

Rainer Arndt

Erstellung eines Lösungskataloges zur Lärminderung in der Praxis

Diplomarbeit

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/> abrufbar.

Dieses Werk sowie alle darin enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsschutz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlanges. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen, Auswertungen durch Datenbanken und für die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronische Systeme. Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der fotomechanischen Wiedergabe (einschließlich Mikrokopie) sowie der Auswertung durch Datenbanken oder ähnliche Einrichtungen, vorbehalten.

Copyright © 1994 Diplom.de
ISBN: 9783832430221

Rainer Arndt

**Erstellung eines Lösungskataloges zur Lärminderung
in der Praxis**

Rainer Arndt

Erstellung eines Lösungskataloges zur Lärminderung in der Praxis

Diplomarbeit
an der Fachhochschule Düsseldorf
Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Oktober 1994 Abgabe



Diplomarbeiten Agentur
Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke
und Guido Meyer GbR

Hermannstal 119 k
22119 Hamburg

agentur@diplom.de
www.diplom.de

ID 3022

Arndt, Rainer: Erstellung eines Lösungskataloges zur Lärminderung in der Praxis /

Rainer Arndt - Hamburg: Diplomarbeiten Agentur, 2001

Zagl.: Düsseldorf, Fachhochschule, Diplom, 1994

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Die Informationen in diesem Werk wurden mit Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden, und die Diplomarbeiten Agentur, die Autoren oder Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für evtl. verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Dipl. Kfm. Dipl. HdI. Björn Bedey, Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke & Guido Meyer GbR
Diplomarbeiten Agentur, <http://www.diplom.de>, Hamburg 2001

Printed in Germany



Diplom.com

Wissensquellen gewinnbringend nutzen

Qualität, Praxisrelevanz und Aktualität zeichnen unsere Studien aus. Wir bieten Ihnen im Auftrag unserer Autorinnen und Autoren Wirtschaftsstudien und wissenschaftliche Abschlussarbeiten – Dissertationen, Diplomarbeiten, Masterarbeiten, Staatsexamensarbeiten und Studienarbeiten zum Kauf. Sie wurden an deutschen Universitäten, Fachhochschulen, Akademien oder vergleichbaren Institutionen der Europäischen Union geschrieben. Der Notendurchschnitt liegt bei 1,5.

Wettbewerbsvorteile verschaffen – Vergleichen Sie den Preis unserer Studien mit den Honoraren externer Berater. Um dieses Wissen selbst zusammenzutragen, müssten Sie viel Zeit und Geld aufbringen.

<http://www.diplom.de> bietet Ihnen unser vollständiges Lieferprogramm mit mehreren tausend Studien im Internet. Neben dem Online-Katalog und der Online-Suchmaschine für Ihre Recherche steht Ihnen auch eine Online-Bestellfunktion zur Verfügung. Inhaltliche Zusammenfassungen und Inhaltsverzeichnisse zu jeder Studie sind im Internet einsehbar.

Individueller Service – Gerne senden wir Ihnen auch unseren Papierkatalog zu. Bitte fordern Sie Ihr individuelles Exemplar bei uns an. Für Fragen, Anregungen und individuelle Anfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung. Wir freuen uns auf eine gute Zusammenarbeit.

Ihr Team der *Diplomarbeiten* Agentur

Diplomarbeiten Agentur

Dipl. Kfm. Dipl. Hdl. Björn Bedey –
Dipl. Wi.-Ing. Martin Haschke —
und Guido Meyer GbR —————

Hermannstal 119 k —————
22119 Hamburg —————

Fon: 040 / 655 99 20 —————
Fax: 040 / 655 99 222 —————

agentur@diplom.com —————
www.diplom.com —————

| | Seite: |
|-------|--|
| 1. | Einleitung 1 |
| 2. | Wichtige Vorschriften und Grenzwerte 6 |
| 2.1 | Definition und physikalische Grundlagen..... 6 |
| 2.2 | Grenzwerte..... 6 |
| 2.3 | Vorschriften..... 11 |
| 3. | Technische Grundlagen der Geräuschausbreitung 13 |
| 3.1 | Charakteristische Größen des Schalls..... 14 |
| 3.2 | Größen zur Kennzeichnung der Schallimmission 15 |
| 3.2.1 | Bewerteter Schalldruckpegel..... 16 |
| 3.3 | Größen zur Kennzeichnung der Schallemission..... 17 |
| 3.3.1 | Schalldruck an festgelegten Orten, Bedienplatz..... 18 |
| 3.4 | Schallwellen in Medien..... 19 |
| 3.4.1 | Schallwellen in Gasen und Flüssigkeiten..... 19 |
| 3.4.2 | Schallwellen in festen Körpern..... 20 |
| 3.5 | Schallausbreitung in Fabrikhallen (Räumen)...... 21 |
| 3.5.1 | Nachhallzeit..... 23 |
| 3.5.2 | Raumform..... 24 |
| 3.5.3 | Quellenanzahl..... 25 |
| 3.6 | Rechnerische Erfassung von Schallkomponenten..... 25 |
| 3.6.1 | Pegeladdition und Pegelsubtraktion..... 25 |
| 3.6.2 | Rechnen mit Quellen gleicher Schallintensität..... 27 |
| 3.6.3 | Rechnen mit unterschiedlichen Schallintensitäten..... 29 |
| 3.6.4 | Rechnen mit Fluchtentafeln..... 29 |
| 3.6.5 | Erfassung des Gesamtschallpegels kohärenter Quellen..... 31 |
| 3.6.6 | Rechenbeispiele aus der Praxis..... 31 |
| 3.6.7 | Umrechnen auf Bezugszeiten..... 31 |
| 4. | Auswirkung des Lärms auf den menschlichen Organismus 34 |
| 4.1 | Funktion und Aufbau des Organs Ohr..... 34 |
| 4.2 | Lärmwirkung..... 40 |
| 4.2.1 | Physiologische Wirkung..... 41 |
| 4.2.2 | Soziale und psychologische Wirkung..... 45 |
| 5. | Lärmmeßtechnik 48 |
| 5.1 | Größen und Begriffe..... 48 |
| 5.2 | Meßtechnik zur Realisierung des Lärmminderungsprogramm..... 53 |
| 5.3 | Geräuschemission von Maschinen..... 54 |
| 5.4 | Darstellung der Meßergebnisse..... 58 |
| 5.4.1 | Meßprotokoll..... 58 |
| 5.4.2 | Lärmkarten..... 59 |
| 5.4.3 | Lärmkataster..... 60 |
| 5.4.4 | Bestimmung des Beurteilungspegels..... 60 |
| 5.4.5 | Lärmminderungsprogramm..... 62 |

