wie laut ein Arbeitsplatz ist.

### Vorschlag zur Bewertung

Item 23.1. (B) angekreuzt

Item 23.2. (C) angekreuzt

Item 23.3. (F) angekreuzt

Item 23.4. (G) angekreuzt

Die Items werden nicht vergeben, wenn **mehr als eine** falsche Antwortmöglichkeit angekreuzt wurde.

**24**

- a) Wie entsteht eine Lärmschwerhörigkeit?  
(Beschreibe die biologischen Veränderungen im Innenohr!)
- b) Warum ist sie unheilbar?

### Vorschlag zur Bewertung

Item 24.1. Hohe Belastung (durch lange, laute Geräusche)

Item 24.2. Mängel im Stoffwechsel der Zelle bzw. Sauerstoffmangel als Ursache

Item 24.3. Absterben von Hörsinneszellen

Item 24.4. ... deshalb unheilbar.

## Aufgaben zum Ziel Z 7: Sich gegen Lärm wehren

**25**

- An wen würdest du dich wenden, wenn du vom Lärm betroffen wärst?  
Welche weiteren Ämter oder Personen kennst du, die dir vielleicht helfen können?

### Vorschlag zur Bewertung

Richtige Nennungen: Polizei, Gewerbeaufsichtsamt, Ministerium für Umweltschutz, Meßfachmann, Arzt, Zeitung, der Verursacher, u.a.

Item 25.1. 3 richtige Nennungen

70 %<sup>2)</sup>

Item 25.2. 5 richtige Nennungen

50 %

**26**

- Welche Bestimmungen (Gesetze, Vorschriften) über Lärm kennst du?

### Vorschlag zur Bewertung

Richtige Nennungen: TA Lärm, UVV Lärm, Bundesimmissionsschutzgesetz, VDI 2058, Arbeitsstättenverordnung, u.a.

Item 26.1. Eine richtige Bestimmung genannt

5 %<sup>2)</sup>

Item 26.2. Zwei richtige Bestimmungen genannt

Item 26.3. Drei richtige Bestimmungen genannt

**27**

- Es gibt unter anderem folgende Richtwerte für Lärm:  
35 dB(A), 45 dB(A), 55 dB(A), 65 dB(A), 75 dB(A), 85 dB(A).  
Schreibe von diesen Werten die richtigen in die folgenden Kästen.

- Nachbarschaftslärm in Gebieten, die überwiegend Wohngebiete sind, **bei Tag**
- Nachbarschaftslärm in Gebieten, die überwiegend Wohngebiete sind, **bei Nacht**
- Am Arbeitsplatz mit lauten Maschinen
- Nachbarschaftslärm im Kurgebiet, **bei Nacht**
- Verkehrslärm in reinen Wohngebieten, **bei Tag**

**Vorschlag zu Bewertung**

- Item 27.1. 1. 55 dB(A)  
 Item 27.2. 2. 45 dB(A)  
 Item 27.3. 3. 85 dB(A)  
 Item 27.4. 4. 35 dB(A)  
 Item 27.5. 5. 65 dB(A)

**28** Was weißt du über Zuständigkeit und Aufgaben des Gewerbeaufsichtsamtes im Bereich Lärm?

**Vorschlag zur Bewertung**

- Item 28.1. Zuständigkeit für gewerblichen Lärm in der Nachbarschaft 5 %<sup>2)</sup>  
 Item 28.2. Zuständig für Arbeitslärm in den Betrieben  
 Item 28.3. Aufgabe: Prüfung der Einhaltung von Richtwerten auf Anfrage der Betroffenen einschließlich Messungen 30 %<sup>2)</sup>

**29** Kreuze in der folgenden Tabelle an, wer zuständig ist!

	Lärm durch Straßenverkehr	Lärm durch Geburtstagsfeier der Nachbarn	Lärm durch Tischlerei in der Nachbarschaft
Gewerbeaufsichtsamt			(1)
Polizei	(2)	(3)	
Ministerium für den Umweltschutz	(4)	(5)	(6)

**Vorschlag zur Bewertung**

- Item 29.1. (1) angekreuzt  
 Item 29.2. (2) und (3) angekreuzt  
 Item 29.3. (4), (5) und (6) angekreuzt  
 (Wichtig ist, daß die anderen Felder nicht angekreuzt sind).

**Aufgaben zum Ziel Z 8: Kritische Einstellung zu gesetzlichen Bestimmungen**

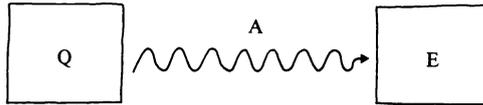
**30** Wie beurteilst du Richtwerte?  
 Welche Interessen haben Arbeitgeber bzw. Arbeitnehmer an einer Veränderung des Richtwertes 90 dB(A)?

**Vorschlag zur Bewertung**

- Item 30.1. Richtwerte sind etwas anderes als „Naturkonstanten“, sie stellen Kompromisse dar, sie sind durch demokratische Prozesse veränderbar.  
 Item 30.2. Arbeitgeber haben eher Interesse an hohen Richtwerten, weil das billiger ist.  
 Item 30.3. Arbeitnehmer haben ein großes Interesse an einem niedrigeren Richtwert, um ihre Gesundheit zu schützen.

## Aufgaben zum Ziel Z 9: Drei Arten von technischen Lärmschutzmaßnahmen

- 31** a) Was bedeuten die Buchstaben Q, A und E in der folgenden Skizze für die Schallausbreitung:



Q: \_\_\_\_\_ A: \_\_\_\_\_ E: \_\_\_\_\_

- b) Welche drei Arten von technischen Lärmschutzmaßnahmen kann man dementsprechend unterscheiden? Nenne je ein Beispiel!

### Vorschlag zur Bewertung

- Item 31.1. Q = Schallquelle (Sender), A = Ausbreitungsweg(e), E = Empfänger (Ohr, Mikrofon)  
 Item 31.2. Maßnahmen, die die Lärmquelle leiser machen  
 Item 31.3. Ein richtiges Beispiel  
 Item 31.4. Maßnahmen, welche die Schallausbreitung vermindern  
 Item 31.5. Ein richtiges Beispiel  
 Item 31.6. Maßnahmen, die den Empfänger (das Ohr) schützen  
 Item 31.7. Ein richtiges Beispiel

- 32** Mit welchen Mitteln kann man das Ohr gegen Lärm schützen?

