

LIS - Berichte

Nr. 67

Hinweise zur Prognose
von Geräuschemissionen
im Rahmen von
Genehmigungsverfahren

nach dem Bundes-Immissions-
schutzgesetz

Herausgeber:

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Straße 6

D-4300 Essen 1

1986

ISSN 0720-8499

Hinweise zur Prognose von Geräuschemissionen
im Rahmen von Genehmigungsverfahren
nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz

Dr. Jürgen Assmann

Vorarbeiten zu diesem Bericht wurden im Rahmen einer Arbeitsgruppe geleistet, an der folgende Herren teilgenommen haben:

Dipl.-Ing. D. KRANE, Dipl.-Ing. L. HERTL,
Dipl.- Ing. K.-A. ROHLEDER vom Ministerium für Umwelt,
Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW sowie

Dipl.-Phys. E. HERPERTZ, Dipl.-Ing. K.H. Goldberg,
Dipl.- Ing. R. HILLEN, Dipl.-Ing. D. PIORR, Dipl.-Ing.
H. STRAUCH von der LIS.

Der Verfasser dankt den genannten Herren für ihre Beiträge und Hinweise zu diesem Thema.

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung

Summary

1. Einleitung	9
2. Aufgabe von Immissionsprognosen im Genehmigungsverfahren	10
3. Allgemeine Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen	11
3.1. Aufbau von Immissionsprognosen	11
3.2. Ausbreitungsmodell	11
3.3. Beurteilungssystem	14
3.4. Überschlägige Rechnung	15
4. Hinweise zur Erstellung und Überprüfung von Geräuschimmissionsprognosen	16
4.1. Quellenbezogene Daten	16
4.2. Berechnung des Immissionspegels	23
4.2.1. Schallquellen in Gebäuden	23
4.2.1.1. Ermittlung des Schalldruckpegels im Raum	23
4.2.1.2. Berechnung des nach außen abgestrahlten Schalls	27
4.2.2. Ausbreitungsrechnung	31
4.2.2.1. Raumwinkelmaß, Richtwirkungsmaß	32
4.2.2.2. Abstandsmaß	37
4.2.2.3. Luftabsorptionsmaß	40
4.2.2.4. Bodendämpfungsmaß	42
4.2.2.5. Witterungsdämpfungsmaß, Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß	47
4.2.2.6. Bebauungsdämpfungsmaß	53
4.2.2.7. Bewuchsdämpfungsmaß	59
4.2.2.8. Abschirmmaß, Einfügungsdämpfungsmaß	64
4.3. Berechnung des Beurteilungspegel	71
5. Sicherheit von Prognoserechnungen	76
6. Überschlägige Rechnung	79
Anhang A : Ermittlung der Immissionsanteile	81
Anhang B : Prognosebeispiel	85
Anhang C : Literaturverzeichnis zur Schallemission technischer Anlagen	93

HINWEISE ZUR PROGNOSE VON GERÄUSCHIMMISSIONEN IM RAHMEN VON GENEHMIGUNGSVERFAHREN NACH DEM BUNDES-
IMMISSIONSSCHUTZGESETZ

Dr. Jürgen Assmann

Z u s a m m e n f a s s u n g

Bei der Errichtung neuer Anlagen muß sichergestellt sein, daß schädliche Umwelteinwirkungen - u.a. auch durch Geräusche - für die Allgemeinheit und für die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Im Genehmigungsantrag sind die entsprechenden Angaben zu machen. Falls erforderlich, ist eine Geräuschimmissionsprognose zu erstellen. Vorschriften zum dabei zugrunde zu legenden Prognoseverfahren gibt es jedoch nicht. In der Genehmigungspraxis hat sich zwar weitgehend eine einheitliche Vorgehensweise bei der Erstellung von Immissionsprognosen durchgesetzt; im Detail ergeben sich jedoch noch offene Fragen, die unterschiedlich behandelt werden. Der vorliegende Bericht erläutert die Grundzüge von Geräuschimmissionsprognosen und enthält eine Anleitung zur Überprüfung vorgelegter Prognoserechnungen. Hiermit wird insbesondere für die Bearbeiter aus dem Bereich der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden eine Einführung in die Problematik gegeben. Weiter ist mit diesen Hinweisen beabsichtigt, eine einheitliche Vorgehensweise bei der Überprüfung von Geräuschprognosen im Rahmen von Genehmigungsverfahren zu ermöglichen.

S u m m a r y

Before constructing new plants proof must be presented that no harmful effects caused among others by noise ensue for the neighborhood. Any application for a plant operating license must include data on the environmental effects. If necessary the resultant ambient noise levels must be predicted. However, no instructions exist concerning the prediction method to be used. Although a largely standardized prediction method for noise levels evolved, there are open questions concerning details which are still approached differently. The current report explains the basic principles of noise level predictions and contains instructions on examining presented calculations. The purpose is to familiarize particularly the officials of the licensing and inspection agencies with the problems involved. Moreover, it is attempted to standardize the examination process of noise forecasts submitted for obtaining plant operation licenses.

1. Einleitung

Nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz bedürfen Anlagen, die aufgrund ihrer Beschaffenheit oder ihres Betriebs in besonderem Maße geeignet sind, die Umwelt zu belasten, einer Genehmigung. Diese Genehmigung darf nur erteilt werden, wenn sichergestellt ist, daß schädliche Umwelteinwirkungen - und hierzu zählen auch Geräusche - für die Allgemeinheit und für die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Im Genehmigungsantrag sind die erforderlichen Angaben, die die Genehmigungsvoraussetzungen belegen, zu machen.

Zur Konkretisierung, wann schädliche Umwelteinwirkungen durch Geräusche vorliegen, sind die Immissionsrichtwerte der TA Lärm heranzuziehen. Außerdem schreibt die TA Lärm vor, wie die Geräusche zu ermitteln und zu beurteilen sind. Jedoch enthält sie keine Vorschriften, wie im Genehmigungsverfahren, also vor Errichtung oder Änderung der Anlage, die zu erwartenden Geräuschimmissionen vorhergesagt werden können.

In der Genehmigungspraxis hat sich weitgehend eine einheitliche Vorgehensweise bei der Erstellung von Immissionsprognosen durchgesetzt, wobei sich jedoch im Detail offene Fragen ergeben, die je nach Erkenntnisstand oder je nach Einstellung der Beteiligten unterschiedlich behandelt werden.

Der vorliegende Bericht erläutert die Grundzüge von Geräuschimmissionsprognosen und enthält eine Anleitung zur Überprüfung vorgelegter Prognoserechnungen, um insbesondere für die Bearbeiter aus dem Bereich der Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden eine Einführung in die Problematik zu geben und eine einheitliche Vorgehensweise bei der Überprüfung von Geräuschprognosen im Rahmen von Genehmigungsverfahren zu ermöglichen. Dabei erfolgen zunächst einige allgemeine Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen. Daran anschließend wird detaillierter auf die Erstellung und Überprüfung von Geräuschimmissionsprognosen eingegangen, wobei die einzelnen Abschnitte jeweils in folgende Teile gegliedert sind:

- a) Erläuterung der grundlegenden Begriffe und Formeln,
- b) Übersicht der wissenschaftlichen Literatur, um den gegenwärtigen Kenntnisstand zu den angesprochenen Punkten zu skizzieren und die Möglichkeit zu geben, weitergehenden Fragen gezielt nachzugehen,
- c) Angaben von Prüfpunkten zur Überprüfung von Prognoserechnungen durch die Genehmigungs-

Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I, S. 721, 1193), zuletzt geändert durch Gesetz vom 04.10.1985 (BGBl. I, S. 1950).

Allgemeine Verwaltungsvorschrift über genehmigungsbedürftige Anlagen nach § 16 der Gewerbeordnung - GewO
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), Allg. Verw. Vorschr. der BReg vom 16. Juli 1968, Bundesanzeiger, Nr. 137 vom 26. Juli 1968 (Beilage).

und Aufsichtsbehörden.

Im Anhang A und B zu diesem Bericht wird auf die Ermittlung von Immissionsanteilen eingegangen und ein Beispiel einer Geräuschimmissionsprognose gegeben. Anhang C enthält für eine Reihe technischer Schallquellen Literaturhinweise zur Schallemission.

Der vorliegende Bericht behandelt nur den Fall der Luftschallübertragung, bei der die Übertragung des Schalls hauptsächlich durch die Luft stattfindet - im Gegensatz zur Körperschallübertragung mit der Übertragung des Schalls durch eine akustisch wirksame Verbindung über einen festen oder flüssigen Körper zwischen der Schallquelle und dem Immissionsort. Da es zur Zeit noch kein allgemein anwendbares Prognosemodell bei Körperschallübertragung gibt, wird dieses Gebiet hier nicht weiter behandelt.

2. Aufgabe von Immissionsprognosen im Genehmigungsverfahren

In den "Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz" wird in Abschnitt 3.6.1. folgende Begründung für das Erstellen einer Immissionsprognose genannt: "Um die Genehmigungsvoraussetzungen nach § 6 Nr. 1 in Verbindung mit § 5 Nr. 1 des BImSchG prüfen zu können, muß die Genehmigungsbehörde die bestehende Immissionsbelastung und den voraussichtlichen Immissionsbeitrag der zu errichtenden Anlage soweit kennen, daß die Möglichkeit einer Überschreitung von Immissionswerten sicher beurteilt werden kann".

Speziell für den Bereich des Lärms heißt es in Abschnitt 3.6.3.1: "Hinsichtlich der Einwirkungen durch Lärm ist eine Immissionsprognose (vorhandene Immissionen und durch den Betrieb der Anlage zu erwartende zusätzliche Immissionen) erforderlich, wenn aufgrund einer überschlägigen Rechnung eine Überschreitung der in der TA Lärm genannten Immissionswerte durch den Betrieb einer Anlage nicht ausgeschlossen werden kann".

Das Ziel der Immissionsprognose ist also, der Genehmigungsbehörde die erforderlichen Unterlagen zu geben, um "sicher beurteilen zu können, ob die Möglichkeit einer Überschreitung von Immissionswerten besteht", wobei für Geräusche als Immissionswerte die Werte gelten, die in der TA Lärm in Abhängigkeit von der Tageszeit und von der baulichen Nutzung aufgeführt sind.

Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz

Gem. RdErl. des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales - III R - 80001.7 (III Nr. 36/75) -, d. Innenministers V A 4 - 850.01 und des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr - Z/B 3 - 81-2.22 - vom 21.11.1975, SMBl. NW, S. 7130, 21.11.1975, MBl. NW, S. 2216, 06.12.1977, MBl. NW, S. 2034, 06.09.1982, MBl. NW, S. 1562, 18.08.1981, MBl. NW, S. 1724, 10.07.1986, MBl. NW, S. 1110.

3. Allgemeine Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen

Immissionsprognosen werden im Rahmen bestimmter Modellvorstellungen durchgeführt. Die dabei zu beachtenden Vorschriften dienen auch als Maßstab für die Überprüfung vorgelegter Prognosen.

Im folgenden werden zur Übersicht einige allgemeine Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen gegeben; detailliertere Ausführungen enthält Kapitel 4.

3.1. Aufbau von Immissionsprognosen

Mit Hilfe einer Immissionsprognose soll die Geräuschimmissionsbelastung durch die geplante Anlage und durch bereits vorhandene oder noch geplante andere Anlagen (Vorbelastung) örtlich und zeitlich differenziert ermittelt werden. Abb. 1 zeigt die Strukturen von Geräuschimmissionsprognosen im Rahmen von Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.

Die Berechnung des Immissionspegels, den die zu untersuchenden Schallquellen hervorrufen, erfolgt im Rahmen eines Ausbreitungsmodells. Eingangsdaten sind solche Größen, die die akustischen Eigenschaften der Quellen - Emissionsdaten - und den Einfluß auf die Schallausbreitung - Transmissionsdaten - beschreiben. Die Art dieser Daten wird durch das Ausbreitungsmodell und die Forderungen und Randbedingungen des Beurteilungssystems, hier der TA Lärm, vorgegeben.

Der Immissionspegel bildet den Ausgangspunkt einer Beurteilung nach der TA Lärm, stellt jedoch noch nicht die eigentliche Beurteilungsgröße dar. Vielmehr wird unter Berücksichtigung der Forderungen des Beurteilungssystems schließlich der Beurteilungspegel ermittelt, der aus dem Vergleich mit den Immissionsrichtwerten der TA Lärm eine Entscheidung über die Genehmigungsfähigkeit der betreffenden Anlage aus akustischer Sicht ermöglicht.

3.2. Ausbreitungsmodell

Das Ausbreitungsmodell stellt einen zentralen Punkt in der Immissionsprognose dar. Danach richtet sich die Entscheidung, welche Daten in welcher Form zur Verfügung stehen müssen.

Der Schallpegel an einem Immissionsort hängt von der

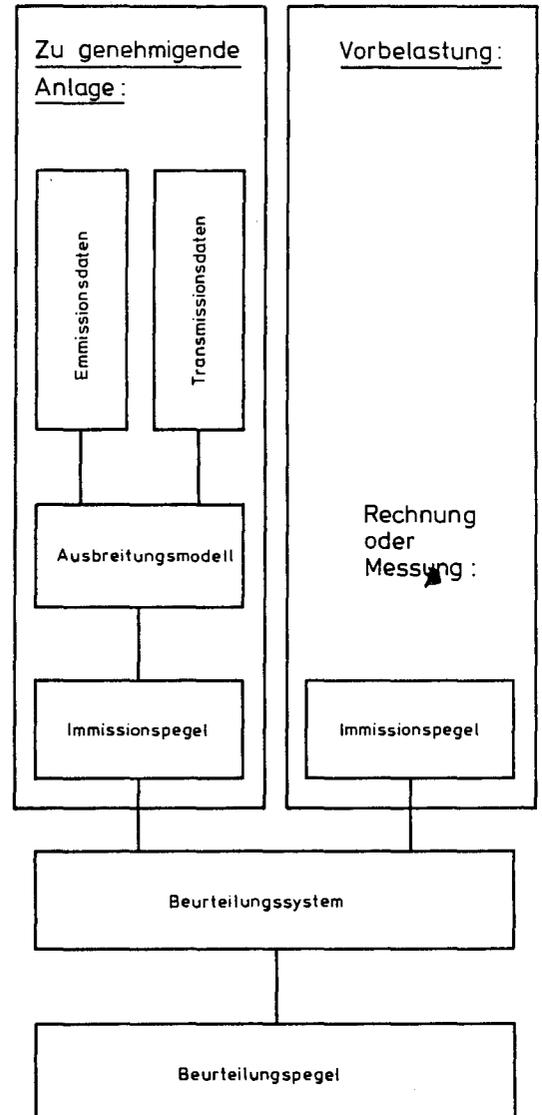


Abb. 1: Struktur von Geräuschimmissionsprognosen

Schalleistung der Quellen und von verschiedenen Dämpfungsmechanismen auf dem Ausbreitungswege ab. Die einzelnen Größen werden im allgemeinen separat behandelt. Der Rahmen für das Ausbreitungsmodell wird durch die Physik der Schallausbreitung vorgegeben. Die bekannten verschiedenen "Ausbreitungsmodelle" - siehe z.B. [1-6] - sind Varianten innerhalb dieses Rahmens, die insbesondere auf bestimmte Teilaspekte und z.T. auf unterschiedliche Randbedingungen und Näherungsverfahren mit teilweise unterschiedlichen Dämpfungstermen eingehen.