| | | |
|---------|--|------------|
| 6. | Beschreibung der Schallmeßgeräte..... | 63 |
| 6.1 | Schallpegelmesser..... | 63 |
| 6.1.1 | Zusätzliche Ausgabegeräte zur Bestimmung des Schallpegels..... | 64 |
| 6.2 | Integrierende Schallpegelmesser..... | 65 |
| 6.3 | Dosimeter..... | 66 |
| 6.4 | Normforderungen an integrierende Schallpegelmesser..... | 67 |
| 7. | Methoden der Lärmbekämpfung..... | 68 |
| 7.1 | Primäre Maßnahmen..... | 70 |
| 7.1.1 | Lärmarmes Konstruieren..... | 70 |
| 7.1.2 | Lärminderung an der Schallentstehungsstelle..... | 73 |
| 7.2 | Sekundäre Maßnahmen..... | 73 |
| 7.2.1 | Luftschalldämmung..... | 76 |
| 7.2.2 | Luftschalldämpfung..... | 78 |
| 7.2.3 | Schallschutz durch Kapseln..... | 80 |
| 7.2.4 | Körperschalldämmung..... | 84 |
| 7.2.5 | Körperschalldämpfung..... | 86 |
| 7.2.6 | Betrachtung von Dämmung und Dämpfung an einem praktischen Beispiel..... | 88 |
| 7.3 | Persönliche Schutzmaßnahmen..... | 90 |
| 7.4 | Probleme bei dem Einsatz der Gehörschützer und die Lösungsansätze..... | 96 |
| 8. | Spezielle Lärmprobleme in der Umwelt und deren Lärmschutzmaßnahmen..... | 98 |
| 8.1 | Straßenverkehrslärm..... | 98 |
| 8.1.1 | Planung von Verkehrswegen..... | 99 |
| 8.1.2 | Verkehrsregelung..... | 100 |
| 8.1.3 | Verminderung der Fahrgeräusche..... | 100 |
| 8.1.4 | Bauliche Schutzmaßnahmen..... | 102 |
| 8.1.4.1 | Erdwälle, Steilwall..... | 103 |
| 8.1.4.2 | Hoch b.z.w. Tieflage der Straße..... | 106 |
| 8.1.4.3 | Ebene Wände..... | 107 |
| 8.1.4.4 | Tunnel..... | 108 |
| 8.2 | Fluglärm..... | 109 |
| 8.3 | Schienenverkehrslärm..... | 110 |
| 8.4 | Wohn- und Freizeitlärm..... | 111 |
| 9. | Erstellung eines Lärmkatasters, Lärmkarte, Lärmmeßbericht zur Ermittlung der Geräuschimmission..... | 114 |
| 9.1 | Projektdurchführung..... | 116 |

| | | |
|---------------|---|-----|
| 10. | Vorschläge zur Geräuschmmissionsverringernng in den Produktionshallen..... | 129 |
| 10.1 | Analyse der Ist-Situation..... | 129 |
| 10.2 | Vorstellung möglicher Maßnahmen..... | 133 |
| 10.2.1 | Raumakustische Maßnahmen..... | 135 |
| 10.2.2 | Maßnahmen unmittelbar an den Schallquellen..... | 138 |
| 10.2.2.1 | Ausfügen mit Elektrode..... | 138 |
| 10.2.2.2 | Schleifen mit Winkelschleifer..... | 142 |
| 10.2.2.3 | Schweißen mit Schutzgas..... | 145 |
| 10.2.2.4 | Reinigen mit Pressluft..... | 147 |
| 10.2.2.5 | Richten und Positionieren von Blechen mit Hammer..... | 148 |
| 10.2.2.6 | Flammrichten mit Handbrenner..... | 151 |
| 10.2.2.7 | Befreien der Schweißnaht von Zunder mit pressluftbetriebenen Nadelhammer..... | 153 |
| 10.3 | Aussicht auf den möglichen Beurteilungspegel nach Durchführung der vorgeschlagenen Maßnahmen und ihrer Kombinationen..... | 154 |
| 10.4 | Notwendiger persönlicher Gehörschutz..... | 156 |
| 11. | Zusammenfassung..... | 157 |
| | Schrifttum, Bildquellen..... | 160 |
| | Glossar..... | 167 |
| Anhang | | |
| A: | Beispielsammlung von Arbeitseinrichtung, deren Schallemission im allge- meinen einen Beurteilungspegel von 90 dB(A) oder mehr bewirken kann... | 170 |
| B: | Repräsentativ ausgewählte Emittenten und ihre zulässigen Schallpegel..... | 172 |
| C: | Repräsentativ ausgewählte Betriebsarten und ihre zulässigen Schallpegel... | 173 |
| D: | Immissionsrichtwerte nach TA Lärm..... | 174 |
| E: | Richtwerte aus der Straßenverkehrsordnung (StVZO)..... | 175 |
| F: | Positivliste der Gehörschützer nach DIN 32760 (Nov.1991)..... | 176 |
| | Lösungskatalog zur Lärminderung in der Praxis..... | 179 |
| | Herstellerverzeichnis..... | 252 |
| | Grafiken dieser Arbeit..... | 257 |
| | Lärmkarten: Stahlbauhalle und Maschinenbauhalle..... | 269 |

1. Einleitung

Zu Beginn unserer Zeitrechnung war die Schwerhörigkeit ein Lebensumstand, deren der Mensch sich nicht erwehren konnte. Sie war angeboren oder durch Krankheit ein nicht auszuweichender Schicksalsschlag. Das gesunde Ohr konnte in der Regel nicht durch Umwelteinflüsse geschädigt werden. Erst als der Mensch anfang, mit Kräften zu arbeiten, die größer waren als seine Muskelkraft, wurde das Ohr Geräuschen ausgesetzt, denen es nicht ausweichen konnte. Es büßte seine Empfindlichkeit ein, und der Mensch konnte nicht mehr alles hören.

Lange Zeit wurde nichts gegen die Geräuschemissionen getan, *und während man noch zu Beginn unseres Jahrhunderts das laute Schlagen des Dampfhammers oder das Rasseln des mechanischen Webstuhles als Symbol für Kraft, Fortschritt und besseres Leben ansah, kennen wir heute die negativen Folgen dieser Entwicklung.*[4]

Ein Viertel der Bevölkerung fühlt sich heute in seiner Gesundheit durch Lärm gefährdet. Meinungsumfragen ergeben seit Jahren, daß sich in der BRD etwa die Hälfte der Bevölkerung durch Lärm belästigt fühlt. Bild 1.1 zeigt in Prozent den Anteil der gestörten Bürger, sortiert nach Lärmarten. Mehrfachmeldungen waren dabei möglich.