### Vorschlag zur Bewertung

Richtig: Lärmschutzhelm, Ohrstöpsel, Watte(pfropfen), Ohrklappen

- Item 32.1. Zwei richtige Beispiele 80 %<sup>2)</sup>

- 33** Wie könnte man die Lärm~~ent~~stehung (an der Quelle) bei folgenden Lärmquellen vermindern?

- a) Bei einem Auto  
 b) Bei einem Abfallbehälter

### Vorschlag zur Bewertung

- Item 33.1. (zu a) Mindestens eine richtige Möglichkeit 45 %<sup>2)</sup>  
 Item 33.2. (zu b) Mindestens eine richtige Möglichkeit 65 %

- 34** Wie könnte man die Lärm~~aus~~breitung von einem Motorrad (auf der Straße) zu einem Zimmer eines anliegenden Hauses vermindern? Begründe die Verminderung.

### Vorschlag zur Bewertung

- Item 34.1. Lärmschutzwand an der Straße 68 %<sup>4)</sup>  
 Item 34.2. Bessere (Doppel-)Fenster 55 %<sup>2)</sup>  
 Item 34.3. Mindestens eine richtige Begründung (Reflexion, Dämpfung) genannt 40 %<sup>4)</sup>

**35**

In einem Großraumbüro mit vielen Schreibmaschinen soll der Lärm verringert werden. Schlage verschiedene Maßnahmen vor und begründe sie.

Maßnahme Begründung

---

---

---

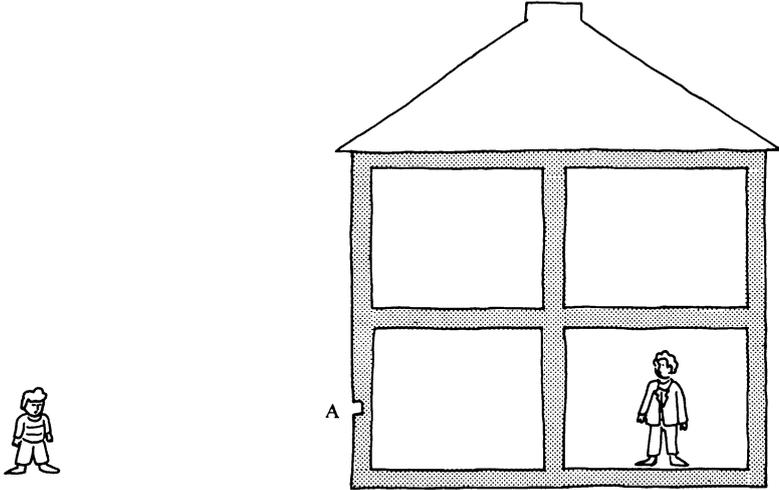
---

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 35.1.	Teppichboden bzw. absorbierendes Material für Decke oder Wände genannt	86 % <sup>3)</sup>	52 % <sup>4)</sup>
Item 35.2.	„Eine Unterlage für die Schreibmaschine benutzen“	24 %	
Item 35.3.	Andere Maßnahmen (z. B. Zwischenwände) genannt	15 %	
Item 35.4.	Wenigstens eine richtige Begründung, z. B. „Körperschall verhindern“	50 %	

**36**

In der Zeichnung siehst du ein Haus im Querschnitt.



An der Stelle A wird von außen ein Loch in die Mauer gebohrt. Die Person B hört dies viel lauter als die Person C, obwohl sie gleich weit entfernt sind. Wie erklärst du dir das?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 36.1.	Unterschied von Luft- und Körperschall kommt zum Ausdruck	47 % <sup>1)</sup>
------------	---	--------------------

## Aufgaben zum Ziel Z 10: Schall trifft auf eine Wand

**37**

Welche Materialien sind deiner Meinung nach am besten für eine Schallschutzwand geeignet, die Häuser, die an einer Autobahn stehen, vor Lärm zu schützen?

Ordne die drei Materialien nach 1 = am besten geeignet, 2 = mittelmäßig geeignet, 3 = am schlechtesten geeignet.

- a) Holz
- b) Styropor
- c) Beton

### Vorschlag zur Bewertung

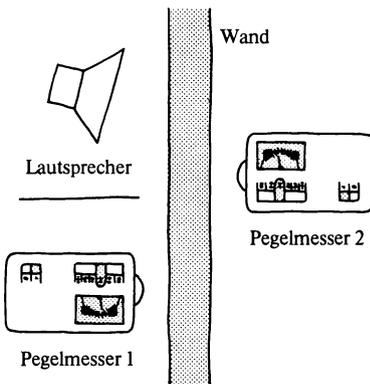
Item 37.1. Styropor wird mit 3 bezeichnet

43%<sup>3)</sup>

Item 37.2. Beton 1 Holz 2 Styropor 3

33% 82%<sup>4)</sup>

**38**



Alle in der Aufgabe erwähnten Wände sind gleich dick.

- a) Bei einer **Schaumstoffwand** wird **keine Reflexion** beobachtet, jedoch eine Dämmung von ca.  $-10$  dB(A), (das heißt, hinter der Wand am Pegelmessgerät 2 wird 10 dB(A) weniger gemessen als vor der Wand).

Wie kommt diese Dämmung zustande?

---



---

- b) Bei einer **Styroporwand** wird Reflexion festgestellt ( $+10$  dB(A) Erhöhung am Pegelmessgerät 1), außerdem eine Dämmung von ebenfalls ungefähr  $-10$  dB(A).

Wie kommt diese Dämmung hier zustande?

Vergleiche mit der Schaumstoffwand.

---



---



---

- c) Bei einer **Holzwand** wird Reflexion festgestellt (+10 dB(A)), außerdem eine Dämmung von etwa -20 dB(A).  
Wie kommt die Dämmung hier zustande?  
Vergleiche mit den anderen Wänden.

---



---



---



---

**Vorschlag zur Bewertung**

- Item 38.1. (Aufg. 21 a) Es kommt zum Ausdruck, daß Schaumstoff gut **dämpft**, z. B. „der Schall wird geschluckt“ o.ä.  
Item 38.2. (Aufg. 21 b) Es kommt zum Ausdruck, daß hier die Dämmung hauptsächlich auf die **Reflexion** zurückzuführen ist und damit die Dämpfung geringer ist als bei Schaumstoff. Z. B. „Styropor schluckt weniger Schall“  
Item 38.3. (Aufg. 21 c) Es kommt zum Ausdruck, daß beim Holz die Reflexion **und** die Dämpfung an der Dämmung beteiligt sind.

**Anmerkung:**

Bei dieser Aufgabe müßten wohl auch für Teilantworten (gemessen an den Itemformulierungen) Punkte vergeben werden.  
Die Aufgabe wurde gegenüber der Erprobungsfassung vereinfacht und präzisiert; daher keine Prozentangaben.