Bisher wird üblicherweise das Rechenmodell der VDI-Richtlinie 2714 "Schallausbreitung im Freien", Entwurf Dezember 1976 [1] bzw. als Spezialfall für geringe Entfernungen das der VDI-Richtlinie 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten", August 1976 [3] angewendet. Diese Richtlinien haben sich in der praktischen Anwendung vielfach bewährt.

Der im Jahre 1976 herausgegebene Entwurf der VDI-Richtlinie 2714 wurde in der Zwischenzeit überarbeitet; die Neufassung [2] ist im Juli 1986 erschienen. Der grundsätzliche Aufbau des neuen Entwurfs hat sich im Vergleich zur Fassung 1976 nicht wesentlich geändert; im Detail werden jedoch die Dämpfungsterme zum Teil unterschiedlich behandelt. Da neben dem neuen Entwurf 1986 zumindest während einer Übergangszeit bei bereits laufenden Genehmigungsverfahren auch der alte Entwurf der VDI-Richtlinie 2714 zu beachten ist, geht dieser Bericht auf beide Fassungen ein.

Zur Zeit gibt es kein anderes in der Bundesrepublik allgemein angewendetes und akzeptiertes Ausbreitungsmodell, so daß im folgenden nur von den genannten VDI-Richtlinien 2714 und 2571 ausgegangen wird, ggf. unter Einbeziehung anderer Richtlinien oder Normen für spezielle Fragen. In besonderen Fällen kann auch eine andere Berechnungsgrundlage gewählt werden. Dies ist bei der Prognose entsprechend zu begründen.

L i t e r a t u r

- [1] VDI-Richtlinie 2714:
Schallausbreitung im Freien (Entwurf Dezember 1976), Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln 1976.
- [2] VDI-Richtlinie 2714:
Schallausbreitung im Freien (Entwurf Juli 1986), Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln 1986.
- [3] VDI-Richtlinie 2751:
Schallabstrahlung von Industriebauten (August 1976), Beuth Verlag GmbH Berlin, Köln 1976.
- [4] DIN 18005, Teil 1:
Schallschutz im Städtebau, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen (Entwurf April 1982), Beuth Verlag GmbH Berlin 1982.
- [5] CONCAWE report no. 4/81:
The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communities, CONCAWE, Den Haag, 1981.
- [6] KRAGH, J., B. ANDERSEN, J. JAKOBSEN:
Environmental noise from industrial plants, General prediction method, Technical report no. 32, Danish Acoustical Laboratory, The Danish Academy of Technical Sciences, Lydteknisk Laboratorium, Technical University of Denmark, Lyngby, Dänemark, 1982.

3.3. Beurteilungssystem

Das Beurteilungssystem stellt die Verbindung her zwischen den einwirkenden Geräuschimmissionen und dem Schutzziel - hier dem Schutz vor erheblichen Belästigungen im Sinne des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Im Rahmen von Genehmigungsverfahren legt die TA Lärm das Beurteilungssystem fest; der vorliegende Bericht geht deshalb nur auf diese Vorschrift ein. Dabei wird, ausgehend vom Mittelungspegel der Geräuschimmissionen, unter Berücksichtigung bestimmter Vorschriften, die aus der zu erwartenden Lästigkeitswirkung abgeleitet wurden, ein Beurteilungspegel gebildet, der mit einem vorgegebenen Immissionsrichtwert zu vergleichen ist und ihn nicht überschreiten darf.

Die TA Lärm schreibt ganz allgemein vor, daß zur Bestimmung der Geräuschimmissionen der äquivalente Dauerschallpegel zu ermitteln ist. Allerdings wird dann im Detail ausgeführt, daß bei zeitlich veränderlichen Geräuschen vom Taktmaximalpegelverfahren auszugehen ist, das nicht mehr energieäquivalent ist.

Diese Meßvorschrift stellte eine wichtige Forderung der TA Lärm dar, die auch für die Prognose bei Genehmigungsverfahren zu beachten ist, weil eine meßtechnische Überprüfung nach Errichtung der Anlage nur durch Messungen entsprechend dieser Vorschrift möglich ist und die Immissionsrichtwerte an dieses Meßverfahren geknüpft sind.

Wie bei anderen Ausbreitungsrechnungen, so wird auch nach der VDI-Richtlinie 2714 der Immissionspegel auf der Basis der energieäquivalenten Mittelung, d.h. des Mittelungspegels berechnet; andere Pegelgrößen, wie z.B. der Wirkpegel nach dem Taktmaximalpegelverfahren, lassen sich daraus nur mit zusätzlichen Annahmen ermitteln. Dementsprechend erfolgt auch im Rahmen der TA Lärm die Prognose der Geräuschimmissionen zunächst nach der genannten VDI-Richtlinie auf der Grundlage der energieäquivalenten Mittelung. Der Anschluß an die Verwaltungsvorschrift, bei der, wie oben ausgeführt, das nicht energieäquivalente Taktmaximalpegelverfahren zugrunde gelegt wird, muß über ein Korrekturmaß gefunden werden.

Weiter wird zur Ermittlung des Beurteilungspegels bei Geräuschimmissionen, die einen oder mehrere deutlich hervortretende Einzeltöne enthalten, wegen der besonderen Störwirkung ein Tonzuschlag vergeben. Dabei sind in den Zeitabschnitten, in denen ein Einzelton vorkommt, den Meßwerten bis zu 5 dB hinzuzurechnen.

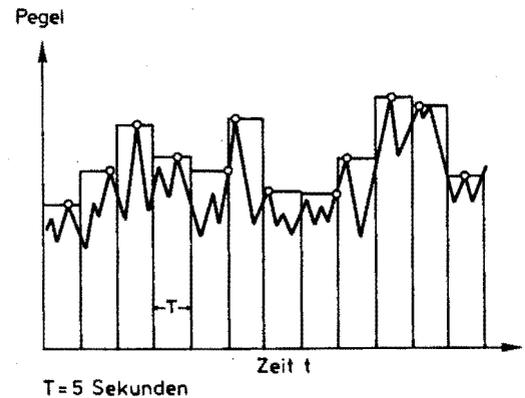


Abb. 1: Taktmaximalpegelverfahren

Mit Hilfe des Beurteilungspegels wird die im Mittel während der Tages- und Nachtzeit auftretende Geräuschbelastung begrenzt. Durch das Mittelungsverfahren ist der zeitliche Verlauf der Geräuschmissionen nicht mehr zu erkennen. Um nachts die momentan empfundene Geräuschbelastung zu begrenzen, dürfen die Immissionspegel den um 20 dB erhöhten Immissionsrichtwert für die Nachtzeit auch nicht kurzfristig überschreiten. Damit sind bei regulärem Betrieb auch einzelne, selten auftretende Pegelspitzen oberhalb dieser Grenze während der Nachtzeit nicht zulässig.

3.4. Überschlägige Rechnung

Nach dem Inhalt des Gem. RdErl. vom 21.11.1975 ist eine die Vorbelastung und Anlagenzusatzbelastung betreffende Immissionsprognose für Geräusche nur zu fordern, wenn durch eine "Überschlägige Rechnung" eine Überschreitung der Immissionswerte nicht ausgeschlossen werden kann. Es sind daher für die Entscheidung "Immissionsprognose erforderlich oder nicht erforderlich" vorab Einzelheiten zur überschlägigen Rechnung festzulegen, mit der diese Entscheidung zu treffen ist.

Mit der überschlägigen Rechnung muß die Entscheidung möglich sein, daß Immissionswertüberschreitungen ausgeschlossen sind; es muß daher mit dieser Rechnung die maximale in der Praxis zu erwartende Immissions-situation prognostiziert werden können.

Dieser Maximalzustand ist gekennzeichnet durch "maximale Emissionen" und "minimale Dämmung und Dämpfungen auf dem Schallausbreitungsweg" zwischen den Schallquellen der zur Genehmigung anstehenden Anlage und den Immissionspunkten. Außerdem ist auch der Maximalzustand der Vorbelastung in gleicher Weise vorauszusetzen. Unter Vorbelastung sind hier die Geräuschmissionen aller gewerblichen und industriellen Anlagen, mit Ausnahme der Verkehrsgeräusche, die außerhalb der Anlagen entstehen, an den Immissionspunkten zu verstehen.

Der Maximalzustand erfordert also die Kenntnis der zeitlichen und räumlichen Emissionsverhältnisse und der Abstände zwischen Quellen und Immissionspunkten. Voraussetzung für eine sichere Aussage über diese Maximalsituation ist die Vollständigkeit der für die Prognose zu berücksichtigenden Emissionsdaten und die Übereinstimmung dieser Emissionsdaten mit den nach Errichten der Anlagen im praktischen Betrieb auftretenden Werten.

Die Überschlägige Rechnung wird in Kapitel 6 ein-

Verwaltungsvorschriften zum Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionschutzgesetz

Gem. RdErl. des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales - III R - 80001.7 (III Nr. 36/75) -, d. Innenministers V A 4 - 850.01 und des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr - Z/B 3 - 81-2.22 - vom 21.11.1975, SMBl. NW, S. 7130, 21.11.1975, MBl. NW, S. 2216, 06.12.1977, MBl. NW, S. 2034, 06.09.1982, MBl. NW, S. 1562, 18.08.1981, MBl. NW, S. 1724, 10.07.1986, MBl. NW, S. 1110.

gehender besprochen.

Überschreiten die aus der Maximalabschätzung errechneten Beurteilungspegel die zugrunde zu legenden Immissionsrichtwerte, so ist eine genauere Immissionsprognose erforderlich. Hinweise zur Erstellung und Überprüfung dieser genaueren Prognoserechnungen werden im folgenden gegeben.

4. Hinweise zur Erstellung und Überprüfung von Geräuschimmissionsprognosen

Nach den im vorigen Kapitel beschriebenen allgemeinen Erläuterungen zur Struktur von Geräuschimmissionsprognosen werden im folgenden detailliertere Hinweise gegeben, die bei der Erstellung und Überprüfung von Geräuschimmissionsprognosen zu beachten sind. Dabei wird insbesondere auf die kritischen Punkte von Geräuschimmissionsprognosen eingegangen. Als Überblick über den derzeitigen Kenntnisstand folgt jeweils eine kurze Zusammenstellung von Ergebnissen wissenschaftlicher Untersuchungen. Damit ist nicht beabsichtigt, eine möglichst vollständige Literaturübersicht zu geben, sondern vielmehr, die angesprochenen Probleme zu verdeutlichen - auch, wenn sich z.T. noch keine Lösungen angeben lassen. Außerdem wird zur Überprüfung von Prognoserechnungen durch die Aufsichtsbehörde auf besonders zu beachtende Punkte hingewiesen.

4.1. Quellenbezogene Daten

Bei einer Geräuschimmissionsprognose müssen Angaben zu den Schallquellen gemacht werden, die zu berücksichtigen sind. Diesen Angaben kommt eine besondere Bedeutung zu, denn die Genauigkeit einer Immissionsprognose hängt in entscheidendem Maße von der Genauigkeit der Eingangsdaten, d.h. der Emissionsdaten ab.

Zunächst ist zu klären, welche Schallquellen bei der Immissionsprognose zu berücksichtigen sind. Als mögliche Schallquellen kommen neben den Anlagen bzw. Anlagenteilen, die unmittelbar zur Genehmigung anstehen, auch solche in Betracht, die bereits vorhanden sind (Vorbelastung), u.U. auch unabhängig davon, ob sie zum Antragsteller gehören oder nicht. Gegebenenfalls sind im Sinne der Vorsorge auch die voraussichtlichen Geräuschimmissionen zukünftig zu planender Anlagen zu berücksichtigen. Außerdem ist der Transport und Verkehr innerhalb des Werksgeländes in der Prognose zu erfassen.

Wenn die Summe der Geräuschimmissionen aller einwirkenden Anlagen den Immissionsrichtwert der TA Lärm nicht überschreiten darf, steht jeder Anlage nur ein bestimmter Immissionsanteil zu. Jeder Immissionsanteil ist so zu berechnen, daß durch die Summation der Geräusche die Immissionsrichtwerte nicht überschritten werden. Die Ermittlung der Immissionsanteile wird im Anhang A besprochen.

Im allgemeinen gibt die Genehmigungsbehörde die Immissionsanteile der Anlagen vor, so daß die Vorbelastung bei der Prognose, die dem Genehmigungsantrag beiliegen, nicht mehr gesondert betrachtet werden muß. Dementsprechend beziehen sich die folgenden Ausführungen nur auf die Geräuschquellen der zu genehmigenden Anlage.