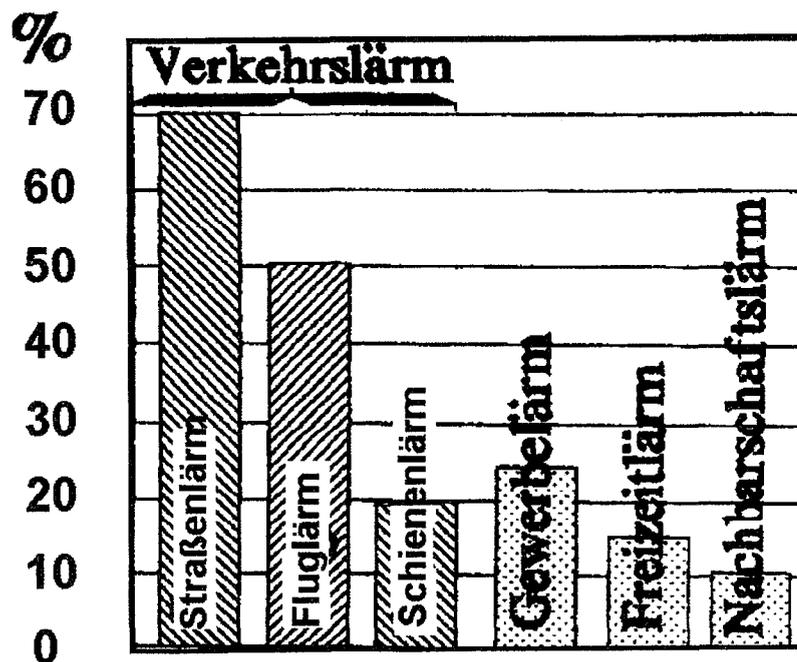


Bild 1.1 : % der gestörten Bürger, sortiert nach Lärmarten, mit Mehrfachmeldungen [21].

Derzeit arbeiten in Deutschland etwa 5 Mio. Beschäftigte bei gehörgefährdenden Lärm. Schwerhörigkeit macht etwa 50 % der Berufskrankheiten aus[21]. Bis 1990, vom Beginn der Erfassung durch die Statistische Abteilung der Berufsgenossenschaft (BIA) für Berufskrankheiten in Sankt Augustin, sind ca. 217.000 Verdachtsfälle bei den Berufsgenossenschaften registriert; von diesen sind in rund 27.000 Fällen so starke Schäden festgestellt worden, daß eine Rente gezahlt wird. In 1991 sind 9.484 und in 1992 sind 11.005 Verdachtsfälle hinzugekommen. Auch die Zahl der Rentenfälle ist auf 27.412 gestiegen, allein im Jahr 1992 sind 1.139 Rentenfälle hinzuzuzählen.[38]

Unterhält man sich mit diesen Menschen, stellt man fest, daß sie auf die Rente gerne verzichten würden, denn:

Lärmschwerhörigkeit ist eine lebenslange, unheilbare Krankheit.

Das folgende Bild 1.2 zeigt den Anstieg der Verdachtsfälle und Rentenfälle von 1975 bis 1990.

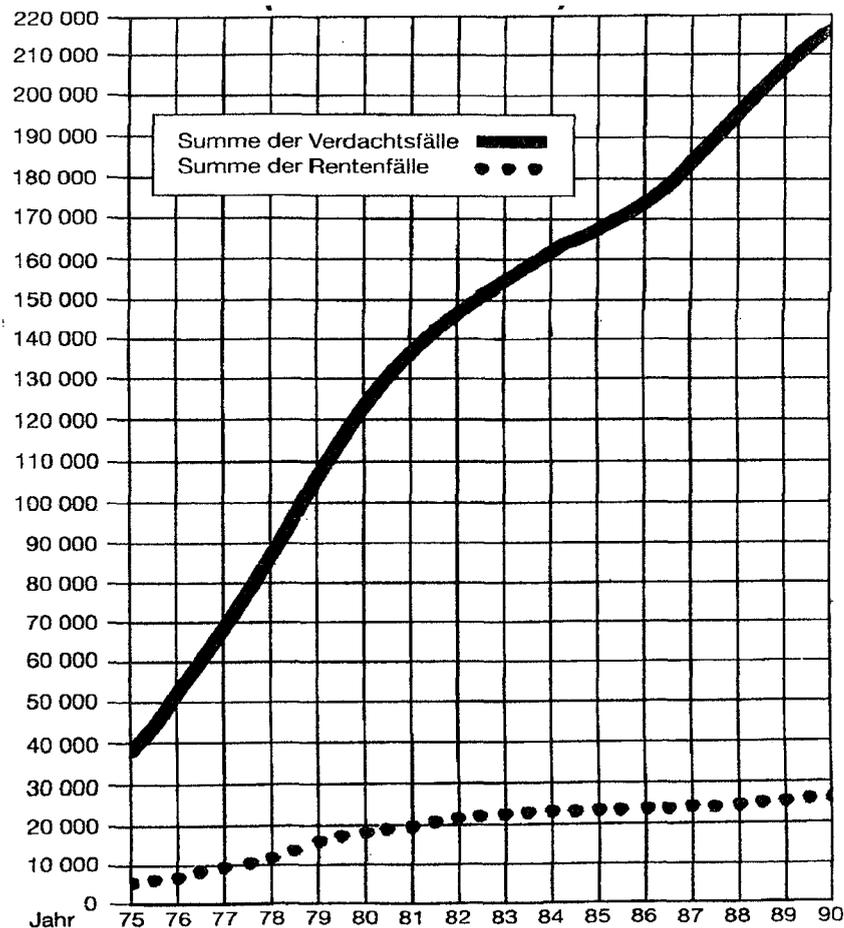


Bild 1.2: Berufskrankheit Lärmschwerhörigkeit [17]

Die erste konkrete Bestimmung für den Gehörschutz von Arbeitnehmern war 1970 die Arbeitsplatz-Lärmschutz-Richtlinie des Bundesministers für Arbeit und Sozialforschung, mit der VDI-Richtlinie 2058 Bl. 2 als Ausführungsanleitung. Sie ermächtigt die Gewerbeaufsicht, als Überwachungsbehörde dem Unternehmer bei Überschreiten des Beurteilungspegels L_r von 90 dB(A) Auflagen zu machen. 1974 folgt die *Unfall-Verhütungs-Vorschrift* „Lärm“ der Berufsgenossenschaften, eine Satzungsrechts-Vorschrift. Sie verpflichtet die BG-Mitgliedsbetriebe, Vorsorge zur Verhütung von Arbeitsunfällen zu treffen [21].

Nach der letzten Fassung der UVV „Lärm“ (VBG 121) vom 1. April 1991 ist der Unternehmer verpflichtet, bei Beschaffung neuer Arbeitsmittel, Auswahl der Arbeitsverfahren und Neugestaltung von Arbeitsräumen darauf zu achten, daß diese nach den fortschrittlichsten, in der Praxis bewährten Regeln der Lärminderungstechnik ausgelegt sind. Der Betreiber hat die im Unternehmen vorhandenen Lärmbereiche fachkundig zu ermitteln und deutlich zu kennzeichnen.[37].

In der Regel ist es einem Unternehmer nicht möglich, neue Arbeitsmittel zu beschaffen, die Produktionsstätte neuzugestalten oder das Arbeitsverfahren zu ändern, „nur um den Schallpegel um einige dB(A) zu senken“. Folglich müssen Maßnahmen ergriffen werden, die, ohne die oben genannten (Beschaffung neuer Arbeitsmittel usw.), auch zu einem befriedigenden Ergebnis führen.