**39**

Setze die fehlenden Wörter ein:

- a) Damit eine Wand gut reflektiert, muß sie aus \_\_\_\_\_ Material bestehen.  
b) Damit eine Wand gut absorbiert (= den Schall schluckt), muß sie aus \_\_\_\_\_ Material bestehen.

**Vorschlag zur Bewertung**

- |   |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|
| Item 39.1. (Aufg. a) ergänzt: „glattem“ | 67 % <sup>3)</sup> | 81 % <sup>4)</sup> |
| Item 39.2. (Aufg. b) ergänzt: „porösem“ | 52 %               | 74 %               |

**40**

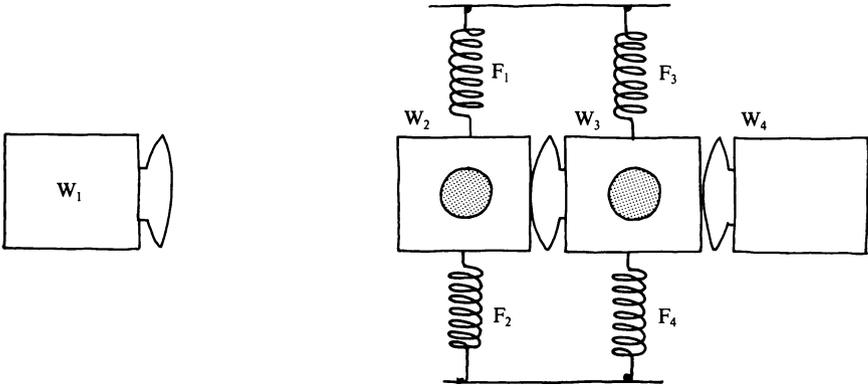
Welche Eigenschaften muß eine Wand haben, damit sie gut dämmt?

1. \_\_\_\_\_
2. \_\_\_\_\_
3. \_\_\_\_\_
4. \_\_\_\_\_

**Vorschlag zur Bewertung**

- |                                |                    |                    |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Item 39.1. „schwer“            | 38 % <sup>3)</sup> | 34 % <sup>4)</sup> |
| Item 39.2. „dick“              | 43 %               |                    |
| Item 39.3. „mehrere Schichten“ | 5 %                |                    |
| Item 39.4. „porös“             | 48 %               | 45 %               |

**41**



Was bedeuten die Wagen in dieser Zeichnung für einen entsprechenden Versuch mit Schall?

- a)  $W_1$ , Hinfahrt: \_\_\_\_\_
- b)  $W_1$ , Rückfahrt: \_\_\_\_\_
- c)  $W_2, W_3$  mit Federn und Zwischengewicht: \_\_\_\_\_
- d)  $W_4$ : \_\_\_\_\_

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 41.1.	(Aufg. a) „ankommender Schall“	95 % <sup>3)</sup>	50 % <sup>4)</sup>
Item 41.2.	(Aufg. b) „reflektierter Schall“ o. ä.	81 %	50 %
Item 41.3.	(Aufg. c) „Wand“	38 %	21 %
Item 41.4.	(Aufg. c) „Dämpfung“, „gedämpfter Schall“	33 %	—
Item 41.5.	(Aufg. d) „durchgehender Schall“ o. ä.	67 %	32 %

**42**

Was passiert mit der Schallenergie im Schalldämpfer von Mopeds oder Autos?

---



---



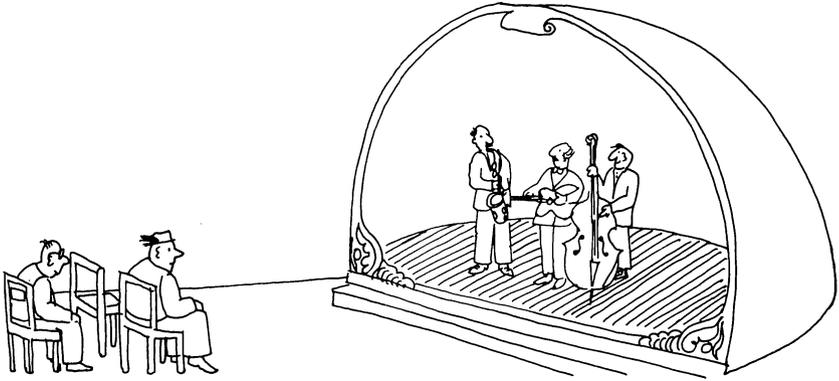
---

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 42.1.	Umwandlung in Wärmeenergie genannt	67 % <sup>3)</sup>	32 % <sup>4)</sup>
Item 42.2.	Formulierungen wie: „wird reflektiert, läuft sich tot“	29 %	

**43**

Bei Konzerten im Freien sitzen die Musiker häufig unter einem muschelförmig gewölbten Dach, so, wie du es auf der Zeichnung siehst.



- a) Welche Aufgabe hat dieses Dach?  
 b) Aus welchem Material besteht die Innenseite des Daches? Kreuze an!
- Glatter Stein ( )  
 Schaumstoff ( )  
 Dämmplatten ( )  
 geriffelter Stein ( )  
 ich weiß es nicht ( )

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 43.1. Funktion richtig erkannt und „glatter Stein“ angekreuzt 90 %

Eine komplexe Aufgabe zum Schluß:

**44**

- a) Was kann ein Betroffener tun, der durch den Lärm einer Tischlerei in der Nachbarschaft gestört wird?  
 b) Wie wird entschieden, ob eine Beschwerde berechtigt ist?  
 c) Welche technischen Schutzmaßnahmen kommen hier in Frage?

**Vorschlag zur Bewertung**

Item 44.1.	(Aufg. a) Beschwerde beim Verursacher	24 % <sup>3)</sup>
Item 44.2.	(Aufg. a) Beschwerde bei der Polizei	48 %
Item 44.3.	(Aufg. a) Beschwerde bei anderen Institutionen	62 %
Item 44.4.	(Aufg. a) Schallschutzmaßnahmen	43 %
Item 44.5.	(Aufg. a) Selbst die Lautstärke messen	0 %
Item 44.6.	(Aufg. b) Durchführung einer Messung	–
Item 44.7.	(Aufg. b) Vergleich mit Richtwerten	48 %
Item 44.8.	(Aufg. c) Schallschutzfenster	29 %
Item 44.9.	(Aufg. c) Schallschutzmauer	29 %
Item 44.10	(Aufg. c) Andere Schutzmaßnahmen	38 %

## Anmerkungen zu den Testergebnissen

- 1) Aufgabe und Ergebnis stammen von R. Duit und P. Häußler, veröffentlicht in H. Niedderer (Hrsg.), 1981 (eine 8. Realschulklasse)
- 2) Das Ergebnis stammt aus einer Erprobung (Küker, Wieczorek 1979), bei der der **ganze** Unterricht in Form von drei Simulationsspielen ablief (4 Gesamtschul-Halbgruppen, 1 Realschulklasse). Die rein physikalischen Leistungen fielen hier i.a. schlechter aus als sonst.
- 3) Die Ergebnisse stammen aus einer routinemäßigen Erprobung in drei Gesamtschul-Halbgruppen.
- 4) Diese Werte stammen aus einer Erprobung in drei Gymnasialklassen.