Der Genehmigungsantrag muß die Unterlagen enthalten, die zur Prüfung der Genehmigungsvoraussetzungen erforderlich sind. Dabei müssen insbesondere folgende quellenbezogenen Daten vom Antragsteller beigebracht werden:

- Detaillierte Baubeschreibung der zum Betrieb erforderlichen Einrichtungen und Nebeneinrichtungen.
- Beschreibung des Betriebsablaufes.
- Maschinenaufstellungsplan.
- Häufigkeit und Zeitdauer der Geräuschemissionen innerhalb der Beurteilungszeit und innerhalb eines Jahres bei regulärem Betrieb der Anlage. Beurteilungszeit ist nach der TA Lärm der Tag von 6 bis 22 Uhr und die Nacht von 22 bis 6 Uhr.
- Häufigkeit und Zeitdauer der Geräuschemissionen innerhalb der Beurteilungszeit und innerhalb eines Jahres bei Störungen im Betriebsablauf (z.B. Ansprechen von Sicherheitsventilen, Fackeln, u.ä.).
- Angabe der Leistung (Auslastung, Betriebszustand), für die die Genehmigung beantragt wird. Dies wird im allgemeinen die maximale Dauerleistung sein, die eine Anlage ohne Überlastung langfristig erbringen kann.
- Daten, die für die Geräuschemissionen der Maschinen wichtig sind, wie z.B. genauer Maschinentyp, Eingangs- und Ausgangsleistung, Einsatz besonderer Geräuschminderungsmaßnahmen an der Schallquelle und ähnliches mehr.
- Schalleistungsspektrum der Maschinen bzw. Schalldruckspektrum in bestimmter Entfernung in Oktav- oder

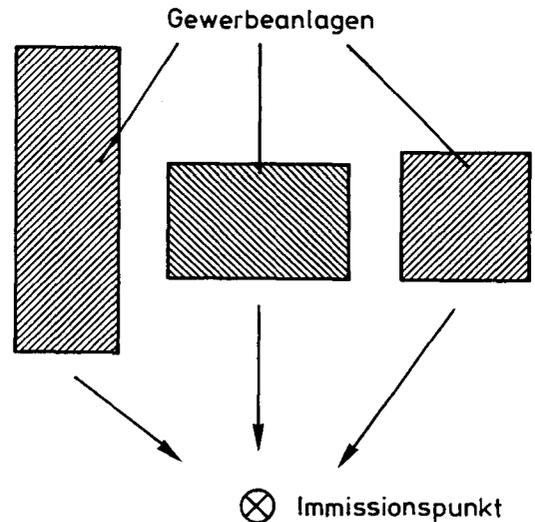


Abb. 1: Summation von Geräuschimmissionen

Terzbandbreite mit Angabe des zugrunde liegenden Betriebszustandes und der möglichen Streubreite der Daten. Die Schalleistung ist die Schallenergie, die in der Zeiteinheit durch eine Fläche strömt, die die Schallquelle umhüllt.

- Angaben zum zeitlichen Verlauf der Emissionen, zu kurzzeitigen Veränderungen, über Pegelspitzen etc.
- Angaben über den Toncharakter der Geräuschemissionen, spektrale Lage der Einzeltöne.
- Richtcharakteristik der Schallabstrahlung in Oktav- oder Terzbandbreite.
- Angaben über evtl. zu erwartende Produktionsänderungen bzw. -umstellungen bei schon bestehenden Anlagen als Folge des Betriebs der Neuanlage.

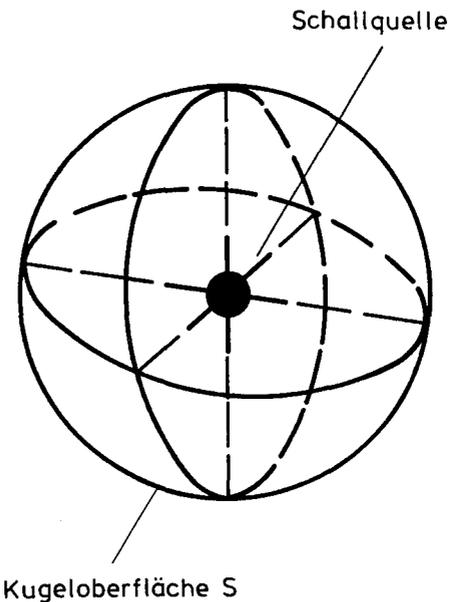
Speziell für den Bereich des Transports und des Verkehrs auf dem Werksgelände ist anzugeben (siehe auch [1-3]):

- Streckenführung, zeitlicher Ablauf der Verkehrsbewegungen und Verkehrsmenge während der Tages- und Nachtzeit.
- Besonderheiten der Streckenführung wie Steigungen, Unterführungen, Art des Streckenbelages etc.
- Begleitgeräusche während der Verkehrsbewegungen wie Klappern von Werkstücken, akustische Signale, Pufferschlagen bei schienengebundenem Verkehr etc.

Bei der Prognose sind ggf. auch die Geräusche zu erfassen, die durch die Fahrten der Beschäftigten im Werksgelände entstehen.

Nicht völlig geklärt ist die Zurechenbarkeit des Ein- und Ausfahrens, d.h. des notwendigen Verkehrs, um von der öffentlichen Straße auf das Anlagengrundstück oder vom Anlagengrundstück auf die öffentliche Straße zu gelangen. In der Regel sind die beim Ein- und Ausfahren entstehenden Verkehrsgeräusche ebenso wie die durch Verkehrsbewegungen auf dem Anlagengrundstück verursachten Geräusche als Anlagenbetrieb anzusehen, in Ausnahmefällen wird jedoch das Ein- und Ausfahren noch zum öffentlichen Verkehr gezählt [4].

Die zuverlässigste Basis für eine Prognose stellen die durch Messung an den einzelnen Schallquellen oder Quellengruppen ermittelten Schalleistungsspektren oder die Ergebnisse von Messungen an vergleichbaren



Mittlerer Schalldruckpegel auf der Kugeloberfläche: \bar{L}

Schalleistungspegel: L_W

$$L_W = \bar{L} + 10 \log \frac{S}{S_0}$$

$$S_0 = 1 \text{ m}^2$$

Abb. 2: Schalleistungspegel einer Schallquelle im freien Raum

Prüfpunkte bei Prognoseberechnungen

- Überprüfung der Angaben zu den Schallquellen:
- Wurden alle Quellen genannt? Sind die Angaben vollständig und detailliert genug, um die akustischen Kenndaten überprüfen zu können?
- Kontrolle der Daten über den Ort, die Betriebsdauer und die Einsatzhäufigkeit der Schallquellen

Anlagen dar. Es muß beschrieben sein, nach welcher Meßvorschrift [5-10] die Daten ermittelt wurden.

Je nach Anwendungsgebiet gibt es verschiedene Regelungen, z.B. [11-18]. Vergleiche verschiedener Meßvorschriften und Fehleranalysen sind in [5, 7, 19-21] aufgeführt.

Vielfach wird von der DIN-Norm 45635 "Geräuschmessung an Maschinen" mit seinen verschiedenen Teilausgaben [11] als Meßnorm ausgegangen, in der auch Angaben zur Genauigkeit des Verfahrens enthalten sind. So ist z.B. nach DIN 45635, Teil 1, für die in der Regel anzuwendende Genauigkeitsklasse 2 die Standardabweichung der unter Vergleichbedingungen ermittelten Schalleistungspegel ≤ 2 dB - ohne Berücksichtigung von Streuungen der Emission der Maschine.

Die im eingebauten Zustand abgestrahlte Schalleistung kann u.U. von Prüfstandswerten abweichen; auch können z.B. durch Alterung Änderungen der Schallemission auftreten. Dies ist ggf. durch den Vergleich mit anderen Anlagen zu überprüfen.

Häufig ist es schwierig, Angaben zur Schallemission für alle Quellen zu erhalten. Zum Teil läßt sich die Schalleistung auch mit Hilfe empirischer Formeln aus bestimmten technischen Daten der Anlage berechnen. Diese Werte sind jedoch i.a. ungenauer als die durch unmittelbare Messung an der Anlage ermittelten Daten, weil nicht alle akustisch wirksamen Randbedingungen formelmäßig erfaßt werden können.

Für die Überprüfung der Emissionsdaten bei vorgelegten Immissionsprognosen stehen eine Reihe von Hilfsmitteln zur Verfügung, so z.B.:

- Emissionsdaten der Herstellerfirma der betreffenden Anlagenteile,
- Vergleich mit Daten ähnlicher Anlagen,
- zusammenfassende Darstellungen in der Literatur,
- Berechnung nach empirischen Formeln,
- Richtlinien, die Angaben zur Geräuschemission enthalten.

Die Prüfung der in der Prognose verwendeten akustischen Werte der Emissionsgrößen "Schalleistung" oder "Schalldruck im bestimmten Abstand" von der Schallquelle erfordert neben dem Wissen auf dem Gebiet der Akustik auch eine detaillierte Kenntnis der zu genehmigenden Anlage und der Betriebsabläufe. Eine Überprüfung ist dann besonders schwierig, wenn keine vergleichbaren Werte von ausgeführten Anlagen, von Prüfstandsmessungen oder aus Analogieschlüssen

- Überprüfung der Angaben zur Schallemission:
- Liegen Spektren oder nur Gesamtpegel vor?
- Wie wurden die Emissionsdaten ermittelt? Sind sie Prüfstandswerte oder wurden sie unter realen Einbaubedingungen gemessen?
- Welche Betriebsbedingungen liegen den angegebenen Werten zugrunde?
- Sind Maßnahmen an der Quelle vorzusehen, die die Schallemission verringern?
- Stimmen die angegebenen Emissionskennwerte mit den Angaben an vergleichbaren Anlagen überein?
- Weist das emittierte Geräusch Besonderheiten in seiner Frequenzzusammensetzung auf? Ist es besonders tieffrequent, tonhaltig?
- Sind Besonderheiten der Schallemission aufgrund bestimmter Betriebsbedingungen zu erwarten, wie z.B. das Ansprechen von Regel- oder Sicherheitsventilen oder das Abfackeln von Teilprodukten?
- Ist die Schallabstrahlung gerichtet?
- Treten aufgrund der geplanten Anlage akustisch wirksame Änderungen bei bestehenden Anlagen oder Anlagenteilen auf?
- Findet Straßen- oder Schienenverkehr auf dem Werksgelände statt?
- Sind Transport- oder Verladearbeiten auf dem Freigelände des Betriebes vorgesehen?
Wie wird der Materialan- und abtransport durchgeführt?
Wie findet die Zu- und Abfahrt der Beschäftigten statt?

leistungsschwächerer oder leistungsstärkerer Anlagen vorhanden oder zu beschaffen sind. In diesen Fällen ist es nützlich, Anlagen oder Anlagenteile ihrem Aufbau nach zu analysieren und mit den Emissionsdaten der im allgemeinen häufig in der Technik eingesetzten Bauelemente der Anlage auf die Gesamtemission zu schließen.

Im Anhang C sind für eine Reihe technischer Schallquellen Literaturhinweise angegeben, die Angaben zur Schallemission enthalten.

Der Schalleistungspegel der Schallquellen stellt den Ausgangspunkt für eine Ausbreitungsrechnung dar. Dies wird im folgenden Kapitel näher erläutert.

L i t e r a t u r

- [1] DIN 18005, Teil 1:
Schallschutz im Städtebau, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen (Entwurf April 1982).
- [2] BUSCHE, H.-J., E. KNOTHE:
Geräuschemissionen von Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen.
Forschungsbericht IV.2.4./868/81 des RWTÜV Essen im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1982.
- [3] STEVEN, H.:
Emissionswerte für Kraftfahrzeuge - wissenschaftlich technische Vorbereitung von Rechtsvorschriften und EG-Richtlinien zur Festsetzung und Herabsetzung von Emissionsgrenzwerten für LKW und Omnibusse, PKW und Krafträder.
Forschungsbericht 80-105 05 101 des Forschungsinstituts Geräusche und Erschütterungen (FIGE), Aachen, im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin 1980.
- [4] Hinweise des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales: Verkehrsgeräusche und Anlagen.
Informationsdienst Immissionsschutz Nr. 71/83 des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1983.
- [5] MELKE, J.:
Verschiedene Methoden zur Bestimmung der emittierten Schalleistung.
TÜ, 18 (1977), S. 245-251.
- [6] STÜBER, B.:
Meßmethode zur Ermittlung der Schalleistung von Industrieanlagen.
Bericht Nr. 5585/1 der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1977.
- [7] SCHWARZ, H.-J.:
Vergleich der unterschiedlichen Meßvorschriften für die Geräuschemissionsmessung nach dem Hüllflächenverfahren.
Kampf dem Lärm, 26 (1979), S. 101-110.
- [8] MARSH, K.-J.:
Determination of sound power levels for industrial purposes.
Applied Acoustics, 14 (1981), S. 113-127.

- [9] REINICKE, W.:
Schalleistungsermittlung durch Schallintensitätsmessungen an Maschinen unter Betriebsbedingungen.
VGB Kraftwerkstechnik, 63 (1983), S. 891-896.
- [10] HÜBNER, G., D. FISCHER:
Rechnerunterstützte Geräuschmeßtechnik zur Lösung von Aufgaben in der Maschinenakustik,
insbesondere bei Großmaschinen.
VDI-Berichte, Nr. 468 (1983), S. 17-24.
- [11] DIN 45635:
Geräuschmessung an Maschinen:
- Teil 1: Luftschallemission, Hüllflächen-Verfahren; Rahmenverfahren für 3 Genauigkeitsklassen
(April 1984).
- Teil 2: Luftschallmessung, Hallraumverfahren, Rahmen-Meßverfahren (Genauigkeitsklasse 1)
(Dezember 1977).
- Teil 3: Luftschallmessung, Sonder-Hallraumverfahren, Rahmen-Meßverfahren (Genauigkeits-
klasse 2) (September 1978).
- Teil 8: Luftschallemission, Körperschallmessung, Rahmen-Verfahren (Juli 1981).
- Teil 9: Luftschallmessung, Kanal-Verfahren, Rahmen-Meßverfahren (September 1977).
- [12] DIN 45635:
Geräuschmessung an Maschinen: Teil 10 und folgende für spezielle Maschinen.
- [13] Bekanntmachung über das Verfahren zur Ermittlung des Geräuschemissionspegels von Bau-
maschinen und Baugeräten vom 11.02.1980, BauschEmVfBek, BAHz 1980, Nr. 47a, Beilage Nr. 10,
S. 3-18.
- [14] Richtlinien für die Geräuschmessung an Kraftfahrzeugen - KfzGeräuschMessRl 1966 vom 13.09.1966,
VKBl, 1966, Nr. 19, S. 531-534, zuletzt geändert durch KfzGeräuschMessRl 1966 ÄndRl 1983 vom
08.09.1983, Vkb1, 1983, S. 492-493.
- [15] DIN ISO 362:
Akustik; Messung des von beschleunigten Straßenfahrzeugen abgestrahlten Geräusches; Verfahren
der Genehmigungsklasse 2 (Dezember 1984).
- [16] DIN ISO 5130:
Akustik; Methode für die Messung des Standgeräusches von Straßenfahrzeugen (Mai 1982).
- [17] DIN 45637:
Außengeräuschmessung an Schienenfahrzeugen (November 1968).
- [18] DIN 45637:
Außengeräuschmessungen an spurgebundenen Fahrzeugen (Entwurf April 1977).
- [19] HÜBNER, G.:
Analyse der Unsicherheiten bei der Bestimmung der Schalleistung von Maschinen unter besonderer
Berücksichtigung von Umwelteinflüssen realer Räume ("in-situ-Messungen").
VDI-Berichte, Nr. 335 (1979), S. 31-41.