Nach der **„Drei-Stufen-Methode der Sicherheitstechnik“** ist es die vordringlichste Aufgabe, den Lärm nicht entstehen zu lassen (unmittelbare Sicherheitstechnik). Kann man die Schallenstehung nicht abstellen, muß man ihn an seiner Ausbreitung hindern (mittelbare Sicherheitstechnik). Erst wenn auch diese Maßnahmen nicht zum Erfolg führen, kann man durch hinweisende Sicherheitstechnik (z.B. durch Hinweisschilder und Unterweisung der Beschäftigten) und durch Verwendung von persönlichen Schutzmaßnahmen (wie z.B. Gehörschutzkapseln) den Menschen vor Körperschäden schützen. Diese Aufgabe übernimmt meist die Sicherheitsfachkraft. Durch die Vielzahl der Aufgaben, die eine Sicherheitsfachkraft

innerhalb eines Betriebes zu lösen hat, ist es ihr nicht möglich, ein günstiges Kosten / Schallpegelsenkungs - Verhältnis zu erreichen.

Auf dem Markt gibt es zahlreiche Anbieter für Lärmschutzprodukte. Eine intensive Recherche zur besten Lösung der Lärminderungsproblematik scheitert am hohen Zeitaufwand. Ein Problemlösungskatalog kann Abhilfe bei der Suche und Auswahl der Lärminderungsmaßnahmen schaffen. Der Katalog muß Lärminderungs-lösungen anbieten, die ohne nennenswerten Kostenaufwand den Schallpegel unter den Grenzwert führen.

An einem praktischen Beispiel soll gezeigt werden, daß ein Katalog in der Praxis einsetzbar ist. Hierzu wurden die Produktionshallen einer großen Maschinenbaufirma ausgewählt. In einer Halle befindet sich der Stahlbau, in einer zweiten der Maschinenbau. Im Stahlbau werden die Baggerteile wie Schaufel, Aufbau, Unterbau und Baggerarmteile aus Blechen zugeschnitten, zusammengeschweißt und sonstige entsprechende Arbeiten ausgeführt. Die Montage der fertiggestellten Baggerteile, der Einbau der Steuerungshydraulik, der Elektrik und des Motors werden in der Maschinenbauhalle bewerkstelligt.

In den genannten Hallen werden Geräuschpegelmessungen durchgeführt, Lärmkataster erstellt und diesem entsprechend schließlich Lärmkarten entworfen, die die Lärmbereiche ausweisen. Der zusammengestellte Katalog soll letztendlich bei der Suche nach geeigneten Lösungen helfen.

Um eine möglichst große Vielfalt an Lösungen anbieten zu können, sind zahlreiche Firmen, welche Lärmschutzeinrichtungen herstellen, angeschrieben worden mit der Bitte, Informationen über ihre Produkte zu geben. Viele wissenschaftliche Publikationen beschäftigen sich mit der Lärminderung, so daß auch theoretische Problemlösungsansätze mit in den Katalog eingearbeitet werden konnten. Der Katalog kann und will nicht fertige Lösungen anbieten, vielmehr soll er Anstöße geben, eine technische Lösung des vorliegenden Problems zu finden.

Eine weitergehende Erläuterung des Katalogs folgt an geeigneter Stelle im Verlauf

der Arbeit. Den Abschluß der Arbeit bilden Vorschläge, die, aus dem Katalog entnommen, dazu beitragen sollen, die Belastung durch Lärm in den Produktionshallen der Baggerbaufirma zu verringern.

Eine Verbesserung der Gesamtsituation „Lärm“ ist allein mit der Bekämpfung des Gewerbelärms nicht zu erreichen. Dazu müssen auch in den Sektoren Verkehrslärm, Freizeitlärm und Nachbarschaftslärm geeignete Maßnahmen durchgeführt werden. In einem eigenen Kapitel werden ausgesuchte Möglichkeiten vorgestellt, die die Lärmbelastung außerhalb von Betrieben senken können.

Die vorliegende Arbeit soll ein weiterer Beitrag zur Humanisierung des Arbeitsplatzes sein und den Weg in eine bessere Umwelt zeigen.

2. Wichtige Vorschriften und Grenzwerte

2.1 Definition und physikalische Grundlagen

Zu Schwingung angeregte Körper (Körperschall) erzeugen in der umgebenden Luft periodische Druckschwankungen (Luftschall), die der Mensch als Geräusch zwischen etwa 16 und etwa 16.000 Hz wahrnimmt.

Schall pflanzt sich in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen wellenförmig fort. In Luft beträgt die Geschwindigkeit 331 m/s, bei 0°C, in flüssigen und festen Körpern ist sie wesentlich höher. [14]

Lärm ist gesundheitsschädlich, und damit ist es notwendig den Menschen vor einer schädigenden Dosis Lärm zu schützen. Mediziner und Akustiker haben gemeinsam Verfahren und Bedingungen zur Festlegung der Parameter entwickelt, die eine Aussage über die Art der Schädigung und die dafür verantwortlichen Bedingungen machen.

2.2 Grenzwerte

Die UVV „Lärm“ (VBG 121) schreibt nach §2 folgende Begriffsbestimmungen und Grenzwerte vor:

Lärmgefährdung im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift ist die Einwirkung von Lärm auf Versicherte die zur Beeinträchtigung der Gesundheit, insbesondere im Sinne einer Gehörgefährdung, führen kann oder zu einer erhöhten Unfallgefahr führt.

Werden Versicherte in Lärmbereichen beschäftigt, ist grundsätzlich die Gefahr einer Gehörschädigung gegeben. Während bei Beurteilungspegeln von 85 dB(A) bis 89 dB(A) Gehörschäden nur bei langandauernder Lärmbelastung auftreten können, nimmt bei Beurteilungspegeln von 90 dB(A) und mehr die Schädigungsgefahr deutlich zu. Bei Lärm mit Beurteilungspegeln von weniger als 85 dB(A) sind lärmbedingte Gehörschäden nicht wahrscheinlich. Siehe auch VDI-Richtlinie 2058 Blatt 2 "Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung".

Bleibende Hörminderungen als Vorstufe von Gehörschäden können dagegen auch

schon auftreten, wenn der Beurteilungspegel von 85 dB(A) geringfügig unterschritten wird. Gehörschäden sind bleibende Hörminderungen mit audiometrisch nachweisbaren Merkmalen eines Haarzellschadens, die bei 3 kHz 40 dB überschreiten. Bei extrem hohen Schalldruckpegeln von mehr als 140 dB (z.B. ein Knall, Explosionen) können Gehörschäden schon durch Einzelschallereignisse verursacht werden. Bei einem Aufenthalt von wesentlich weniger als 8 Stunden in Lärmbereichen sind Gehörschäden nicht zu erwarten, wenn folgende Bedingungen gleichzeitig erfüllt sind:

- * Der personenbezogene Beurteilungspegel unterschreitet 85 dB(A). Bei Einwirkung folgender Schalldruckpegel und Wirkzeiten wird ein Beurteilungspegel von 85 dB(A) bereits erreicht:

88 dB(A) ⇒ 4 Stunden

91 dB(A) ⇒ 2 Stunden

94 dB(A) ⇒ 1 Stunde

97 dB(A) ⇒ 30 Minuten

100 dB(A) ⇒ 15 Minuten

105 dB(A) ⇒ 4,8 Minuten

Aus dem Diagramm im nachfolgenden Bild 2.1 kann man ablesen, nach welcher Einwirkdauer eines Schallpegels ein Beurteilungspegel von 90 dB(A) erreicht ist. Man erkennt, wie schnell man in den gefährlichen Bereich kommt, in dem ausnahmslos Gehörschutz erforderlich ist.