## 6.3 Einige weitere Ergebnisse aus den Erprobungen

Die folgenden Ergebnisse stammen aus einer Examensarbeit von Küker und Wieczorek (1979). Diese Arbeit stellt die formative Evaluation einer Erprobung dar, die ganz in der Form von drei Simulations-Rollenspielen durchgeführt wurde. Dabei wurden zahlreiche verschiedenartige Instrumente eingesetzt. Daher können die im folgenden mitgeteilten Ergebnisse nur einen kleinen Ausschnitt darstellen.

### Interessen der Schüler

Die folgenden Ergebnisse beziehen sich auf einen Interessentest (nach Todt) **nach** dem Unterricht, also mit informierten Schülern.

Insgesamt fällt das große Interesse an den **experimentellen Tätigkeiten** („Experimente bzw. Messungen durchführen“) bzw. an den entsprechenden Inhalten („Text intensiv bearbeiten“) bzw. an den entsprechenden Rollen („in einem Spiel die Rolle des ... übernehmen“) auf. Lärm messen liegt mit einem Mittelwert von 4,0 an der Spitze des Interesses (nach dem Unterricht!). Wenig darunter mit Mittelwerten zwischen 3,6 und 3,9 liegen folgende Items:

- Den Aufbau von Meßgeräten kennenlernen (3,6)
- Experimente zur Schallentstehung (3,9) bzw. zur Schallausbreitung (3,9) bzw. zur Schallleitung (3,6) bzw. zur Abschirmung von Lärm (3,7) durchführen.

Interessant ist ferner die Rangfolge der Interessen bei der Kategorie „einen Text intensiv bearbeiten“:

- „Über die Möglichkeiten eines von Lärm Betroffenen“ (3,5)
- „Über die Möglichkeiten, seinen Körper gegen Lärm zu schützen“ (3,4)
- „Über die Aufgaben des Schallschutzfachmannes im Lärmschutz“ (3,4)
- „Über die Möglichkeiten des Verursachers von Lärm“ (3,4)
- „Über die Aufgaben des Arztes im Lärmschutz“ (3,3)
- „Über die Aufgaben des Meßfachmannes im Lärmschutz“ (3,3)
- „Über Gesetze und Vorschriften zum Schallschutz“ (2,5)

Es fällt auf, daß das letztgenannte Interesse deutlich geringer ist.

Allerdings hatte das gleiche Item mit der Tätigkeit „kennenzulernen“ immerhin ein mittleres Interesse von 3,2. Beim Interesse für bestimmte Rollen ergibt sich ein ähnliches Bild. Beim Vergleich zwischen Interessen **vor** und **nach** dem Unterricht fällt auf, daß das Interesse an der Übernahme von Rollen bei den experimentellen Rollen (Meßfachmann, Schallschutzfach-

mann) stark zunimmt (z. B. von 2,6 auf 3,7), während alle anderen Rollen im wesentlichen unverändert bleiben bzw. leicht abnehmen (stärkste Abnahme: Polizei von 3,7 auf 3,3). Nach dem Unterricht ergibt sich folgende Rangfolge in der Beliebtheit der Rollen:

Schallschutzfachmann	(3,7)
Meßfachmann	(3,6)
Betroffener	(3,6)
Verursacher	(3,5)
Arzt	(3,4)
Polizei	(3,3)
Gericht	(3,3)
Sicherheitsbeauftragter	(3,0)
Senator für Umweltschutz	(3,0)
Berufsgenossenschaft	(3,0)
Gewerbeaufsichtsamt	(2,9)
Zeitung	(2,9)

Problematisch ist hier vor allem das geringe Interesse an der Rolle des Gewerbeaufsichtsamtes, da diese Rolle (vor allem bei gewerblichem Lärm in der Nachbarschaft) sehr wichtig ist. Hier kann vielleicht durch bessere Information über die Aufgaben und evtl. durch Übernahme von Meßaufgaben durch diese Rolle (wie in der Praxis üblich!) vom Lehrer korrigierend eingewirkt werden.

#### Ergebnisse aus den Interaktionsdiagrammen

Der Spielverlauf wurde u. a. daraufhin analysiert, welche Rollen wie oft in Aktion treten bzw. von anderen Rollen angesprochen werden. Die Summe dieser aktiven und passiven Reaktionen einiger Rollen soll hier kurz als Maß für die Aktivität dieser Rollen mitgeteilt werden:

Betroffener	35	Meßfachmann	21
Verursacher	11	Schallschutzfachmann	9
Polizei	10	Gericht	3
Gewerbeaufsichtsamt	20	Zeitung	3

#### Zum Spielverlauf

Der Spielverlauf zum Spiel „Flaschencontainer“ wurde in allen 5 Erprobungsklassen aufgezeichnet. Es ergaben sich insgesamt folgende „Stationen“, die aber nicht in jedem Spiel alle „angelaufen“ wurden:

- Der Fall wurde mit einem Hörspiel vorgestellt
- Das Hörspiel wird mit verteilten Rollen gelesen
- Die mögliche Entwicklung des Falles wird diskutiert
- Rollen, die im Zusammenhang mit dem Fall auftreten können, werden an der Tafel gesammelt
- Die Rollen werden verteilt
- Das Spiel wird ohne Information für die Rollen durchgeführt
- Der Spielablauf wird diskutiert
- Die Rollen werden neu festgelegt
- Die Rollen werden erneut verteilt
- Die Benutzung der Infothek wird erklärt
- Die Schüler bearbeiten die Rollentexte an Hand der ausgeteilten Aufgabenstellung
- Die Spielvorbereitungen sind abgeschlossen
- Die Betroffenen gehen zum Verursacher