[20] RUSSEL, G.A.:

Error propagation analysis of four sound-power measurement techniques.
J. Acoust. Soc. Am., 67 (1980), S. 663-665.

[21] PROBST, W.:

Untersuchung der Unsicherheiten und Streuungen bei der Festlegung und Nachprüfung von Geräuschemissionswerten.

Z. Lärmbekämpfung, 33 (1986), S. 8-13 und S. 60.

4.2. Berechnung des Immissionspegels

Aus den im vorigen Kapitel beschriebenen Emissionsdaten wird mit Hilfe eines Ausbreitungsmodells der Schalldruckpegel am Immissionsort berechnet. Bei Schallquellen im Freien wird dabei unmittelbar der i.a. frequenzmäßig in Oktav- oder Terzbandbreite aufgegliederte Schalleistungspegel der Anlagen oder der in einer bestimmten Entfernung verursachte Schalldruckpegel herangezogen. Befinden sich die Schallquellen jedoch innerhalb von Gebäuden, so muß zunächst der von den Außenhauptelementen des Gebäudes abgestrahlte Schalleistungspegel berechnet werden, wobei als Zwischenschritt der Schalldruckpegel innerhalb des Gebäudes zu ermitteln ist. Das Berechnungsverfahren wird im folgenden näher besprochen.

4.2.1. Schallquellen in Gebäuden

4.2.1.1. Ermittlung des Schalldruckpegels im Raum

Zur Ermittlung des Immissionspegels ist bei Schallquellen innerhalb von Gebäuden zunächst der Schalldruckpegel zu berechnen, der sich im Aufstellungsraum einstellt.

Die Prognose des Halleninnenpegels ist nicht nur für die Berechnung des Immissionspegels, sondern auch für die Beurteilung der Arbeitsplatzsituation von Bedeutung. An dieser Stelle sind also beide Aufgabengebiete - Immissions- und Arbeitsschutz - angesprochen.

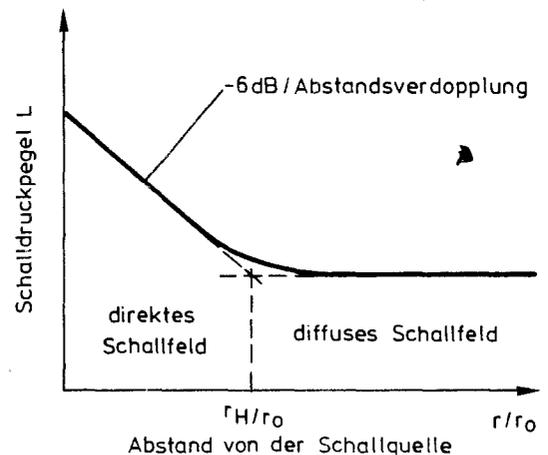
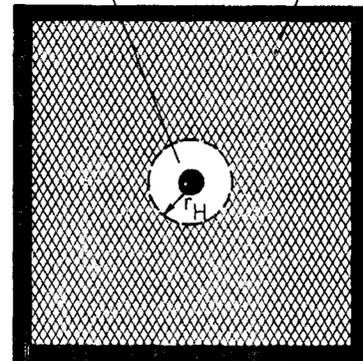
Der prinzipielle Verlauf des Schallpegels in Abhängigkeit von der Entfernung von einer punktförmigen Schallquelle in einem Raum mit annähernd gleichen Abmessungen in allen Richtungen und mit geringer, gleichmäßig verteilter Absorption ist in Abb. 1 dargestellt. Im direkten Schallfeld innerhalb des Hallradius r_H nimmt der Pegel wie im Freien mit 6 dB pro Abstandsverdopplung ab, außerhalb des Hallradius bildet sich ein diffuses Schallfeld mit örtlich konstantem Pegel aus.

Ein vereinfachtes Rechenverfahren zur Ermittlung des Schalldruckpegels im diffusen Schallfeld ist in der VDI-Richtlinie 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten" [1] beschrieben. Ausgangsgröße der Berechnung ist der Schalleistungspegel der aufzustellenden Maschinen. Der mittlere Schalldruckpegel im Raum ergibt sich näherungsweise zu:

$$L_i \text{ in dB} \approx L_w + 14 + 10 \log \frac{T}{V}$$

bzw.

direktes Schallfeld diffuses Schallfeld



r_H = Hallradius

r_0 = Bezugsabstand

Abb. 1: Schallfeld einer punktförmigen Schallquelle in einem Raum mit diffusem Schallfeld

$$L_i \text{ in dB} \approx L_w - 10 \log \frac{A}{4 S_0}$$

mit

- L_i : mittlerer Schalldruckpegel im Raum
 L_w : Schalleistungspegel der Schallquelle im Raum
 T : Nachhallzeit im Raum, in Sekunden
 V : Volumen des Raumes, in m^3
 A : äquivalente Absorptionsfläche, in m^2 [2]
 $A = \frac{0,16 V}{T}$ (Sabine'sche Nachhallformel, siehe z.B. [3, 4])
 S_0 : $1 m^2$

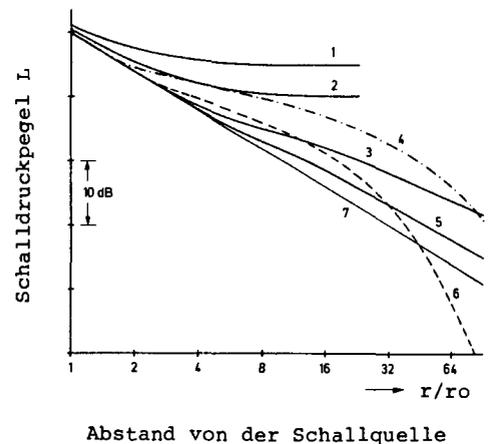
Bei frequenzabhängiger Rechnung sind für die Pegel L_i und L_w und für T und A die Werte der jeweiligen Oktave oder Terz heranzuziehen.

Die angegebenen Beziehungen geben nur unter folgenden Randbedingungen genaue Werte [5]:

- diffuses Schallfeld im Raum
- annähernd gleiche Raumabmessungen in allen Richtungen
- gleichmäßige Verteilung der Absorptionsflächen im Raum mit geringer mittlerer Absorption
- ausreichend große Entfernung des Aufpunktes von der Schallquelle
- kein Einfluß der Luftabsorption.

Die akustischen Eigenschaften des Aufstellungsraumes wie die Nachhallzeit oder die äquivalente Absorptionsfläche müssen aus der Innenausstattung unter Berücksichtigung der aufgestellten Maschinen oder aus den Daten vergleichbarer Hallen abgeschätzt werden. Stehen keine weiteren Daten zur Verfügung, so kann zur groben Orientierung für die Nachhallzeit in vielen Industriehallen ein Wert von ca. 2 Sekunden angenommen werden.

In [1] wird angemerkt, daß die nach der angegebenen Formel errechneten Schalldruckpegel u.U. zu hoch sind. Für genauere Rechnungen z.B. in Hallen mit ungleichen Raumabmessungen in den einzelnen Richtungen (z.B. flache Hallen) und ungleichmäßiger Verteilung der Absorptionsflächen sowie in Räumen mit vielen Streukörpern muß eine differenziertere Rechnung durchgeführt werden. Einzelheiten dazu können z.B. in [5, 6] nachgelesen werden. Einige Beispiele zur praktischen Anwendung sind in [7-9] beschrieben.



r_0 : Bezugsabstand

Die Kurven 1 und 2 zeigen die Abnahme des Schallpegels mit dem Abstand von der Schallquelle in einem Raum mit diffusem Schallfeld (für verschiedene äquivalente Absorptionsflächen). Die Kurve 3 zeigt die Schallpegelabnahme in einer leeren flachen Halle mit reflektierender Decke. Die Kurve 4 zeigt die gleiche, aber bei Vorhandensein von Maschinen. Die Kurven 5 bzw. 6 gelten für eine flache Halle mit absorbierender Decke ohne bzw. mit Maschinen. Die Gerade 7 stellt das Schallausbreitungsgesetz im Freien dar.

Abb. 2: Beispiele für Schallpegelabnahmekurven, nach [10]

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Nach welcher Methode wurde der Halleninnenpegel berechnet? Sind die Voraussetzungen zur näherungsweise Berechnung des Halleninnenpegels nach der VDI-Richtlinie 2571 gegeben? Kontrolle der Rechnung.
- Überprüfung der Angaben zum Schalleistungspegel der Maschinen in der Halle (s. Abschnitt 4.1).

Abb. 2 [10] zeigt die Abnahme des Schallpegels mit dem Abstand von der Schallquelle im Vergleich für verschiedene Ausbreitungsbedingungen.

Berechnungsverfahren zur Schallausbreitung in Räumen mit ungleichmäßiger Verteilung von Streukörpern sind zur Zeit nicht bekannt [10]. In Fällen, in denen eine Berechnung nicht möglich ist, kann die Schallausbreitung in Hallen, falls erforderlich, mit Hilfe von Modelluntersuchungen vorausbestimmt werden.

Anstelle der Berechnung des Halleninnenpegels aus den Schalleistungspegeln der aufgestellten Maschinen werden bei Prognoserechnungen z.T. auch bekannte Hallenpegel von vergleichbaren Anlagen direkt herangezogen. Einige Anhaltswerte von Schalldruckpegeln in Werkhallen sind in [1] gegeben.

● Ist die Verteilung der Absorptionsfläche in der Halle bekannt? Aus welchem Material bestehen die raumseitigen Oberflächen der Wände und Decken? Welche sonstigen Absorptions- und Streuflächen (Oberflächen von Maschinen, Material etc.) sind zu beachten?

● Überprüfung der Angaben zur Nachhallzeit bzw. zur äquivalenten Absorptionsfläche der Halle. Aus welchen Angaben wurden diese Daten ermittelt; stimmen sie mit den Daten ähnlicher Hallen überein?

L i t e r a t u r

- [1] VDI-Richtlinie 2571:
Schallabstrahlung von Industriebauten (August 1976).
- [2] DIN 52212:
Bauakustische Prüfungen; Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum (Januar 1961).
- [3] CREMER, L., H.A. MÜLLER:
Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band I, 2., völlig neu bearbeitete Aufl., S. Hirzel Verlag, Stuttgart (1978).
- [4] REICHHARDT, W.:
Die äquivalente Absorptionsfläche eines Raumes im eingeschwungenen Zustand und im Nachhall. *Acustica* 45 (1980), S. 238-245.
- [5] JOVICIC, S.:
Anleitung zur Vorausbestimmung des Schallpegels in Betriebsstätten.
Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1979.
- [6] KUTTRUFF, H.:
Neuere Entwicklungen bei der Berechnung des Schallfelds in Räumen.
Fortschritte der Akustik, DAGA '84 (1984), S. 67-80.
- [7] NEUGEBAUER, G.:
Rechnergestützte Ermittlung von Halleninnenpegeln bei schalltechnischen Planungen in der Stahlindustrie.
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 21-28.
- [8] KUTTER-SCHRADER, H.:
Vorausberechnung von Schallpegelverteilungen in Fabrikhallen der metallverarbeitenden Industrie.
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 29-34.

- [9] Lärmverteilung in Fabrikhallen, Berechnung und Planung.
Schriftenreihe "Humanisierung des Arbeitslebens", Band 10, Hrsg.: Der Bundesminister für
Forschung und Technologie.
Campus-Verlag Frankfurt/New York 1980.
- [10] JOVICIC, S.:
Grundlagen der Vorausbestimmung von Schallpegeln in Räumen.
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 11-19.

4.2.1.2. Berechnung des nach außen abgestrahlten Schalls

Der von den Maschinen erzeugte Schalldruckpegel im Aufstellungsraum regt die nach außen führenden Bauteile zu Schallschwingungen an, so daß die Außenhaut des Gebäudes selber Schall abstrahlt. Der von einem Außenhautelement abgestrahlte Schalleistungspegel läßt sich, wie z.B. in [1] dargestellt, in einzelnen Frequenzbereichen (Oktav- oder Terzbandbreite) folgendermaßen berechnen:

$$L_w \text{ in dB} = L_i - R' - \Delta L + 10 \log \frac{S}{S_0}$$

(Rechnung in einzelnen Frequenzbereichen)

Dabei bedeuten:

- S : Fläche des Außenhautelementes, in m^2
 S_0 : $1 m^2$
 ΔL : Pegelsprung beim Übergang vom Schallfeld innerhalb des Gebäudes zum Schallfeld außerhalb des Gebäudes

und bezogen auf die jeweils betrachtete Oktave oder Terz:

- L_w : Von einem Außenhautelement abgestrahlter Schalleistungspegel
 L_i : Mittlerer Schalldruckpegel im Raum
 R' : Luftschalldämmmaß des betrachteten Bauteils

Voraussetzung ist, daß im Aufstellungsraum ein diffuses Schallfeld vorliegt und daß sich die von dem betrachteten Element abgestrahlte Schalleistung gleichmäßig auf eine Halbkugel verteilt. Das in der VDI-Richtlinie 2714 aufgeführte Raumwinkelmaß $K_0 = 3 \text{ dB}$ für eine ungerichtete Schallquelle in oder unmittelbar vor (über) einer reflektierenden Fläche wurde in der obigen Formel bereits mit berücksichtigt (siehe Kapitel 4.2.2.1.). Dementsprechend sind für senkrechte Wandflächen, die in den Viertelraum abstrahlen, die nach der aufgeführten Formel errechneten Schallpegel nur um 3 dB zu erhöhen.

ΔL berücksichtigt den Pegelsprung beim Übergang vom Schallfeld innerhalb des Gebäudes zum Schallfeld außerhalb des Gebäudes. Bei diffusem Schallfeld in der Halle und Freifeld außerhalb des Gebäudes ist $\Delta L = 6 \text{ dB}$. Liegt kein diffuses Schallfeld im Aufstellungsraum vor, nimmt ΔL kleinere Werte an.