- * Der ortsbezogene Beurteilungspegel im Lärmbereich unterschreitet 105 dB(A).
- * Der Höchstwert des nichtbewerteten Schalldruckpegels erreicht zu keiner Zeit 140 dB.
Dieser Schalldruckpegel wird z. B. mit einem Schallpegelmessgerät nach DIN IEC 651 in der Zeitbewertung "Peak" Frequenzbewertung "Lin" gemessen. Es kann auch davon ausgegangen werden, daß der nicht bewertete Schalldruckpegel 140 dB nicht erreicht wird, wenn der Höchstwert des A-bewerteten Schalldruckpegels, gemessen mit einem Schallpegelmessgerät (nach DIN IEC 651) in der Zeitbewertung "Impuls", nicht über 130 dB(A)

liegt (siehe auch Artikel 4 Abs. 1 der EG-Richtlinie 86/188/EWG vom 12. Mai 1986 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz).

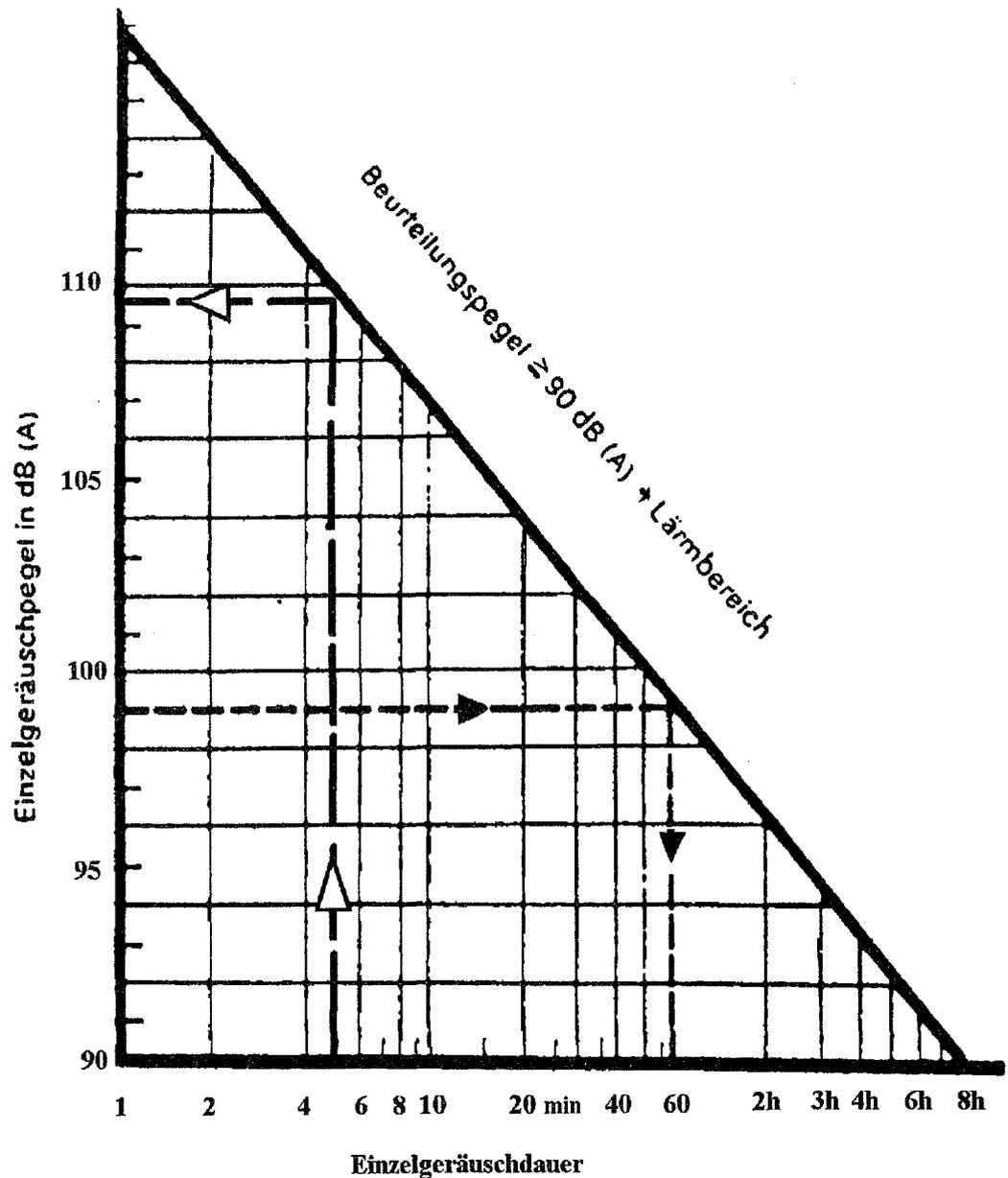


Bild 2.1 : Diagramm zur Bestimmung der Einzelgeräuschkdauer in Abhängigkeit des Einzelgeräuschpegels, um den Beurteilungspegel von 90 dB(A) nicht zu überschreiten

Lärm kann z. B. dann zu einer erhöhten Unfallgefahr führen, wenn durch Lärm eine Wahrnehmung akustischer Signale, Warnrufe oder gefahrkündigender Geräusche beeinträchtigt wird.

Der *Beurteilungspegel* im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift kennzeichnet die Wirkung eines Geräusches auf das Gehör. Er ist der Pegel eines achtstündigen konstanten Geräusches oder, bei zeitlich schwankendem Pegel, der diesem gleichgesetzte Pegel.

Lärmbereiche im Sinne dieser Unfallverhütungsvorschrift sind Bereiche, in denen Lärm auftritt, bei dem der ortsbezogene Beurteilungspegel 85 dB(A) oder der Höchstwert des nicht bewerteten Schalldruckpegels 140 dB erreicht oder überschreitet.

Lärmbereiche können auch ortsveränderlich sein, z. B. bei fahrbaren Maschinen, Fahrzeugen und tragbaren Arbeitsgeräten. Bei ortsveränderlichen Arbeitsplätzen, die nicht Lärmbereichen angehören, wird der personenbezogene Beurteilungspegel dem ortsbezogenen Beurteilungspegel im Lärmbereich gleichgesetzt.