- Die Betroffenen beschwerten sich über die selbst nachts anhaltende Ruhestörung
- Der Verursacher rechtfertigt die Aufstellung mit dem guten Zweck und der Rohstoffwiedergewinnung
- Der Verursacher ist nicht bereit, seinerseits Veränderungen vorzunehmen
- Die Betroffenen wenden sich an die Polizei
- Die Betroffenen beschwerten sich über die selbst nachts anhaltende Ruhestörung
- Die Polizei erklärt sich in diesem Fall für nicht zuständig
- Die Polizei informiert das Gewerbeaufsichtsamt über die Beschwerde
- Das GWA beauftragt einen Meßfachmann mit der Messung des Lärms
- Der Meßfachmann informiert den Verursacher über bevorstehende Messungen
- Der Meßfachmann kommt und macht Messungen
- Der Meßfachmann teilt dem GWA das Ergebnis seiner Messungen mit
- Das GWA stellt fest, daß die Richtwerte überschritten sind
- Das GWA beauftragt einen Schallschutzfachmann, nach Möglichkeiten zur Lärminderung zu suchen
- Der Schallschutzfachmann macht Versuche zur Lärminderung
- Der Schallschutzfachmann teilt die Ergebnisse dem GWA und Verursacher mit
- Das GWA fordert den Verursacher auf, Schallschutzmaßnahmen durchführen zu lassen
- Der Verursacher ist nicht dazu bereit
- Das GWA übergibt den Fall an das Gericht
- Das Gericht hört die Beteiligten an
- Das Gericht verurteilt den Verursacher, wirksame Schutzmaßnahmen durchführen zu lassen
- Das Gericht setzt für den Fall der Nichtbeachtung des Urteils eine Strafe fest.

## 6.4 Zusammenfassung der Evaluationsergebnisse der Erprobung mit drei aufeinander folgenden Simulations-Rollenspielen

Die Erprobung des Teilcurriculums hat ergeben, daß die Durchführung einer Unterrichtseinheit in Form von Simulationsspielen prinzipiell realisierbar ist. Dabei zeigt sich häufig eine Überlegenheit dieses Konzeptes gegenüber „herkömmlichen“ Unterrichtsformen:

1. Das Simulationsspiel führt zu einer **Motivationssteigerung**. Dies ist, wie wir feststellen konnten, insbesondere bei Schülern zu beobachten, die üblicherweise wenig Interesse am Physikunterricht zeigen.
2. Durch den Unterricht lernen die Schüler ihre **Handlungsmöglichkeiten** in Lärmkonflikten und die jeweils zuständigen Institutionen kennen. Damit verbindet sich die Hoffnung, daß Schüler ermutigt werden, in außerschulischen Situationen, in denen sie selbst oder andere von Lärm betroffen sind, aktiv zu werden.
3. Die **Informationen**, die den Schülern zur Verfügung standen, reichten aus, um sie in den Spielen Konfliktlösungsstrategien entwickeln zu lassen.
4. Die Schüler erfahren durch den Unterricht von den **Gefahren des Lärms** für die Gesundheit. So nennen im Nachtest alle Schüler die Schwerhörigkeit neben weiteren gesundheitlichen Schäden.
5. Die Einheit „dB(A)“, die stets in Berichten über Lärmkonflikte verwendet wird und für deren Verständnis von Bedeutung ist, wird allen Schülern vermittelt. Von ihnen sind über 80 % in der Lage, den Schallpegel von Geräuschen richtig einzuschätzen.

Die Evaluationsergebnisse offenbaren allerdings auch einige **Mängel** des Teilcurriculums im Vergleich zu den vorhergehenden Unterrichtseinheiten, die nicht auf Simulationsspielen aufgebaut waren:

6. Die **physikalischen Grundlagen** konnten nicht in dem Maße vermittelt werden, wie dies erwartet worden war. Die in den Informationsphasen bereitgestellten Informationen wurden, wie die Inhaltsanalyse gezeigt hat, nur dann verwendet, wenn sie für die Handlungen von Bedeutung waren.

7. Das Interesse der Schüler an experimenteller **Eigentätigkeit** konnte nur unzureichend befriedigt werden.

Die angeführten Erwägungen legen es nahe, den Unterricht zu diesem Themenbereich als eine **Kombination aus Simulationsspiel und herkömmlichem Unterricht** zu gestalten. Außerdem kann damit den im Spieltest geäußerten Wünschen der Schüler bezüglich der Unterrichtsform am besten entsprochen werden. Dabei sollte der normale Unterricht den überwiegenden Teil der Informationsvermittlung tragen, während die Spielphasen dazu dienen, die Schüler zu motivieren und den Zusammenhang zwischen Handlungen und Inhalt und deren gesellschaftlichen Bezug aufzuzeigen. Damit ergibt sich die folgende mögliche Grundstruktur eines erweiterten Teilcurriculums „Lärm“

- Einstieg mit einem Spiel zu einem vorangestellten Konfliktfall
- Unterricht zur Grundlagenvermittlung (am Konfliktfall orientiert)
- Spiel oder Exkursion zum Einstieg in einen anderen Lärmbereich
- Unterricht zur Vermittlung spezieller, konfliktbezogener Kenntnisse
- Abschließendes Spiel zur Darstellung eines weiteren Konfliktbereiches.

## 7. Geräteliste

Die folgende Liste faßt die Geräte aller 7 Unterrichtsabschnitte zusammen. Sollen nur einige Abschnitte unterrichtet werden, so geben die unter „für den Unterrichtsabschnitt benötigten Hilfsmittel“ aufgeführten Gerätelisten der einzelnen Unterrichtsabschnitte nähere Auskunft. Einige der Geräte, insbesondere diejenigen aus dem alten Gerätesatz 7.2 stammenden Geräte, können zum Teil einzeln bei der Firma Leybold-Heraeus bezogen werden.

Die Compact-Cassette „Schwingungen – Schall – Lärm“ wurde vom Ernst Klett Verlag speziell zu dieser Unterrichtseinheit hergestellt und kann unter der Nr. 77442 bezogen werden.

Andere Geräte können von Spezialfirmen bezogen werden. Hierzu gehören insbesondere die **Schallpegelmesser** (genauer – wegen der Güteklasse – „Schallpegelanzeiger“). Sie können zu einem Preis von unter 200,- DM u.a. bei folgenden Firmen bezogen werden:

1. Radio RIM, Postfach 202026, 8 München 2 (oder ähnliche Elektronikspezialgeschäfte)
2. MONACOR (Intermercador), Zum Falsch 36, 28 Bremen 44
3. Reten Elektronik GmbH, Idstein (Taunus)

Die von diesen Firmen meist gelieferten japanischen Geräte besitzen einen Ausgang zum Anschluß eines (mitgelieferten) Ohrhörers. Dessen Kabel kann durch Abschneiden des Ohrhörers und Anlöten von zwei Bananensteckern zum Anschluß eines Demonstrationsmeßgerätes (Meßbereich z.B. 1 m A ~) verwendet werden.