Für die Berechnung der Schallabstrahlung eines Außenhautelementes ist als Innenpegel der in etwa 1 m Ab-

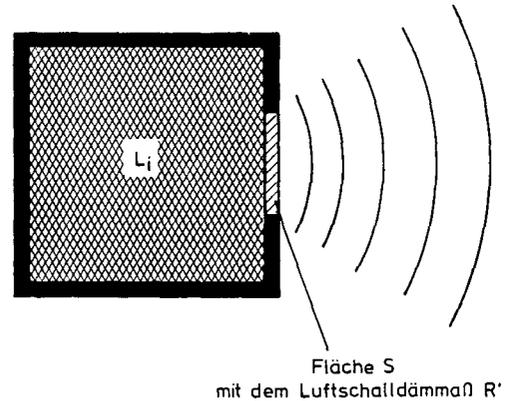


Abb. 1: Schallabstrahlung eines Außenhautelementes

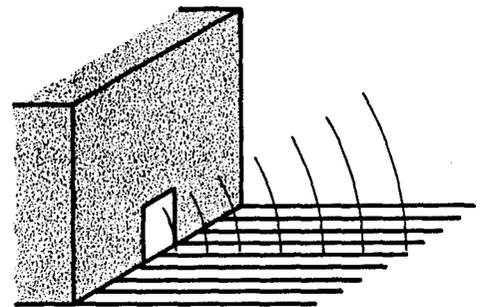


Abb. 2: Schallabstrahlung aus einem Tor

stand von der Außenhaut im Inneren der Halle herrschende Schallpegel maßgebend. Er kann an einzelnen Stellen der Halle unterschiedliche Werte annehmen. Wird dieser Pegel z.B. durch Messung in einer Halle mit ähnlichen räumlichen Verhältnissen, vergleichbarer Ausstattung und gleichartigen Maschinen ermittelt, so ist zu beachten, daß bei den in unmittelbarer Nähe von Öffnungen oder schallabsorbierenden Wänden gemessenen Werten in der oben genannten Gleichung für L_w mit einem um 3 dB höheren Wert zu rechnen ist [1].

Für eine vereinfachende Berechnung kann der nach Abschnitt 4.2.1.1. berechnete mittlere Schalldruckpegel in der Halle herangezogen werden. Einige Anhaltswerte für den mittleren Schalldruckpegel L_i in Werkshallen sind z.B. in [1] gegeben.

Das Luftschalldämmmaß R' des betrachteten Bauteils kann aus der Literatur, siehe z.B. [1-4], aus entsprechenden Firmenangaben des Bauteilherstellers oder aus Messungen an vergleichbaren Gebäuden ermittelt werden. Dämmmaße aus Untersuchungen in Prüfständen werden in der Praxis häufig nicht erreicht, weil die betreffenden Elemente oder die Verbindungen zu anderen Bauteilen akustisch wirksame Undichtigkeiten aufweisen. Bei impulshaltigen Geräuschen ist zu erwarten, daß die Bauteile wegen der nur sehr kurzen Anregung eine größere effektive Schalldämmung besitzen als sich aus Messungen im eingeschwungenen Zustand ergibt [5].

Sofern Dämmwerte in die Rechnung eingesetzt werden, die wie z.B. in [6, 7] direkt die Differenz des Pegels in der Halle und desjenigen außen davor angeben, so ist der Pegelsprung ΔL für den Übergang vom Diffus- zum Freifeld bereits in diesem Differenzwert enthalten, so daß er nicht mehr in der oben angeführten Formel anzusetzen ist.

Für Öffnung ist $R' = 0$ dB.

Häufig werden Dämmwerte im Oktavbereich von 125 Hz bis 4 KHz bzw. im Terzbereich von 100 Hz bis 3,2 KHz angegeben. In besonderen Fällen kann jedoch gerade der tieffrequente Bereich ≤ 100 Hz für die Beurteilung des Immissionspegels wichtig sein [8]. Bei neu zu errichtenden Anlagen ist deshalb darauf zu achten, daß tieffrequente Geräusche möglichst nicht entstehen bzw. ihre Ausbreitung entsprechend verhindert wird. Bei fehlenden Angaben sind die Daten ähnlicher Anlagen heranzuziehen.

Die in der VDI-Richtlinie 2571 angegebene Beziehung zur vereinfachten Berechnung des nach außen abge-

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Wie wurde der angegebene Halleninnenpegel ermittelt? Sind die Angaben vergleichbar mit denen anderer Anlagen?
- Welche Teile der Gebäudeaußenhaut sind für die Ermittlung des Immissionspegels besonders wichtig? Sind alle Öffnungen (Tore, Fenster, Lüftungsöffnungen etc.) sowie die zugehörigen Luftschalldämmmaße berücksichtigt?
- Überprüfung der angegebenen Luftschalldämmmaße. Sind Undichtigkeiten, die sich akustisch auswirken, zu befürchten?
- Kann die Wirksamkeit von Schalldämmern z.B. durch Verschmutzung abnehmen?
- Überprüfung der Flächenangaben zu den Außenhautelementen.
- Gelten im vorliegenden Fall die Voraussetzungen für die angegebene Berechnungsformel von L_w (diffuses Schallfeld im Gebäude, Freifeld außen)?
- Wird der Schall vom Außenhautelement gerichtet abgestrahlt (s. Abschnitt 4.2.2.1)?

strahlten Schalleistungspegels mit A-bewerteten Mittelwerten bzw. Gesamtpegeln über alle Frequenzen sollte i.a. nicht verwendet werden, weil sich gegenüber der genaueren frequenzabhängigen Berechnung z.T. starke Abweichungen ergeben können [9].

Bei der Schallabstrahlung muß berücksichtigt werden, daß unabhängig von einer gerichteten Schallausbreitung durch reflektierende Flächen auch das Außenhautelement selber eine Richtcharakteristik aufweisen kann (siehe Kapitel 4.2.2.1.). Dies gilt insbesondere für Öffnungen. Meßergebnisse von Modelluntersuchungen und Formeln zur Ermittlung dieses Richtwirkungsmaßes sind z.B. in [10, 11] aufgeführt.

Das von einem Außenhautelement abgestrahlte Schalleistungsspektrum dient - wie das Schalleistungsspektrum von im Freien aufgestellten Schallquellen - zur Berechnung des Geräuschimmissionspegels im Rahmen des im folgenden Kapitel besprochenen Ausbreitungsmodells.

L i t e r a t u r

- [1] VDI-Richtlinie 2571:
Schallabstrahlung von Industriebauten (August 1976).
- [2] FASOLD, W., E. SONNTAG:
Bauphysikalische Entwurfslehre, Band 4, Bauakustik, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1973.
- [3] VDI-Richtlinie 2719:
Schalldämmung von Fenstern (Oktober 1973).
- VDI-Richtlinie 2719:
Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen (Entwurf September 1983).
- [4] SÄLZER, E., H.-U. WILHELM:
Schallschutz leichter Industriedächer.
Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf, 1974.
- [5] THOMASSEN, H.G.:
Berechnungsgrundlagen für Geräuschimmissionen in der Umgebung gewerblicher Anlagen.
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 47-55.
- [6] SPLITTGERBER, H., K.H. WIETLAKE:
Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Heft 4 (1979), 133 S.
- [7] STRAUCH, H., K.H. GOLDBERG:
Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Heft 6 (1979), 33 S.

- [8] WIETLAKE, K.H.:
Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Heft 38 (1983), 69 S.
- [9] GILG, J.:
Praktische Erfahrungen bei der Anwendung der Richtlinien VDI 2714 "Schallausbreitung im Freien"
und VDI 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten".
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 57-66.
- [10] OLDHAM, D.J., Y. SHEN:
A scale model investigation of sound radiation from a large aperture in a building.
Applied Acoustics, 15 (1982), S. 397-409.
- [11] OLDHAM, D.J., Y. SHEN:
A scale model investigation of sound radiation from building elements.
J. Sound Vib. 91 (1983), S. 331-350.

4.2.2. Ausbreitungsrechnung

In den vorigen Abschnitten wurde das Schalleistungsspektrum der Schallquellen zur Kennzeichnung der Schallemission bei Freianlagen und das von den Außenhautelementen des Gebäudes abgestrahlte Schalleistungsspektrum zur Kennzeichnung der Emission von Schallquellen in Gebäuden besprochen. Diese Schalleistungspegel stellen die Ausgangsgröße zur Berechnung des Geräuschpegels am Immissionsort dar.

Nach der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1976 wird der Schalldruckpegel am Immissionsort im Abstand s_m vom Mittelpunkt der Schallquelle nach folgender Gleichung ermittelt:

$$L_S \text{ in dB} = \underbrace{L_W + K_\Omega}_{\text{Schallemission}} - \underbrace{\Delta L_S - \Delta L_L - \Delta L_B - \Delta L_D - \Delta L_G - \Delta L_Z - \Delta L_M}_{\text{Pegelabnahme bei der Schallausbreitung}}$$

Dabei bedeuten:

L_W : Schalleistungspegel der Schallquelle bzw. des vom Außenhautelement abgestrahlten Schalls

K_Ω : Richtwirkungsmaß

ΔL_S : Abstandsmaß

ΔL_L : Luftabsorptionsmaß

ΔL_B : Bodendämpfungsmaß

ΔL_D : Bewuchsdämpfungsmaß

ΔL_G : Bebauungsdämpfungsmaß

ΔL_Z : Abschirmmaß

ΔL_M : Witterungsdämpfungsmaß

Die Schallemission wird durch L_W und K_Ω beschrieben, die Pegelabnahme bei der Schallausbreitung durch die mit negativem Vorzeichen versehenen Terme der obigen Gleichung.

ΔL_S beschreibt die Pegelabnahme einer sich verlustlos und ungehindert ausbreitenden Schallwelle; die übrigen Dämpfungsterme erfassen die darüber hinausgehenden Pegelabnahmen durch weitere physikalische Effekte bei der Schallausbreitung. Bei einer Abschätzung der oberen Grenze des Immissionspegels z.B. im Rahmen einer überschlägigen Rechnung werden diese zusätzlichen Dämpfungseinflüsse nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 6).

Die einzelnen Terme der Gleichung werden getrennt behandelt. Sie sind jedoch nicht in allen Fällen unabhängig voneinander; Hinweise dazu erfolgen an entsprechender Stelle in den nachfolgenden Kapiteln.

Nach der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986 wird der Schalldruckpegel am Immissionsort im Abstand s_m vom Mittelpunkt einer Einzelschallquelle für die mittlere Mitwindwetterlage folgendermaßen berechnet:

$$L_s \text{ in dB} = \underbrace{L_W + DI + K_O}_{\text{Schallemission}} - \underbrace{D_s - D_L - D_{BM} - D_D - D_G - D_e}_{\text{Pegelabnahme bei der Schallausbreitung}}$$

Es bedeuten:

- L_W : Schalleistungspegel
- DI : Richtwirkungsmaß
- K_O : Raumwinkelmaß
- D_s : Abstandsmaß
- D_L : Luftabsorptionsmaß
- D_{BM} : Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß
- D_D : Bewuchsdämpfungsmaß
- D_G : Bebauungsdämpfungsmaß
- D_e : Einfügungsdämpfungsmaß eines Schallschirms
nach VDI 2720, Bl. 1

Die Berechnung des Immissionspegels ist nach den beiden Entwürfen in den wesentlichen Grundzügen gleich; allerdings wurden in der neuen Fassung einige Terme der Ausbreitungsrechnung etwas abgeändert. Die nachfolgenden Kapitel gehen auf beide Richtlinienentwürfe ein. Es ist jedoch nicht beabsichtigt, eine detaillierte Anleitung zur Ermittlung der einzelnen Größen zu geben; dies kann in den Richtlinien nachgelesen werden. Vielmehr sollen Informationen zum gegenwärtigen Kenntnisstand auf dem Gebiet der Schallausbreitung gegeben werden, die über die reine Darstellung der Richtlinie hinausgehen, und es wird auf kritische Punkte hingewiesen, die bei der Erstellung und Überprüfung von Immissionsprognosen zu beachten sind.

4.2.2.1. Raumwinkelmaß, Richtwirkungsmaß

Das Richtwirkungsmaß gibt an, um wieviel dB der Schalldruckpegel der Schallquelle in der betrachteten Ausbreitungsrichtung höher oder auch niedriger ist als der einer ungerichteten Schallquelle gleicher Schalleistung in gleichem Abstand.

Eine Richtcharakteristik kann auftreten

- aufgrund reflektierender Flächen auf dem Schallausbreitungsweg
- als Abstrahleigenschaft der Schallquelle
- durch Eigenabschirmung großflächiger Schallquellen.

Die durch reflektierende Flächen auf dem Ausbreitungsweg verursachte Richtcharakteristik wird im alten Entwurf der VDI-Richtlinie 2714 dem "Richtwirkungsmaß K_{Ω} " zugerechnet, in der Neufassung wird dafür das "Raumwinkelmaß K_{Ω} " eingeführt.

Tabelle 1 enthält das nach beiden Richtlinienentwürfen gleiche Raumwinkelmaß bzw. Richtwirkungsmaß für verschiedene Abstrahlwinkel Ω , die durch reflektierende Flächen begrenzt werden. Dabei ist vorausgesetzt, daß durch Größe und Lage dieser Flächen eine nahezu vollständige Schallreflexion zum Aufpunkt erfolgt und daß keine Änderung der abgestrahlten Schalleistung z.B. durch eine reflektierende Wand in unmittelbarer Nähe zur Schallquelle auftritt [1]. Da das Abstandsmaß von einer gleichmäßig in alle Richtungen abstrahlenden Schallquelle ausgeht, muß für den am häufigsten vorkommenden Fall einer Schallquelle über reflektierender Bodenfläche zumindest $K_{\Omega} = 3$ dB eingesetzt werden.

Die in der genannten Tabelle angegebenen Werte für K_{Ω} stellen i.a. eine Abschätzung nach oben dar, weil durch Absorption an den reflektierenden Flächen ein Teil der Schallenergie verloren gehen kann. Außerdem ist zu beachten, daß der Wert von K_{Ω} von der Orientierung der reflektierenden Fläche relativ zum Immissionspunkt abhängt [2]. Für Abstände zwischen Schallquelle und Empfänger, die nicht sehr groß gegenüber der Quell- und Empfängerhöhe sind, wird in dem Richtlinienentwurf 1986 bei Schallausbreitung über hartem Boden mit einer gesondert angegebenen Beziehung gerechnet.