Der personenbezogene Beurteilungspegel ist außer bei kurzzeitigem Aufenthalt in Lärmbereichen dann von Bedeutung, wenn z. B. bewegliche Lärmquellen kurzzeitig außerhalb von Lärmbereichen eingesetzt werden. Dies kommt in Betracht z. B. auf Baustellen oder bei der Verwendung von Handwerkzeugen und dergleichen.

In der „Arbeitsstättenverordnung“ § 15 und in der UVV „Lärm“ (VBG121) vom 1. April 1991 ist verbindlich festgelegt, welcher Beurteilungspegel während einer Tätigkeit oder in einem Raum vorliegen darf, um den Menschen nicht zu schädigen und in seinem Leistungsvermögen nicht einzuschränken. Bild 2.2 zeigt die Tätigkeitsfelder mit den dazugehörigen Grenzwerten.

| Beurteilungspegel $L_{Aeq,8h}$ in dB(A) | Tätigkeiten / Räume |
|--|--|
| 55 | Überwiegend geistige Tätigkeiten, z.B.: tech. -wissenschaftl. Arbeiten, Arbeiten in Funkzentralen, Entwerfen, Übersetzen, Korrigieren schwieriger Texte, aber auch in Pausen-, Bereitschafts-, Liege- und Sanitätsräumen |
| 70 | Einfache oder überwiegend mechanisierte Bürotätigkeit, z.B.: Buchen, Disponieren, Datenerfassung, Verkaufen, Arbeiten im Meisterbüro, Arbeiten an Büromaschinen |
| 85 | Sonstige Tätigkeit |
| 90 | Wenn 85 dB nach der betrieblich möglichen Lärminderung zumutbarerweise nicht einzuhalten sind |

Bild 2.2: Immissionsgrenzwerte nach § 15 „Arbeitsstättenverordnung“

Das nachfolgende Bild 2.3 gibt einige typische Schallpegel wieder. Es zeigt, daß diese Grenzwerte in Produktionsstätten und außerhalb dieser schnell erreicht und überschritten werden können.

| Für das Gehör ungefährliche Schallpegel: | |
|--|--|
| 0 dB(A) | <i>Nicht zu hören = Hörschwelle</i> |
| ca.30 dB(A) | Flüstern |
| ca. 40 dB(A) | Leise Radiomusik |
| ca. 60 dB(A) | Normales Gespräch |
| ca. 75 dB(A) | PKW |
| ca. 80 dB(A) | Starker Straßenverkehr |
| Auf Dauer gehörschädigende Schallpegel: | |
| 80 - 85 dB(A) | Bohrschrauber |
| 85 - 90 dB(A) | Schwere Erdbaumaschine <i>= Grenze der Gehörschädlichkeit</i> |
| 90 - 100 dB(A) | Rüttelverdichtung beim Betonieren im Betonwerk |
| 95 - 105 dB(A) | Steinsäge |
| 95 - 100 dB(A) | Baukreissägemaschine |
| 95 - 100 dB(A) | Winkelschleifmaschine |
| 100 - 110 dB(A) | Strahlarbeiten |
| 105 - 110 dB(A) | Fräsmaschine |
| 105 -110 dB(A) | Drucklufthammer |
| Unmittelbar gehörschädigende Schallpegel: | |
| 100 - 120 dB(A) | Hochdruckflüssigkeitsstrahlen |
| 110 - 120 dB(A) | Richtarbeiten in Behältern |
| ca. 140 dB(A) | Flugzeugstart |
| ca.160 dB(A) | Geschützknall |

Bild 2.3 : Typische Schallpegel [49]

Im Anhang A ist eine Beispielsammlung von Arbeitseinrichtungen zu finden, deren Schallemission im allgemeinen einen Beurteilungspegel von 90 dB(A) oder mehr bewirken können.

Die UVV „Lärm“ (VBG 121) in §§ 7,8 schreibt vor, daß der Unternehmer bei Verdacht einer Gefährdung durch Lärm eine fachkundige Schallpegelmessung durchführt. Im Fall einer Überschreitung der Grenzwerte sind geeignete Maßnahmen vorzunehmen.

Um eine geregelte, vergleichbare Lärmmessung und eine sinnvolle Durchführung von Maßnahmen zur Lärmreduzierung zu gewährleisten, sind u.a. folgende Verordnungen, Richtlinien, Gesetze und Normen erarbeitet worden.

2.3 Vorschriften

Verschiedenste Schriften sind von vielen Einrichtungen herausgegeben worden. Alle haben zum Ziel, die Lärmexposition auf ein verträgliches Maß zu reduzieren.

Unfallverhütungsvorschriften:

- * UVV „Allgemeine Vorschriften“ (VBG 1)
- * UVV „Lärm“ (VBG 121)
- * UVV „Arbeitsmedizinische Vorsorge (VBG 100)

Staatliche Verordnungen

- * „Arbeitsstättenverordnung“ (ArbStättV)
- * „Technische Anleitung zu Schutz gegen Lärm“ (TA Lärm)
- * „Maschinenlärminformations-Verordnung“ (3.GSGV)

EG- Lärmschutzrichtlinie

- * Richtlinie des Rates über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Lärm am Arbeitsplatz

Berufsgenossenschaftliche Lärmschutz- Arbeitsblätter (LSA),

Berufsgenossenschaftliche Lärmschutz- Informationsblätter (LSI)

Berufsgenossenschaftliche Merkblätter

DIN- Normen

- * DIN 1318 Lautstärkepegel; Begriffe, Meßverfahren
- * DIN 1320 Akustik; Grundbegriffe
- * DIN 45630 Grundlagen der Schallmessung
- * DIN 45631 Berechnung des Lautstärkepegels und der Lautheit aus dem Geräuschspektrum
- * DIN 45635 Geräuschmessung an Maschinen; Luftschallmessung, Hüllflächen-Verfahren
- * DIN 45641 Mittelung von Schallpegeln
- * DIN 45645 Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschimmissionen
- * E DIN45649 Akustik; Nachprüfbare Geräuschemissionsangaben für Maschinen; Einwertangaben
- * DIN ISO 4869 Akustik; Messung der Schalldämmung von Gehörschützern; subjektive Methode
- * DIN ICE 651 Schallpegelmesser
- * DIN ICE 804 Integrierende mittelwertbildende Schallpegelmesser

VDI- Richtlinien

- * VDI 2058 Bl.2 Beurteilung von Lärm hinsichtlich Gehörgefährdung
Bl.3 Beurteilung von Lärm am Arbeitsplatz unter Berücksichtigung unterschiedlicher Tätigkeit
 - * VDI 2159 Emissionskennwerte technischer Schallquellen; Getriebeegeräusche
 - * VDI 2560 Persönlicher Schallschutz
 - * VDI 2570 Lärminderung in Betrieben; Allgemeine Grundlagen
 - * VDI 3720 Lärmarm konstruieren; Allgemeine Grundlagen
 - * VDI 3727 Schallschutz durch Körperschalldämpfung; Physikalische Grundlagen und Abschätzungsverfahren
 - * VDI 3800 Kostenermittlung für Anlagen und Maßnahmen zur Emissionsminderung
-

3. Technische Grundlagen der Geräusentwicklung

Das menschliche Gehör erzeugt im Gehirn einen Sinneseindruck, wenn es von mechanischen Wellen mit Frequenzen zwischen 16 Hz und 20 kHz erregt wird. Diesen Sinneseindruck nennt man Schall und die erregenden Wellen Schallwellen. In Erweiterung des Begriffs Schall nennt man mechanische Schwingungen unterhalb 16Hz *Infraschall*, oberhalb 20 kHz *Ultraschall*.