Auch die in dieser Unterrichtseinheit vielseitig verwendbaren **Miniatursummer** können zu einem Preis von ca. 5,- DM bei den üblichen Elektronikspezialgeschäften bezogen werden. Weitere Adressen von Spezialfirmen siehe 8.8, z.B. BILSOM für persönlichen Schallschutz (Lärmschutzhelm, Watte, Ohrstöpsel).

In der folgenden Geräteliste werden folgende Abkürzungen verwendet:

- 7.2.: Dieses Gerät war bereits im Gerätesatz der **Erprobungsfassung** der vorliegenden Unterrichtseinheit (7.2. Schwingungen) vorhanden).
- S: Dieses Gerät kann von (den oben genannten) Spezialfirmen bezogen werden.
- N: Dieses Gerät kann in (örtlichen) Geschäften für Bastelbedarf, Baustoffe, Kunststoffe o.ä. beschafft werden.
- E: Dieses Gerät kann von den üblichen Lehrmittelfirmen bezogen werden. Seine Anschaffung wird dringend empfohlen, falls in der Schulsammlung noch nicht vorhanden.
- \*: Dieses Gerät kann von den üblichen Lehrmittelfirmen bezogen werden. Falls es in der Schulsammlung nicht vorhanden ist, kann hierauf (notfalls) auch verzichtet werden.

### Schülergeräte

- |  |      |
|--|------|
| 1 Stoppuhr   | E    |
| 1 Zollstock (oder Maßband)                         | E    |
| Markierungshilfsmittel (vgl. V 4)                  |      |
| 1 Blattfeder mit Halterung (oder andere Schwinger) | 7.2. |
| Stativmaterial                                     |      |

### Demonstrationsgeräte

- |   |   |
|---|---|
| 1 (besser 2 oder mehr) Schallpegelmesser (mit Monitorausgang zum Anschluß eines Demonstrationsvielfachmeßgerätes) | S |
| 1 dazu passendes Übergangskabel (von Klinkenstecker auf Bananenstecker)   |   |
| 2 (besser 4 oder mehr) Miniatursummer (oder andere gleiche Schallquellen)   | S |

1	Cassettenrekorder (evtl. mit Zusatzlautsprecher)	
1	Cassette mit Lärmbeispielen	
1	Frequenzgenerator (Sinusgenerator)	E
1	Lautsprecher	E
1	elektronisches Zählgerät mit automatischer Abschaltung nach 1 s (!) oder Impulsratenmeßmöglichkeit (Imp./s.)	E
1	Lichtschranke mit Spannungsversorgung	E
1	Mikrofon <sup>1)</sup>	E
1	Oszilloskop	E
1	Demonstrationsvielfachmeßgerät (Meßbereich etwa 1 mA ~)	E
1	Schreibstimmgabel mit Gummihammer	E
1	Gitarre	
1	Bohrmaschine (aus Sicherheitsgründen ohne Bohrfutter) oder ähnliche technische Lärmquelle	
1	elektrische Klingel	E
1	Lärmschutzhelm (ersatzweise Kopfhörer)	S
1	Paket (Lärmschutz-)Watte	
3	(oder mehr) gleich große Wände (z. B. 80 x 50 cm) aus Holz (Dicke ca. 1 cm), Styropor (Dicke ca. 1 cm), Schaumstoff (Dicke ca. 5 cm)	N
2	gleiche (Kunststoff-)Kästen, ca. 40 x 40 x 60 cm, einer davon innen mit Schaumstoff ausgekleidet (passende Schaumstoffwände von innen eingesetzt)	N
Verschiedene Materialien zur (intuitiven) Lärminderung: Verschiedene Kästen (evtl. ineinander passend), Filz- oder Schaumstoffunterlagen, Decken oder Kissen u. ä.		
1	Stroboskop	E
1	Becherglas	
2	Fadenpendel (Pendelkörper)	7.2.
1	Federpendel	7.2.
1	Torsionsdraht für Drehpendel	7.2.
1	Blechdose mit Düse (Loch)	7.2.
1	Blattfeder mit angeklebter Papierfahne <sup>2)</sup>	7.2.
1	große Rolle Papier (etwa 0,4 bis 1,0 m breit, z. B. von der Zeitung)	N
1	Metronom (oder Stoppuhr)	*
2	m Metallpapier (+ Trafo 10–40 V ~)	*
1	Diaprojektor (oder Tageslichtprojektor)	*
1	Kondensator (ca. 1 $\mu$ F)	E
1	Vorwiderstand (ca. 100 $\Omega$ )	E
1	Potentiometer (ca. 100 k $\Omega$ )	E
2	Metallhandgriffe mit Anschlußmöglichkeit an elektrische Verbindungskabel	*
1	Fotowiderstand (LDR) mit Röhrchen zur Lichtabschirmung	*, N
1	Lampe (z. B. Soffittenlampe 12 V/1,5 A) mit Gehäuse	E
Verschiedene Hilfsmaterialien: Tesakrepp, Blatt Papier, Perlonfaden, Stativmaterial, Verbindungskabel, Dia-Deckgläser, Kerze, dicker Filzschreiber, Schale oder Schüssel.		

1) Die vom Mikrofon gelieferte Ausgangsspannung sollte ausreichen, das Zählgerät zu betreiben. Dies ist besonders gut bei Mikrofonen mit Ausgangsübertrager oder Vorverstärker gewährleistet.

2) Die Papierfahne kann leicht selbst angebracht werden und dient zur Unterbrechung der Lichtschranke (genau eine Unterbrechung bei einer ganzen Schwingung!)

## **8. Literatur, Material, Adressen**

### **8.1 Direkt für den Unterricht verwendbar**

Jean Pütz: HiFi, Ultraschall und Lärm – die Welt des Schalls. Verlagsgesellschaft Schulfernsehen, Köln, 1973.

Dieses Buch vermittelt neben allgemeinen Grundlagen der Akustik, akustischen Grundlagen der Musik, HiFi-Technik und Ultraschall ein ganzes Kapitel über Lärm (16 Seiten). Es enthält sowohl physikalisch-technische, als auch biologisch-medizinische und juristische Informationen.

BIELEFELDER LEHRERGRUPPE (E. Naumann u.a.): Schule kann anders sein – drei Versuche zu handlungsorientiertem Lernen in Hauptschule und zur Arbeit im Lehrerteam. rororo, Hamburg 1979.