Falls erforderlich, muß der Einfluß reflektierender Flächen auf den Schallpegel am Immissionsort mit Hilfe detaillierter Berechnungen ermittelt werden. Angaben dazu sind insbesondere in Kapitel 7 "Reflexionen" der VDI 2714, Entwurf 1986 enthalten.

Tabelle 1 bezieht sich auf Schallquellen ohne eigene Richtcharakteristik, die nur aufgrund reflektierender Flächen in der Umgebung gerichtet abstrahlen. Daneben können Schallquellen auch ohne den Einfluß reflektierender Flächen eine durch die Quelle selbst bedingte Richtcharakteristik aufweisen. Dieser Einfluß ist gesondert im Richtwirkungsmaß zu berücksichtigen.

Schallquellen mit einer ausgeprägten eigenen Richtcharakteristik sind z.B. große Öffnungen in Gebäuden sowie die Mündungen von Schornsteinen, Kühltürmen oder Ausblaseleitungen [3-15]. Die Richtwirkung ist frequenzabhängig, so daß sie i.a. frequenzmäßig in Oktav- oder Terzbandbreite aufgegliedert berücksichtigt werden muß. Die Richtwirkung kann durch

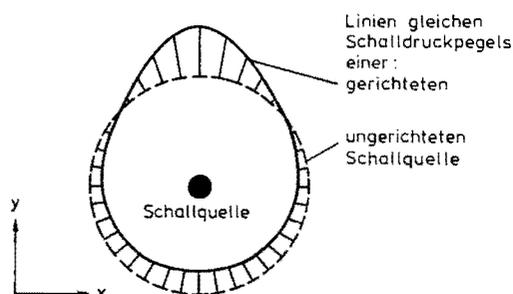


Abb. 1: Richtcharakteristik einer Schallquelle

Lage der Geräuschquelle	Ω in sr	K_{Ω} in dB
frei im Raum, hoch über dem Boden	4π	0
in oder unmittelbar vor (über) einer stark reflektierenden Fläche (z.B. Dach, Boden)	2π	+3
vor zwei aufeinander senkrecht stehenden Flächen (Kante)	π	+6
vor drei aufeinander senkrecht stehenden Flächen (Ecke)	$\pi/2$	+9

Tab. 1: Raumwinkel Ω und Raumwinkelmaß K_{Ω} entsprechend der Lage der Quellen in unmittelbarer Nähe von reflektierenden Flächen; aus VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986

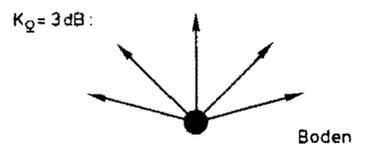


Abb. 2: Schallquelle über Boden

Streuung, z.B. innerhalb großflächiger Industrieanlagen wieder aufgehoben werden.

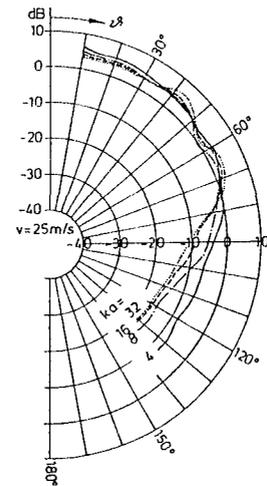
Als Beispiel wird auf das Richtwirkungsmaß an Schornsteinöffnungen eingegangen. Eine ausführliche Beschreibung dazu ist z.B. in [8, 9] gegeben.

Die Richtcharakteristik von Schornsteinöffnungen hängt von einer Reihe von Parametern ab. So sind folgende Faktoren zu beachten:

- Innendurchmesser des Kamins,
- Verteilung der verschiedenen Schallfeldkomponenten innerhalb des Schornsteins,
- Frequenz des abgestrahlten Schalls,
- Geschwindigkeit und Temperatur der Abgase,
- Temperatur der Umgebungsluft,
- Geschwindigkeit und Richtung des Windes.

In Abb. 3 [10] ist der mittlere Verlauf gemessener Richtwirkungsmaße für die angegebenen Parameterwerte aufgetragen. Es ist deutlich die bevorzugte Abstrahlung nach oben und zur Seite zu erkennen, während nach unten nur vergleichsweise wenig abgestrahlt wird. Aus diesem Grunde können Schornsteingeräusche - ebenso wie die Geräusche von Kühltürmen - in etwas entfernten, aber seitlich gelegenen Immissionsgebieten oft deutlicher wahrgenommen werden als in unmittelbarer Nähe. Dies ist bei der Auswahl der Immissionspunkte für die Prognose und auch für Messungen zu beachten.

Die durch Eigenabschirmung großflächiger Schallquellen verursachte Richtcharakteristik ist insbesondere bei schallabstrahlenden Gebäudeteilen zu beachten. Dieser Fall wird im vorliegenden Bericht wie im Richtlinienentwurf 1976 im Rahmen der Besprechung des Abschirmmaßes (siehe Kapitel 4.2.2.8.) abgehandelt.



- $k \cdot a$ = Verhältnis Umfang der Schornsteinmündung/Schallwellenlänge
- r = Abstand des Immissionspunktes von der Schornsteinmündung
- a = Radius der Schornsteinmündung
- T = Temperatur der Rauchgase
- v = Geschwindigkeit der Rauchgase
- ϑ = Schallaustrittswinkel relativ zur Kaminachse

Abb. 3: Mittlerer Verlauf gemessener Richtwirkungsmaße, $r/a \approx 3$, $T \approx 125$ C, $v = 25$ m/s, nach [10]

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Begrenzen reflektierende Flächen die Schallausbreitung? Wie sind die reflektierenden Flächen relativ zur Schallquelle und zum Immissionsort angeordnet? Wie groß sind sie? Welchen Absorptionsgrad weisen diese Flächen auf?
- Welche eigene Abstrahlcharakteristik besitzt die Schallquelle? Von welchen Parametern hängt die Abstrahlcharakteristik ab? Wie sind Schallquelle und Immissionsort relativ zueinander angeordnet?
- Tritt eine Richtcharakteristik aufgrund der Eigenabschirmung der Schallquelle auf (s. Kapitel 4.2.2.8)?

L i t e r a t u r

- [1] WATERHOUSE, R.V.:
Output of a sound source in a reverberation chamber and other reflecting environments.
J. Acoust. Soc. Am., 30 (1958), S. 4-13.
- [2] THOMASSEN, H.G.:
Berechnungsgrundlagen für Geräuschmissionen in der Umgebung gewerblicher Anlagen.
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 47-55.
- [3] BERANEK, L.L.:
Acoustics.
McGraw-Hill Book Comp., New York 1954.
- [4] OLDHAM, D.J., Y. SHEN:
A scale model investigation of sound radiation from a large aperture in a building.
Applied Acoustics, 15 (1982), S. 397-409; siehe auch Zitate dort.
- [5] OLDHAM, D.J., Y. SHEN:
A scale model investigation of sound radiation from building elements.
J. Sound Vib., 91 (1983), S. 331-350.
- [6] HUBERT, M.:
Schallabstrahlung aus Rohren.
5. Congrès International d' Acoustique, Liège 1965, F25.
- [7] SCHILZ, W.:
Richtcharakteristik der Schallabstrahlung einer durchströmten Öffnung.
Acustica, 17 (1966), S. 364-366.
- [8] EGERBORG, B., S. SÖDERQUIST, G. WESTERBERG:
Geräuschbildung an Schornsteinen.
VGB Kraftwerkstechnik, 58 (1978), S. 748-752.
- [9] REINICKE, W., J. DANNER:
Schallabstrahlung von Schornsteinen.
Forschungsbericht 105 03 301 der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-FB
81-033, Texte 17/81 des Umweltbundesamtes, Berlin 1981, verbesserte Neuauflage Berlin 1984.
- [10] REINICKE, W.L.:
Schallabstrahlung von Industrieschornsteinen.
Fortschritte der Akustik, DAGA '80 (1980), S. 205-208.
- [11] REINICKE, W.:
Über die Geräuschabstrahlung von Naturzugkühltürmen.
TÜ, 16 (1975), S. 227-231.
- [12] Lärmschutz bei Kraftwerken.
Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, bearbeitet vom TÜV
Rheinland e.V. und der VGB Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber e.V.,
Düsseldorf 1981.
- [13] VDI-Richtlinie 3733:
Geräusche bei Rohrleitungen (Entwurf September 1983).

- [14] MITTAG, K., P. ROTHFUSS:
Schallemissionspegel einer Raffineriehochfackel in Abhängigkeit von Betriebsbedingungen.
Forschungsbericht 135-05, DGMU Berichte der Deutschen Gesellschaft für Mineralölwissenschaft
und Kohlechemie e.V., Hamburg 1981.
- [15] SCHUPP, G., U. STEPHENSON:
Messung der Schallausbreitung aus einem Kühlturm.
Fortschritte der Akustik, DAGA '85 (1985), S. 253-256.

4.2.2.2. Abstandsmaß

Das Abstandsmaß ΔL_s bzw. D_s beschreibt die Pegelabnahme einer sich verlustlos und ungehindert ausbreitenden Schallwelle. Diese entfernungsbedingte Pegelabnahme ist u.a. von der Form der Schallquelle und vom Abstand zur Schallquelle abhängig [1, 2].

Für punktförmige Schallquellen mit sich kugelförmig ausbreitenden Schallwellen ist

$$\Delta L_s = 10 \log \frac{4 \pi \cdot s_m^2}{s_0^2}$$

s_m : Abstand zwischen Quellenmitte und Aufpunkt
(Immissionsort)

s_0 : 1 m

Ausgedehnte Schallquellen oder Gruppen von Schallquellen können auch als punktförmig behandelt werden, wenn der Abstand s_m mehr als das 1,5-fache (Entwurf 1976) bzw. mehr als das 2-fache (Entwurf 1986) ihrer größten Ausdehnung E beträgt:

$$s_m > 2 \cdot E \quad (\text{VDI 2714, Entwurf 1986}).$$

Größere Schallquellen oder Schallquellengruppen werden so in kleinere Teilquellen aufgeteilt, daß für die einzelnen Teile diese Bedingung erfüllt ist.

Der für die Ausbreitungsrechnung heranzuziehende Mittelpunkt der Schallquelle ist, insbesondere bei Quellen mit ungleichmäßiger örtlicher Verteilung der Schalleistungsanteile und bei unregelmäßiger Form, kritisch zu überprüfen, da er nicht mit dem geometrischen Mittelpunkt zusammenzufallen braucht. Dies wird z.B. in [3] diskutiert. Gegebenenfalls ist das Gebiet mit den Schallquellen in kleinere Teile aufzuteilen, die als punktförmig betrachtet werden können.

Die Schallausbreitung bei Linienschallquellen, wie sie beim Straßen- oder Schienenverkehr auftritt, ist ausführlich z.B. in DIN 18005, Teil 1 [4] abgehandelt und wird hier nicht weiter besprochen. Ebenso wird hier nicht auf Sonderfälle wie z.B. die Schallausbreitung in Kanälen oder Rohren [5-11] oder über Wasser [12] eingegangen; dafür ist die Fachliteratur heranzuziehen.

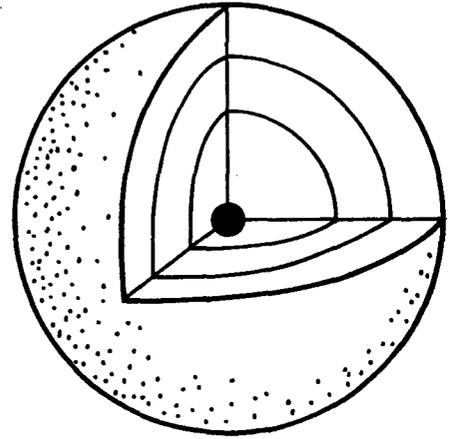


Abb. 1: Schallausbreitung bei einer Punktschallquelle : Hüllflächen gleicher Schallintensität

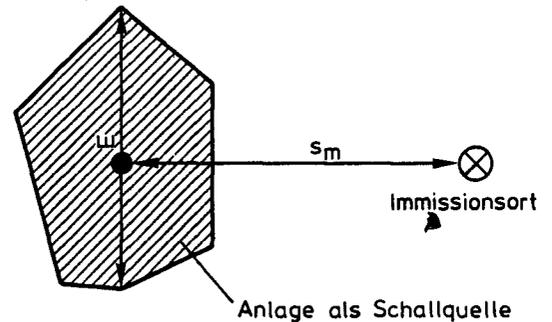


Abb. 2: Ausgedehnte Schallquelle

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Welche Schallquellenform liegt vor (Punkt-, Linien-, Flächenschallquelle)? In welcher Entfernung befindet sich der Immissionsort im Vergleich zur Ausdehnung der Schallquelle?
- Wo liegt der für die Ausbreitungsrechnung heranzuziehende akustische Mittelpunkt bei ausgedehnten Schallquellen?
- Liegen Besonderheiten vor, die im Abstandsgesetz zu berücksichtigen sind, z.B. Ausbreitung über Wasser, in Kanälen oder Rohrleitungen, etc.?
- Ist Körperschallübertragung möglich?

L i t e r a t u r

- [1] RATHE, E.J.:
Note on two common problems of sound propagation.
J. Sound Vib., 10 (1969), S. 472-479.
- [2] MAEKAWA, Z.:
Noise reduction by distance from sources of various shapes.
Applied Acoustics, 3 (1970), S. 225-238.
- [3] STRAUCH, H.:
Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Heft 21 (1982), 92 S.
- [4] DIN 18005, Teil 1:
Schallschutz im Städtebau, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen (Entwurf April 1982).
- [5] CREMER, L., H.A. MÜLLER:
Die wissenschaftlichen Grundlagen der Raumakustik, Band II, Wellentheoretische Raumakustik,
2., völlig neubearb. Aufl., S. Hirzel Verlag, Stuttgart 1976.
- [6] AUTORENKOLLEKTIV:
Lärmbekämpfung.
Verlag Tribüne, Berlin 1974.
- [7] BERANEK, L.L.:
Noise reduction.
McGraw-Hill Book Comp., New York 1960.

- [8] VDI-Richtlinie 3733:
Geräusche bei Rohrleitungen (Entwurf September 1983).
- [9] VDI-Richtlinie 2081:
Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen (März 1983).
- [10] REINICKE, W., J. DANNER:
Schallabstrahlung von Schornsteinen.
Forschungsbericht 105 03 301 der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes, UBA-FB 81-033, Texte 17/81 des Umweltbundesamtes, Berlin 1981, verbesserte Neuauflage Berlin 1984.
- [11] REINICKE, W.:
Schalldämpfung längs großer Rauchgasrohre.
Fortschritte der Akustik, DAGA '81 (1981), S. 263-266.
- [12] BAUER, H., J. MÜLLER:
Schallausbreitung über Wasser.
Forschungsbericht des RWTÜV Essen im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN-Nr. 105 02 605, Berlin 1981.