Wir unterscheiden bei dem Sinneseindruck Schall außerdem noch die Empfindung der *Tonhöhe* und die der *Lautstärke*. Die Tonhöhe ist direkt von der Frequenz der erregenden Schallquelle, die Lautstärke von ihrer Intensität abhängig. [32]

Das anschließende Bild 3.1 veranschaulicht den Frequenzumfang des menschlichen Gehörs. Über der Frequenzachse ist die Repräsentation der Töne entsprechend einer Klaviertastatur und im Notenbild dargestellt. Der gesamte Hörbereich ist in 10 Unterbereiche eingeteilt. Jeder dieser Bereiche umfaßt eine Oktave. Dieser Begriff stammt aus der Musik und besagt, daß an der oberen Bereichsgrenze die Frequenz doppelt so hoch liegt wie an der unteren, z.B. 1600 Hz bis 3200Hz. Nach dem mittleren Ton des Bereiches wird die Oktave benannt. Jede Oktave wird in drei Terzbereiche unterteilt. Die obere Terzgrenze beträgt das ca. 1,26-Fache der unteren Grenze. [18]

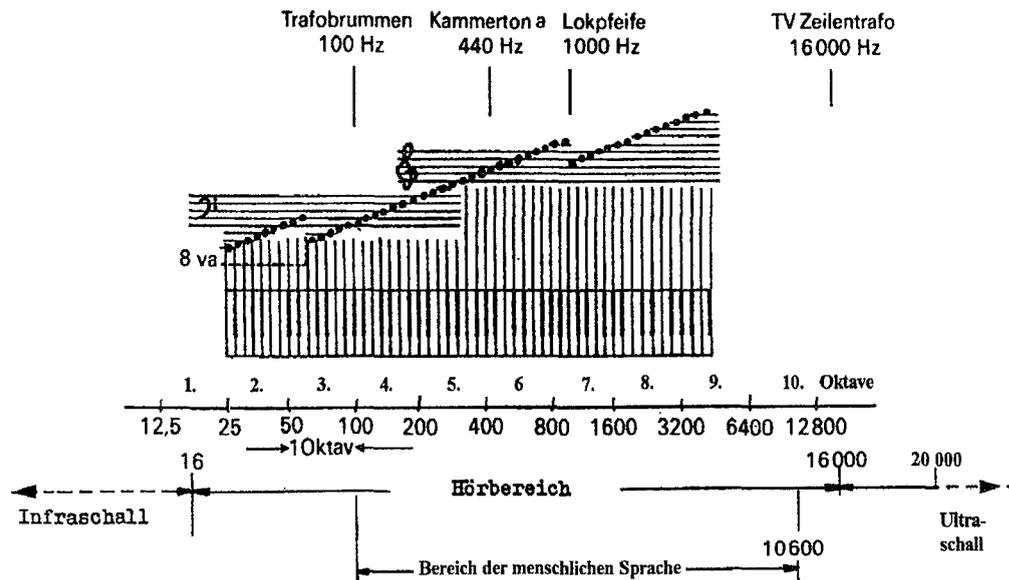


Bild 3.1: Darstellung des menschlichen Hörbereichs auf einem Frequenzband, einer Klaviertastatur und einem Notenblatt [3]

3.1 Charakteristische Größen des Schalls

Ein mit Materie (z.B. Luft) gefüllter Raum, in dem sich Schall ausbreitet, bezeichnet man als Schallfeld. Das Auftreten von Schallwellen ist durch räumliche und zeitliche Schwankungen der Mediumsdichte gekennzeichnet. Zur quantitativen Beschreibung eines Schallfeldes gibt man die örtliche und zeitliche Verteilung des *Schalldruckes* oder der *Schallschnelle* an. Diese Größen werden daher als Schallfeldgrößen bezeichnet [10].

Der Schalldruck ist ein Wechseldruck, der als Mittelwert den momentanen Luftdruck p_0 hat. Um diesen Mittelwert ändert sich der Luftdruck periodisch. Bild 3.2 zeigt eine Momentandarstellung von dem Schallauschlag K , dem Schalldruck p und der Schallschnelle v in einer ebenen fortschreitenden Schallwelle. Die Ordinate hat die Einheit des Druckes $N\ m^{-2}$ und die Abszisse die Einheit der Zeit t . Die Abszisse kreuzt dabei die Ordinate in dem Punkt des momentanen Luftdruckwertes p_0 . Die Schallschnelle ist die Geschwindigkeit, mit der die Mediumsteilchen um ihre Ruhelage schwingen (in Bild 3.2 nur quantitativ dargestellt). Die Zahl der Schwingungen pro Sekunde wird in Herz (*Hz*) angegeben und als *Frequenz* (f) bezeichnet.

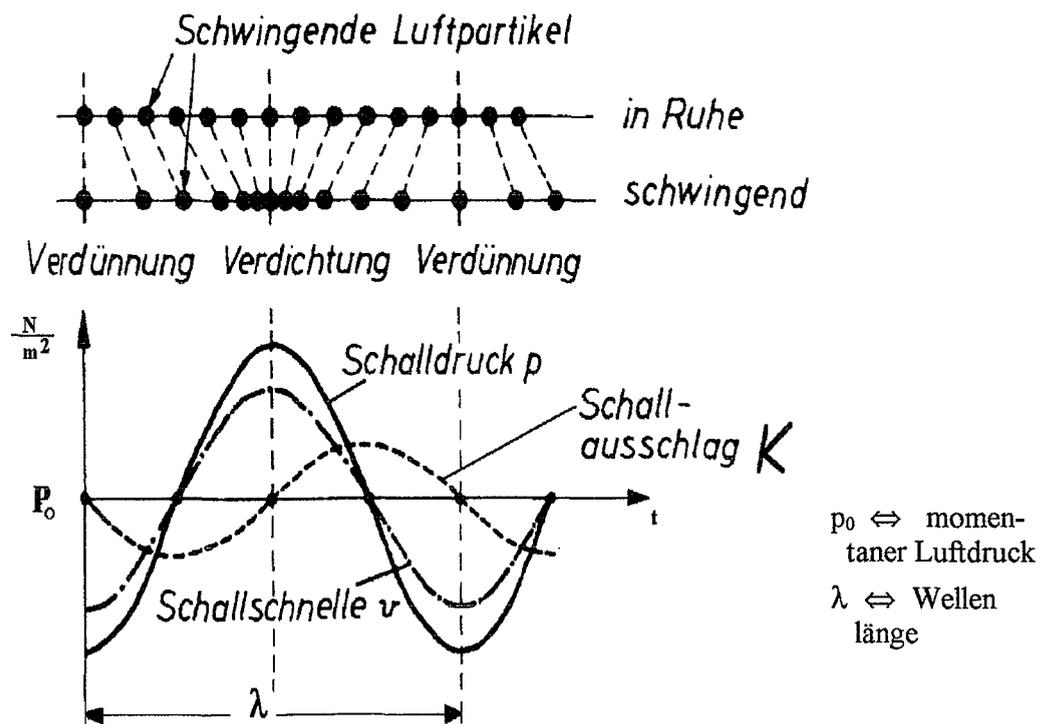


Bild 3.2: Momentandarstellung einer Schwingung [10]