Teil 3 dieses Buches lautet „Schutz vor Lärm – ein Unterrichtsprojekt“. Darin finden sich sehr viele Gedanken und Hinweise zur Durchführung von Unterrichtsprojekten im allgemeinen und eines Unterrichtsprojektes „Lärm“ im besonderen. Daneben sind auch eine Reihe von Arbeitsbögen aus diesem Projekt mit abgedruckt.

Wie funktioniert das? Die Welt des Menschen. Bibliographisches Institut, Mannheim 1975.

Darin 12 Seiten mit sehr guten Abbildungen über Lärm (Schall und Lärm, Grenzwerte der Lärmelastigung, Lärm und menschliches Wohlbefinden, Schwerhörigkeit, Lärmschutz, Fluglärm).

H. Niederer (Hrsg.): Themenheft Lärm. NiU 29 (1981), Heft 11.

### **8.2 Für den Unterricht als Ergänzung besonders zu empfehlen**

S. S. Stevens, F. Warshofsky: Schall und Gehör. rororo, Hamburg 1977.

Darin sehr gute Aufnahmen und Zeichnungen der Schallausbreitung, des Ohres und seiner Funktionsweisen und sonstiger interessanter Schallphänomene (besonders auch im Tierreich).

J. Neumann: Lärmmeßpraxis – am Arbeitsplatz, in der Nachbarschaft, an haustechnischen Anlagen – Schall-Leistungsbestimmungen, Lärmrechtsgebiete. Lexika-Verlag, 7031 Grafenau 1, 1979 (2. Auflage)

Neben einer ausführlichen Darstellung der Schallmeßtechnik enthält dieses Buch gut zusammengefaßte Aussagen zu fast allen interessierenden Themen, insbesondere auch zu den biologisch-medizinischen und den juristischen Aspekten. Besonders hervorzuheben ist auch der Anhang mit einer hervorragenden Übersicht über Lärmschutzgesetze und Verordnungen, Richtwerte, Normen und Richtlinien etc. (Stand 1978).

W. Niemeier: Kleines Praktikum der Audiometrie. Thieme-Verlag, Stuttgart 1979 (140 Seiten).

Eine sehr klare und auch für den Laien verständliche Einführung in Bau- und Funktionsweise des Ohres und die wichtigsten Methoden der Analyse von Hörschäden (Audiometrie).

Klost-Geschefsky: Lärm. Verlag Moderne Industrie, München 1978 (63 Seiten).

## 8.3 Weitere wissenschaftliche Bücher

Grundlagen über Schwingungen und Wellen: Vergleiche Hochschullehrbücher der Physik, z.B. Gehrtsen, Macke etc.

Physikalische Grundlagen:

H. Borucki: Einführung in die Akustik. BI Mannheim 1980 (2. Auflage).

I. Kurtze, H. Schmidt, W. Westphal: Physik und Technik der Lärmbekämpfung. Karlsruhe, C. Braun 1975 (2. Auflage).

E. Meyer, E.-G. Neumann: Physikalische und technische Akustik. Vieweg, Braunschweig 1979 (3. Auflage).

Zum Nachschlagen bestimmter Meßwerte und Materialeigenschaften empfehlen sich auch für dieses Gebiet die traditionellen Tabellenwerke von Ebert und Kohlrausch. Daneben von D. Mende und G. Simon: Physik – Gleichungen und Tabellen. Leipzig 1976 (6. Auflage).

Technische Lärmbekämpfung:

K. Gösele, W. Schüle: Schall, Wärme, Feuchtigkeit. Bauverlag, Wiesbaden 1977 (4. Auflage).

K. Kleber: Praktische Bauphysik. Berlin (DDR) 1978.

W. Schirmer (Hrsg.): Lärmbekämpfung – physikalische Grundlagen und praktische Maßnahmen der Lärmbekämpfung an Maschinen und Produktionsanlagen. Verlag Tribüne, Berlin (DDR) 1974.

H. Schmidt: Schalltechnisches Taschenbuch. VDI-Verlag, Düsseldorf 1975 (2. Auflage).

H. Hoffmann, H. v. Lüpke: 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Erich Schmidt-Verlag, Berlin 1975.

Problem übergreifend:

A. O. Vogel: Bericht der Projektgruppe Lärmbekämpfung beim Bundesminister des Innern. Bonn 1978 (Hrsg.: Umweltbundesamt, Bismarck-Platz 1, 1 Berlin 33.)

Der Bericht enthält auf über 1200 Seiten Berichte von 18 Arbeitskreisen, u.a. zu folgenden Themen: Erhebungen über die Lärmbelastung . . ., Erforschung der Wirkungen des Lärms auf den Menschen, internationale Fragen des Lärmschutzes, wirtschaftliche Auswirkungen des Lärmschutzes, Lärmschutz in Städtebau und Wohnungswesen, Straßenverkehrslärm, Freizeitlärm u.a.

## 8.4 Gesetze, Verordnungen, DIN-Normen, VDI-Richtlinien über Lärm (Auswahl)

**Bundesimmissionsschutzgesetz**

vom 15. März 1974, Bundesgesetzblatt 1974 – Teil I, S. 721

Allgemeine Verwaltungsvorschrift über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung („TA Lärm“), Beilage zum Bundesanzeiger Nr. 137 vom 26. Juli 1968.

**Betriebsverfassungsgesetz**

von 1971, Bundesratsdrucksache 633/71 (insbesondere § 89)

Unfallverhütungs-Vorschrift (UVV-Lärm, VBG 121)

von 1.12.1974, Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

**Verordnung über Arbeitsstätten** („Arbeitsstättenverordnung“), Verordnung des Bundesministeriums für Arbeit vom 29. März 1975, im Bundesgesetzblatt I/32 S. 729.

Bundesimmissionsschutz-Verordnung „Rasenmäher-Lärm“

vom Juli 1976 (BGBl. I, S. 2024).

## **Gaststätten-Gesetz**

BGBI. I, S. 465 (Mai 1970).

**Straßenverkehrszulassungsordnung**, § 49 Geräusentwicklung, § 29 Kraftfahrzeug-Überwachung,

darin Grenzpegel für Pkw, Lkw, Zugmaschine, Kraftrad, Kleinkraftrad, Mofa.