4.2.2.3. Luftabsorptionsmaß

Das Luftabsorptionsmaß ΔL_L bzw. D_L gibt die zusätzliche Abnahme des Schallpegels auf dem Ausbreitungsweg durch die Absorption in der Luft an. Dabei spielt hauptsächlich die Schallabsorption durch Anregung der Sauerstoffmoleküle in der Luft eine Rolle, siehe z.B. [1, 2]. Das Luftabsorptionsmaß ist von der Temperatur und der Feuchte der Luft und sehr stark von der Frequenz abhängig und der Länge des Schallweges proportional. Es gilt:

$$\Delta L_L \text{ in dB} = \alpha_L \cdot s_m$$

α_L : Dämpfungskoeffizient der Luftabsorption, siehe z.B. [3]

s_m : Länge des Schallweges zwischen Schallquelle und Immissionsort

Für Planungszwecke wird mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von 70 % und einer Temperatur von 10°C gerechnet. Entsprechende Wertetabellen für α_L sind in der VDI-Richtlinie 2714 enthalten.

Die Luftabsorption steigt für hohe Frequenzen stark an. Deshalb verschiebt sich der Schwerpunkt der Frequenzzusammensetzung der Geräuschimmissionen auf dem Ausbreitungsweg zu tiefen Frequenzen hin. Dies ist bei der Auslegung von Minderungsmaßnahmen zu beachten, weil durch die Luftabsorption der hochfrequente Frequenzbereich bei größeren Entfernungen am Immissionspunkt auch ohne besondere Maßnahmen stark herabgesetzt ist. Aus diesem Grund ist eine frequenzabhängige Rechnung zumindest bei größeren Entfernungen immer sinnvoll und notwendig.

Für Überschlagsrechnungen mit A-Schallpegeln kann man bei üblichen Industriegeräuschen, deren Frequenzschwerpunkt häufig im Bereich um 500 Hz liegt, mit einem Dämpfungskoeffizienten der Luftabsorption von ca. 0,2 dB pro 100 m rechnen. Höhere Frequenzen werden stärker gedämpft, niedrigere Frequenzen weniger stark.

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Kontrolle der wirksamen Länge des Schallweges (bei Reflexionen: gesamter Laufweg) und der zugrunde gelegten Parameter für das Luftabsorptionsmaß.

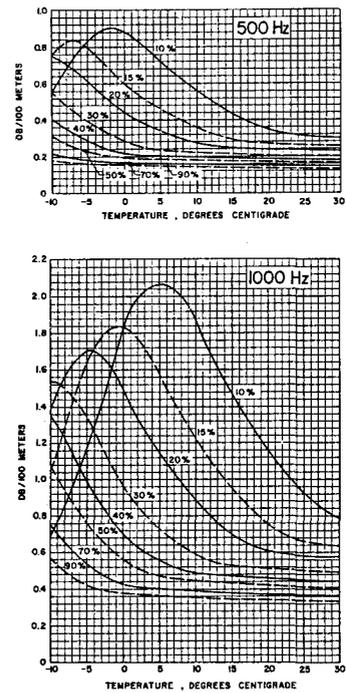


Abb. 1: Dämpfungskoeffizient der Luftabsorption als Funktion der Temperatur für 500 Hz und 1000 Hz. Parameter: relative Luftfeuchtigkeit. Aus [3].

Terzmittelfrequenz Hz	α_L 10^{-2} dB/m	Oktavmittelfrequenz Hz	α_L 10^{-2} dB/m
50	0,0		
63	0,0		
80	0,0		
100	0,0		
125	0,1	125	0,1
160	0,1		
200	0,1		
250	0,1	250	0,1
315	0,1		
400	0,2		
500	0,2	500	0,2
630	0,3		
800	0,4		
1000	0,4	1000	0,4
1250	0,6		
1600	0,8		
2000	1,0	2000	0,8
2500	1,5		
3150	2,1		
4000	3,1	4000	2,1
5000	3,7		
6300	5,2		
8000	7,6	8000	5,2
10000	11,1		

Anmerkungen:

1. Die Werte der Terzbänder gelten für die Terzmittelfrequenzen.
2. Für die Oktavbänder ab 2000 Hz sind die Werte der unteren Terz des betreffenden Oktavbandes angegeben. Dadurch wird berücksichtigt, daß sich der den Schallpegel bestimmende Frequenzbereich mit zunehmender Entfernung zu niedrigeren Frequenzen verschiebt.
3. Die Werte weichen von den für die Durchführung des Gesetzes zum Schutz gegen Fluglärm verwendeten Werten ab.

Tafel 1: Absorptionskoeffizient α_L für Luft, gültig für eine Temperatur von 10°C und eine relative Feuchte von 70 %, nach VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986.

L i t e r a t u r

- [1] MEYER, E., E.-G. NEUMANN:
Physikalische und Technische Akustik.
Friedr. Vieweg u. Sohn GmbH, Braunschweig 1967.
- [2] DELANY, M.E.:
Sound propagation in the atmosphere: A historical review.
Acustica, 38 (1977), S. 201-223.
- [3] HARRIS, C.M.:
Absorption of air versus humidity and temperature.
J. Acoust. Soc. Am., 40 (1966), S. 148-159.

4.2.2.4. Bodendämpfungsmaß

Bei der Schallausbreitung über dem Boden erfährt die sich ausbreitende Schallwelle durch Interferenz des vom Boden reflektierten Anteils mit dem direkten Anteil - siehe Abb. 1 - durch Streuung und durch Bodenabsorption i.a. eine zusätzliche Pegelminderung, die durch das Bodendämpfungsmaß ΔL_B beschrieben wird. Durch Auslöschung der Bodenwelle kann eine Pegelminderung bis zu 3 dB gegenüber der Schallausbreitung im Halbraum auftreten. Allerdings ist insbesondere bei tiefen Frequenzen ($f \leq 200$ Hz) auch eine Erhöhung des Schallpegels möglich, weil Original- und Spiegelschallquelle (siehe Abb. 1) nicht mehr als inkohärent angesehen werden können. Durch konstruktive Interferenz am Immissionsort ist ein bis zu 3 dB höherer Schalldruckpegel als bei inkohärenter Überlagerung möglich. Bei höheren Frequenzen tritt dagegen bei sehr flachem Schalleinfall durch eine starke Phasendrehung bei der Reflexion nahezu eine Auslöschung der Pegel am Immissionsort auf [1]. Dieser Frequenzbereich hängt von der Sender-Empfänger-Geometrie und von der Bodenbeschaffenheit ab.

Der Einfluß des Bodens auf die Schallausbreitung hängt von vielen Parametern ab und entzieht sich im allgemeinen einer genauen Berechnung. Zur Vereinfachung der Vorgehensweise bei der Erstellung von Geräuschprognosen wurde in der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf Dezember 1976, eine Konvention getroffen, nach der für Planungszwecke mit folgender frequenzunabhängigen Zusatzdämpfung ΔL_B zu rechnen ist, die die Abweichung von der Modellvorstellung des total reflektierenden Bodens und der inkohärenten Überlagerung nach Kapitel 4.2.2.1. beschreibt:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta L_B = 2 \text{ dB für } s_m > 10 (h_Q + h_A) \\ \Delta L_B = 0 \quad \text{für } s_m < 10 (h_Q + h_A) \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{VDI 2714,} \\ \text{Entwurf 1976} \end{array}$$

Dabei bedeuten:

- s_m : Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort, siehe Abb. 2
- h_Q : Höhe der Quelle über dem Boden
- h_A : Höhe des Aufpunktes (Immissionsort) über dem Boden.

Bei der Anwendung dieser Beziehung kann nicht rein schematisch vorgegangen werden, da die übrigen Ausbreitungsbedingungen auf dem Schallausbreitungsweg mit zu berücksichtigen sind. Insbesondere ist es nicht sinnvoll, im Übergangsbereich der o.g. Bezieh-

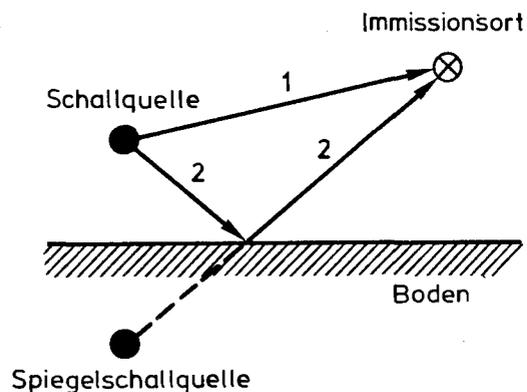


Abb. 1: Überlagerung des direkten (1) und des am Boden reflektierten (2) Schallstrahls.

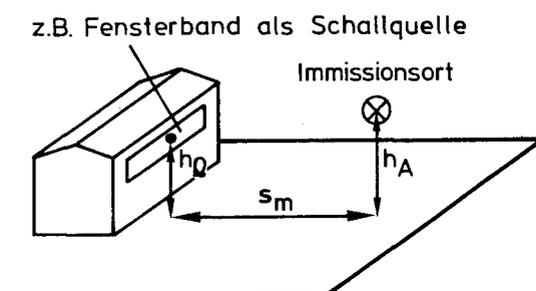


Abb. 2: Zur Ermittlung des Bodendämpfungsmaßes

ung z.B. durch eine geringfügige Verschiebung des Standortes der Schallquelle eine Schallminderung von 2 dB erreichen zu wollen. Bei größeren Abständen zwischen Schallquelle und Immissionsort kann die Bodendämpfung durch den Einfluß des Wetters, insbesondere des Windes aufgehoben werden (siehe auch Kapitel 4.2.2.5. und 4.2.2.8.). Befindet sich auf dem Ausbreitungsweg ein Tal oder eine Bodensenke, so ist der Bodeneinfluß sicher gering. Durch Errichtung eines Schallhindernisses kann ein Bodeneinfluß, der ohne das Hindernis vorhanden ist, aufgehoben werden, ebenso durch Reflexion und Streuung an hochliegenden Flächen oder Streukörpern. In Zweifelsfällen erscheint es eher gerechtfertigt zu sein, keine zusätzliche Bodendämpfung bei der Planung zu berücksichtigen.

Die Einflüsse des Bodens und der Witterung auf die Schallausbreitung sind eng miteinander verknüpft und lassen sich im allgemeinen nicht getrennt voneinander ermitteln. Deshalb ist das Bodendämpfungsmaß immer im Zusammenhang mit dem Witterungsdämpfungsmaß zu sehen; beide Terme stellen ein aufeinander abgestimmtes System dar.

Im neuen Entwurf der VDI-Richtlinie 2714 sind der Einfluß des Bodens und der der Meteorologie formelmäßig zusammengefaßt. Dieses Boden- und Meteorologie-dämpfungsmaß D_{BM} wird im nächsten Kapitel besprochen. Dabei entfällt natürlich die obige getrennte Berechnung der Bodendämpfung.

In Sonderfällen, z.B. bei einzelnen Aggregaten wird im Entwurf 1986 der Bodeneffekt frequenzabhängig berechnet (siehe Anhang D des Entwurfs 1986 der VDI-Richtlinie 2714).

Eine detaillierte Berechnung des Bodeneinflusses ist weitaus differenzierter als die oben aufgeführte Konvention und läßt sich nur in Sonderfällen durchführen. Dies wird im folgenden näher erläutert.

Die zahlreichen bisher durchgeführten Messungen zeigen, daß die durch den Bodeneinfluß verursachte Zusatzdämpfung von folgenden Parametern abhängt:

- Sender-Empfänger-Geometrie
- Schallfrequenz
- Witterung
- akustische Oberflächenbeschaffenheit des Bodens
- Geometrie der Bodenoberfläche.

Als kleine Literaturlauswahl siehe [2-19].

Ein Beispiel für den Einfluß des Bodens ist in Abb. 3

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Überprüfung der geometrischen Bedingung, ob eine zusätzliche Minderung des Schallpegels am Immissionsort durch den Boden möglich ist.
- Überprüfung des Geländeverlaufs zwischen Schallquelle und Immissionsort. Liegt eine Bodensenke oder ein Tal auf dem Ausbreitungsweg? Wird die Bodendämpfung durch Schallhindernisse beeinflusst?
- Wird der Bodeneinfluß durch Reflexionen oder Streuung an hochliegenden Flächen oder Streukörpern aufgehoben?

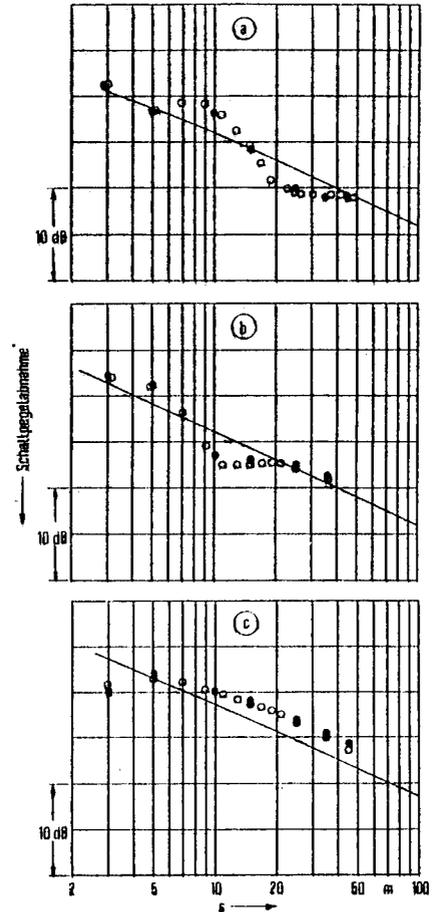
[16] dargestellt, die Meß- und Rechenergebnisse der Schallpegelabnahme als Funktion der Entfernung s von der Schallquelle für verschiedene Schallquellenhöhen enthält. Der Boden bestand aus feuchter Grasfläche. Als durchgezogene Gerade ist jeweils die Schallpegelabnahme mit eingezeichnet, die sich allein aufgrund des Abstandsmaßes ergibt.