Die *Schallintensität* I ist ein Maß für Leistung, die durch die Einheit einer senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung stehende Fläche hindurchtritt. Die Leistung wird in Watt gemessen. Die Schallintensität erhält so die Einheit Wm^{-2} . Bild 3.3 zeigt eine 1m^2 große Fläche durch die eine Schalleistung von 1 Watt tritt. Diese Schalleistung wird von einer Schallquelle, die sich im Abstand r zur Fläche befindet, abgestrahlt. Die Schallintensität beträgt 1Wm^{-2} [8].

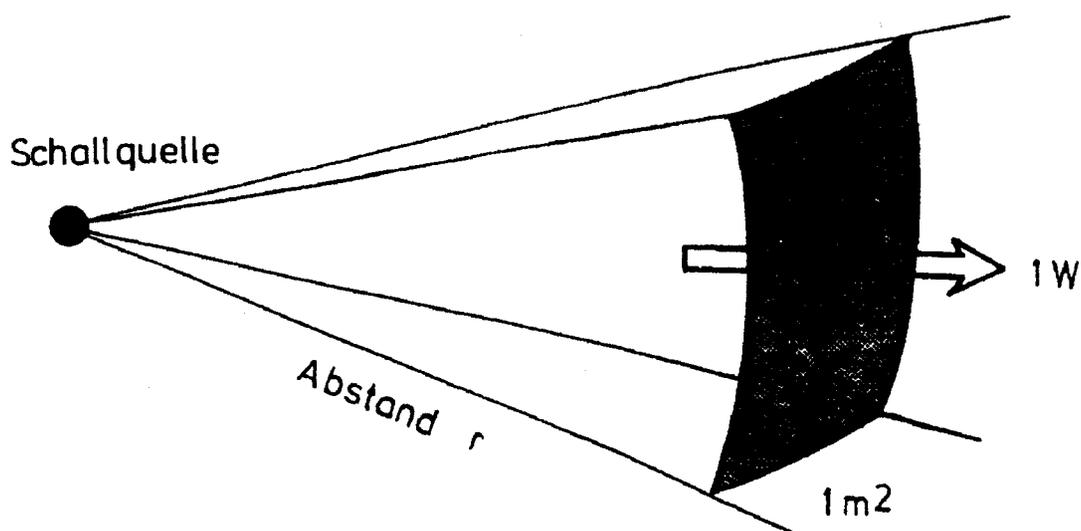


Bild 3.3: grafische Darstellung der Schallintensität [8]

Die von der Schallquelle abgestrahlte Schalleistung durchsetzt eine sich ständig vergrößernde Kugelfläche, so daß die Schallintensität I in dem Maße abfällt, wie die Fläche anwächst.[2]. Diese Erscheinung wird *sphärische Divergenz* genannt.

3.2 Größen zur Kennzeichnung der Schallimmission

Bei einer Schallmessung in einem Betrieb soll das Gehörschadensrisiko an einem bestimmten Ort ermittelt werden. Nur die Summe der Schallpegel ist von Relevanz. Man führt Schallimmissionsgrößen ein, um vergleichbare Werte am Immissionsort zu erhalten.

Da das menschliche Ohr Schallvorgänge in einem großen Intensitätsbereich aufnehmen kann, würde man mit bis zu 6 Zehnerpotenzen rechnen müssen. Meßtechnisch interessieren auch noch etwas höhere Bereiche, z.B. bei der Untersuchung von Düsentriebwerken in geringer Entfernung, so daß das Umgehen mit solch großen Zahlenbereichen unbequem wird. In Wissenschaft und Technik gibt

man deshalb solche Größen oft im logarithmischen Maß an und spricht dann von "Pegeln", Formelzeichen L , angegeben in dB (*Dezibel*). Nach DIN 5493 sind Pegel logarithmierte Größen-Verhältnisse. Dies können Energie-Verhältnisse, z.B. Schalleistungen oder Intensitäten sein, oder es handelt sich um Feldgrößen-Verhältnisse, z.B. Schalldrucke oder Schnellen. Energie- und Feldgrößen stehen in quadratischem Verhältnis zueinander. "Absolute Pegel" erhält man, wenn im Nenner des Verhältnisses eine vereinbarte Bezugsgröße verwendet wird. Obwohl dimensionslos, werden absolute Pegel wie physikalische Größen benutzt, weil jeder Pegel mit der Bezugsgröße in eine zugeschnittene Größe (Zahlenwert mal Einheit) überführbar ist. Pegel kommen jedoch nicht im SI vor[21].

| | | | | | | |
|----------|-------------------|--|---------------------|---|----------|-----------------|
| L [dB] | = | $10 \lg$ | $\frac{p^2}{p_0^2}$ | = | $10 \lg$ | $\frac{I}{I_0}$ |
| p | \Leftrightarrow | Schalldruck | | | | |
| p_0^2 | \Leftrightarrow | Bezugsschalldruck = $20 \mu\text{Pa}$ | | | | |
| I | \Leftrightarrow | Schallintensität | | | | |
| I_0 | \Leftrightarrow | Bezugsschallintensität = 10^{-12}Wm^{-2} | | | | |
| [2] | | | | | | |

3.2.1 Bewerteter Schalldruckpegel

Das menschliche Ohr nimmt Töne unterschiedlicher Frequenzhöhen verschieden wahr. Würde man nur mit dem Schalldruckpegel rechnen und bewerten, wäre es kein auf das menschliche Ohr abgestimmtes Ergebnis. Das Ohr dämpft selbst je nach Frequenz.

Beispiel:

Setzt man 2.000 Hertz auf eine Nulllinie, so würde man einen Ton bei gleichem Schalldruckpegel mit 200 Hertz etwa 10 dB gedämpfter wahrnehmen. Um dieses auszugleichen, werden Filter benutzt. Es gibt A-, B-, C- und D- Filter. Für den Menschen wird ausschließlich der A- Filter genutzt. Er stellt ein ungefähres Maß für die vom Menschen empfundene Lautstärke dar. Bild 3.4 zeigt ein Diagramm, welches