Es gibt insgesamt je mehr als 50 DIN-Normen und VDI-Richtlinien für den Schallschutz. Es sei dazu auf die Verzeichnisse vom Beuth-Verlag (vgl. 8.8) und auf den Anhang im Buch von Jörg Neumann (1979) verwiesen. Die Normen und Richtlinien behandeln sowohl Grundbegriffe und Meßverfahren als auch Richtwerte und technische Verfahren zum Schallschutz. Sie sind nach verschiedenen Bereichen (Grundbegriffe, Meßverfahren, Städtebau, Hochbau, Bauteilen – z. B. Fenster, Türen – Maschinen etc.) gegliedert.

## **8.5 Broschüren**

Die folgenden Broschüren stellen eine Auswahl dar. Die jeweils neuesten Broschüren können am besten bei den unter 8.8 aufgeführten Adressen angefordert werden.

Zeitlupe 9: Umwelt – Umweltschutz (1979). Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn.

Was Sie schon immer über Umweltschutz wissen wollten. Hrsg.: Der Bundesminister des Innern, Referat für Öffentlichkeitsarbeit, Bonn 1978.

Lärmschwerhörigkeit. Hütten- und Walzwerksberufsgenossenschaft, Essen.

Raymond Herbig: Nicht heilbar, aber vermeidbar – Lärmschwerhörigkeit. Hrsg.: Süddeutsche Eisen- und Stahl-Berufsgenossenschaft, Mainz.

Lärmarm konstruieren – Planung, Analyse, Vorgehensweise, Maßnahmen. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung, Dortmund.

Wer leise lebt, lebt billiger. Neue Verordnung zur Bekämpfung des Lärms (1974) und Beispiele mit Verstößen gegen diese Ordnung. Der Senator für Gesundheit und Umweltschutz, Berlin.

Bremer Umweltatlas. Der Senator für Gesundheit und Umweltschutz, Bremen.

Gewerbeaufsicht – Service für den Bürger. Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf.

S. Burhop: Fahrzeugakustik. Schriftenreihe der Adam Opel Aktiengesellschaft, 16 (1977).

Schallschutz beim Innenausbau. G. + H. Isover, Grünzweig und Hartmann, Ludwigshafen.

Der Schutz unseres Gehörs. Bilsom International GmbH, Lübeck.

## **8.6 Zeitschriften, Aufsätze**

Populär-wissenschaftlich:

O. Doenke: Lärm – wie er entsteht, was er im Körper anrichtet, warum so viele darunter leiden, wie man sich davor schützt. Quick, Nr. 50 (1978), S. 88–95.

W. Hesse: Krankheitserreger Lärm. DAK-Magazin 4/79, S. 3–6

Technisch:

W. Zeller: Schutz gegen Verkehrslärm. Umschau 79 (1979), Heft 9.

H. König, J. Stagge: Wirksamer Schutz gegen Industrie- und Verkehrslärm. Platiconstruction, 4. Jahrgang 1974, Heft 5, S. 264–267.

Didaktisch:

H. Niedderer: Lärm – eine Unterrichtseinheit im Integrationsbereich von Physik, Technik, Biologie und Politik; in: H. Härtel (Hrsg.): Zur Didaktik der Chemie und Physik, Schroedel, Hannover 1980.

Uwe Zimmermann: Vorschläge zur Behandlung des Themas Lärm im Physikunterricht. NiU 1/80, S. 1–4.

## 8.7 Filme

Jean Pütz: Lärm, das Trauma der Hörenden. WDR-Fernsehreihe „Die Welt des Schalls“ (etwa 1972).

Ende offen „Wer weiß weiter“ (Arbeitsplatzgestaltung). WDR 30.5.1975.

Lärm – ein politischer Konflikt. Schwarz-weiß, 50 Minuten. Landesfilmdienst Niedersachsen.

Lärm – Umweltschutz. Farbig, 14 Minuten, Landesfilmdienst Niedersachsen.

Umweltbelastung durch Lärm. Institut für Film und Bild (FWU), geplant.

Wo einem das Hören vergeht – Lärm am Arbeitsplatz. Schwarz-weiß, 40 Minuten, Fernsehmitschnitt.

## 8.8 Adressen

Staatlich:

Bundeszentrale für politische Bildung, Berliner Freiheit 7, 5300 Bonn 1.

Der Bundesminister des Innern, Referat für Öffentlichkeitsarbeit, 5300 Bonn.

Umweltbundesamt, Bismarck-Platz 1, 1000 Berlin 33.

Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung (BAU), Vogelpothsweg 50–52, 4600 Dortmund 17.

(Die „Handlungsanleitungen für die Praxis“ und die „Forschungsberichte“ der BAU werden ausgeliefert über den Wirtschaftsverlag, Postfach 101110, 2850 Bremerhaven 1.)

Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen (MAGS), Orionplatz 1, 4000 Düsseldorf.

Der Senator für Gesundheit und Umweltschutz des Landes Bremen, Bahnhofsplatz 29, 2800 Bremen.

Der Senator für Gesundheit und Umweltschutz des Landes Berlin, An der Urania 12–14, 1000 Berlin 30.

Berufsgenossenschaften:

Süddeutsche Eisen- und Stahlberufsgenossenschaft, Arbeitskreis Betriebslärmbekämpfung, Hindenburgstraße 8, 6500 Mainz 1.

Hütten- und Walzwerks-Berufsgenossenschaft, Hoffnungsstraße 2, 4300 Essen 1.

VDI-Richtlinien und DIN-Normen können bezogen werden bei: Beuth-Verlag, Burggrafstraße 4–10, 1000 Berlin 30 und Kamekestraße 2–8, 5000 Köln 1.

Lärmschutz-Arbeitsblätter (LSA) und Lärmschutz-Informationsblätter (LSI) des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. sind zu beziehen bei: Carl Heymanns Verlag KG, Gereonstraße 18–32, 5000 Köln 1.

Firmen:

Bilsom International GmbH, Königstraße 45, 2400 Lübeck 1.  
Grünzweig und Hartmann, Postfach, 6700 Ludwigshafen/Rhein.  
Kaefer-Isoliertechnik, Postfach 855, 2800 Bremen 1.  
Schoeller und Co. KG, Postfach 662, 3400 Göttingen.  
Rigips, Postfach 1229, 3452 Bodenwerder.  
Opel AG, Postfach, 6090 Rüsselsheim.

## **8.9 Staatsexamensarbeiten während der Erprobung**

- R. Steinfeldt: Konstruktion eines Teilcurriculums „Lärm“ als Simulationsspiel. Examensarbeit, Bremen 1978.
- H.H. Küker, K. Wiczorek: Formative Evaluation einer Erprobung des Teilcurriculums Lärm als Simulationsspiel, Examensarbeit, Bremen 1979.

## Notizen