Man erkennt aus diesen Abbildungen, daß die entfernungsbedingte Schallpegelabnahme je nach Sender-Empfänger-Geometrie unterschiedlich ist. Dabei können, wie bereits ausgeführt, auch höhere Schallpegel auftreten, als sich allein aus dem Abstandsmaß ergeben würde. Für andere Frequenzen ergeben sich wieder andere Verhältnisse.

Die Frequenzabhängigkeit dieser Einflüsse scheint sich jedoch bei großen Anlagen mit vielen Schallquellen weitgehend auszumitteln [21]. Nur bei konzentrierten Einzelschallquellen kann die vereinfachende Berechnung in einzelnen Frequenzbändern etwas niedrigere, in anderen deutlich zu hohe Schallpegel ergeben.

Die in Abb. 3 dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf Abstände zwischen Schallquelle und Empfänger bis ca. 50 m. In diesem quellennahen Bereich ist der Einfluß der Meteorologie gering. In größeren Entfernungen hängt das Bodendämpfungsmaß stark von meteorologischen Randbedingungen ab, weil sich die Bodenimpedanz durch Nässe oder Schnee ändert und weil der Einfallswinkel der Schallstrahlen durch Wind- und Temperaturgradienten geändert wird [20].

Insgesamt verdeutlichen diese Ausführungen, wie vielfältig sich der Einfluß des Bodens auf die Schallausbreitung auswirken kann. Eine genaue Berechnung läßt sich nur in einfachen Einzelfällen für bestimmte meteorologische Bedingungen durchführen. Nach dem gegenwärtigen Wissensstand ist es jedoch nicht möglich, eine einfache Einteilung von Bodenstrukturtypen im Hinblick auf die Dämpfungseigenschaften anzugeben [17].



$$- : L_W - 10 \lg 4 \pi s^2$$

o Rechnung

• Messung, Wintertag, feuchte Grasfläche

Teraband 1000 Hz

$$h_E = 1,6 \text{ m}$$

$$a) h_s = 3,8 \text{ m}$$

$$b) h_s = 2,0 \text{ m}$$

$$c) h_s = 0,6 \text{ m}$$

L_W : Schalleistungspegel der Quelle

s : Abstand zwischen Schallquelle und Mikrophon

h_s : Höhe der Schallquelle über Boden

h_E : Höhe des Empfängers über Boden

Abb. 3: Vergleich Messung/Rechnung der Schallausbreitung für verschiedene Höhen der Schallquelle über Boden, nach [16]

L i t e r a t u r

- [1] SCHREIBER, L.:
Schallausbreitung im Freien.
In: Taschenbuch der Technischen Akustik, Hrsg.: Heckl., M., H.A. Müller, Springer-Verlag
Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 354-371.
- [2] PIERCY, J.E., T.F. EMBLETON, L.C. SUTHERLAND:
Review of noise propagation in the atmosphere.
J. Acoust. Soc. Am., 61 (1977), S. 1403-1418.
- [3] DELANY, M.E.:
Sound propagation in the atmosphere: A historical review.
Acustica, 38 (1977), S. 201-223.
- [4] WIENER, F.W., D.N. KEAST:
Experimental study of the propagation of sound over ground.
J. Acoust. Soc. Am., 31 (1959), S. 724-733.
- [5] PARKIN, P.H., W.E. SCHOLEES:
The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Radlett.
J. Sound Vib., 1 (1964), S. 1-13.
- [6] PARKIN, P.H., W.E. SCHOLEES:
The horizontal propagation of sound from a jet engine close to the ground, at Hatfield.
J. Sound Vib., 2 (1965), S. 353-374.
- [7] SCHOLEES, W.E., P.H. PARKIN:
The effect of small changes in source height on the propagation of sound over grassland.
J. Sound Vib., 6 (1967), S. 424-442.
- [8] SCHREIBER, L., H. WITTMANN, G. VOLBERG:
Schallausbreitung in der Umgebung von Verkehrswegen und Industriegebieten in Bodennähe
in ebenem Gelände.
Schriftenreihe "Städtebauliche Forschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen
und Städtebau, Heft 03.008, Bonn 1973.
- [9] EMBLETON, T.F.W., J.E. PIERCY, N. OLSEN:
Outdoor sound propagation over ground of finite impedance.
J. Acoust. Soc. Am., 59 (1976), S. 267-277.
- [10] CHESSEL, C.J.:
Meteorological and ground effects on the propagation of aircraft noise close to the earth's
surface.
J. Sound Vib., 60 (1978), S. 251-266.
- [11] DAIGLE, G.A.:
Effects of atmospheric turbulence on the interference of sound waves above a finite
impedance boundary.
J. Acoust. Soc. Am., 65 (1979), S. 45-49.
- [12] FOSS, R.N.:
Effects of wind and ground plane attenuation on sound propagation near the ground.
J. Acoust. Soc. Am., 66 (1979), S. 1088-1092.

- [13] BOLEN, L.N., H.E. BASS:
Effects of ground cover on the propagation of sound through the atmosphere.
J. Acoust. Soc. Am., 69 (1981), S. 950-954.
- [14] RASMUSSEN, K.B.:
Sound propagation over grass covered ground.
J. Sound Vib., 78 (1981), S. 247-255.
- [15] SOOM, A., R.-R. GU:
Average excess attenuation during sound propagation from an isotropic source above grassland.
J. Acoust. Soc. Am., 70 (1981), S. 1129-1139.
- [16] VYKOUPIK, P.:
Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung über Boden.
Acustica, 52 (1982), S. 24-30.
- [17] DE JONG, B.A., A. MOERKERKEN, J.D. VAN DER TOORN:
Propagation of sound over grassland and over an earth barrier.
J. Sound Vib., 86 (1983), S. 23-46.
- [18] RASMUSSEN, K.:
On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors.
J. Sound Vib., 98 (1985), S. 35-44.
- [19] RASMUSSEN, K.B.:
Outdoor sound propagation under the influence of wind and temperature gradients.
J. Sound Vib., 104 (1986), S. 321-335.
- [20] SCHREIBER, L.:
Schallausbreitung im Freien.
Fortschritte der Akustik, DAGA '75 (1975), S. 67-79.
- [21] GILG, J.:
Praktische Erfahrungen bei der Anwendung der Richtlinien VDI 2714 "Schallausbreitung im Freien"
und VDI 2571 "Schallabstrahlung von Industriebauten".
VDI-Berichte, Nr. 476 (1983), S. 57-66.

4.2.2.5. Witterungsdämpfungsmaß, Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß

Die Schallausbreitung hängt von den physikalischen Eigenschaften der Luft ab, die sich unter dem Begriff der Witterungseinflüsse zusammenfassen lassen. Dabei sind nicht nur die Eigenschaften einzelner Punkte oder Gebiete, wie z.B. deren Temperatur oder Windrichtung und Windgeschwindigkeit von Bedeutung, sondern auch die Gradienten dieser Parameter.

Von den vielen physikalischen Größen der Atmosphäre, die die Schallausbreitung beeinflussen können, wird im allgemeinen nur der Einfluß des Windes näher betrachtet, zum Teil - allerdings sehr pauschal - auch der Höhenverlauf der Temperatur.

Nach der TA Lärm sollen die Geräuschemissionen bei der Nachprüfung, ob die Immissionsrichtwerte der TA Lärm eingehalten sind, zu einer Zeit gemessen werden, zu der die an diesem Ort vorherrschende Wetterlage gegeben ist. Allerdings ist nach üblicher Interpretation [1] die Mitwindwetterlage, bei der bei gleicher Schallemission die höchsten Pegel zu erwarten sind, mit zu berücksichtigen, auch wenn sie nicht die vorherrschende Wetterlage darstellt. Dabei wird vorausgesetzt, daß Mitwind während einer Mindestzeit im Jahr auftritt, z.B. in 25 % der Zeit.

Mitwind liegt vor, wenn der Wind aus einem Winkelbereich von $\pm 45^\circ$ um die Verbindungsgerade Schallquelle-Immissionsort zum Immissionsort hin weht.

Da unter diesen Randbedingungen i.a. immer Mitwind während mindestens 25 % des Jahres auftritt, sollte die Immissionsprognose generell von der Mitwindsituation ausgehen.

Entsprechend der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1976 ist als Anhaltswert für Planungszwecke zur Ermittlung des Mitwind-Mittelungspegels von folgender Beziehung für das Witterungsdämpfungsmaß auszugehen:

$$\Delta L_M \text{ in dB} = \frac{5 \cdot 10^{-5} \left(\frac{s_m}{s_o}\right)^2}{1 + 1,6 \cdot 10^{-5} \left(\frac{s_m}{s_o}\right)^2}$$

Mitwind-Mittelungspegel
(VDI 2714,
Entwurf 1976)

s_m : Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort
 s_o : 1 m.

Diese Beziehung geht von der Annahme aus, daß der Schall sich auf einem nach unten geöffneten Kreis-

Prüfpunkte für Prognoserechnungen

- Welche Windverhältnisse liegen in der Region vor, in der sich die Anlage befindet?
- Sind aufgrund örtlicher Gegebenheiten besondere Windverhältnisse bei der Anlage zu erwarten?
- Überprüfung des verwendeten Witterungsdämpfungsmaßes ΔL_M bzw. des Boden- und Meteorologiedämpfungsmaßes D_{BM} .

bogen mit dem Radius 5 km ausbreitet (siehe Kapitel 4.2.2.6.), und führt zu einem Immissionspegel, der langfristig dem energetischen Mittelwert bei leichtem Mitwind und leichter Temperaturinversion während der Nachtzeit entspricht. Der Radius der Schallkrümmung von 5 km ist als Konvention zu verstehen; unter praktischen Randbedingungen ergeben sich kompliziertere Schallwege [2]. Nach SCHREIBER [3] erhält man mit diesem Witterungsdämpfungsmaß Werte für den Immissionspegel, die 2 dB über dem energetischen Jahresmittelwert liegen, der dem über viele Messungen zu verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und unter verschiedenen Wetterbedingungen energetisch gemittelten Schallpegel entspricht. Weiter wird der so berechnete Mitwind-Mittelungspegel bei Wetterbedingungen, die für die Schallausbreitung günstig sind, allgemein um nicht mehr als 3 dB überschritten.

Für große Abstände s_m geht ΔL_M gegen einen Maximalwert von 3,1 dB. Unter Einbeziehung eines Bodendämpfungsmaßes von 2 dB (siehe Kapitel 4.2.2.4.) beträgt also die durch Boden und Witterung zusammen verursachte Zusatzdämpfung maximal 5,1 dB.

Wie bereits im vorigen Kapitel ausgeführt, ist das Witterungsdämpfungsmaß im Zusammenhang mit dem Bodendämpfungsmaß zu sehen. Im Neuentwurf der VDI-Richtlinie 2714 werden beide Effekte formelmäßig zusammengefaßt. Danach gilt für den Mitwindbereich als Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß:

$$D_{BM} \text{ in dB} = 4,8 - \frac{h_Q + h_A}{s_m} \left(17 + \frac{300}{s_m} \right) > 0 \quad \left. \vphantom{\frac{h_Q + h_A}{s_m}} \right\} \begin{array}{l} \text{Boden- und Meteorolo-} \\ \text{giedämpfungsmaß} \\ \text{(VDI 2714, Entwurf 1986)} \end{array}$$

Es bedeutet:

h_Q : Höhe der Quelle über Boden, in m

h_A : Höhe des Aufpunktes (Immissionsort) über Boden, in m

s_m : Abstand zwischen Schallquelle und Immissionsort, in m.

Negative Rechenwerte werden zu Null gesetzt.

Für große Abstände s_m geht D_{BM} gegen 4,8 dB. Diese Zusatzdämpfung stimmt nahezu mit der o.g. Summe aus dem Boden- und Witterungsdämpfungsmaß der VDI 2714, Entwurf 1976 für große Entfernungen überein.

Die durch Wind- und Temperaturgradienten verursachte Krümmung der "Schallstrahlen" führt zur Ausbildung von Schallschattenzonen und Bereichen mit Pegelüberhöhungen. Diese Einflüsse sind zeitlich veränderlich,

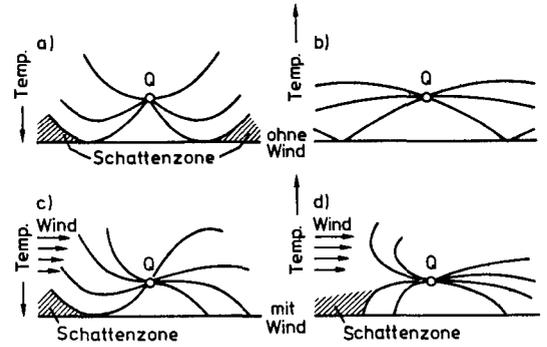


Abb. 1: Schematische Darstellung der Einflüsse von Lufttemperatur und Wind auf die Schallausbreitung (VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986)

so daß auch bei gleichbleibender Emission der Schallquelle der Pegel in größerer Entfernung deutlichen und z.T. zeitlich schnell veränderlichen Schwankungen unterworfen sein kann. Außerdem kann durch die Krümmung der "Schallstrahlen" der Einfluß des Bodens und die pegelmindernde Wirkung von Hindernissen (Abschirmwände, Bebauung, Bewuchs) herabgesetzt oder sogar aufgehoben werden (siehe die entsprechenden Kapitel). Diese Einflüsse sind jedoch nicht allgemein berechenbar und entziehen sich damit weitgehend einer Prognose.

Es gibt eine sehr große Anzahl von Untersuchungen zum Einfluß der Meteorologie auf die Schallausbreitung; eine kleine Literaturlauswahl ist in [4-16] aufgeführt.

Sehr ausführliche und systematische Untersuchungen der von einer Punktschallquelle erzeugten Schallpegel bei freier Schallausbreitung über offenem Heidegelände sind in [12] beschrieben. Dabei wurden in einem Zeitraum von ca. 6 Monaten ca. 1200 zwanzigminütige Einzelmessungen über Entfernungen von 25 m bis 1600 m durchgeführt. Die Sender- und Empfängerhöhe betrug jeweils 10 m. Als Schallsignal dienten frequenzlinear oktavbandbreit gewobbelte Sinustöne im Bereich der Oktaven mit der Mittenfrequenz von 250 Hz bis 2 kHz. Abb. 2 aus [12] zeigt die prozentuale Häufigkeitsverteilung der Momentanwerte (Abtastwerte in 0,5 s-Zeitintervallen) aus sämtlichen Messungen mit annähernd gleicher Häufigkeit aller Windrichtungen), sowie die entsprechenden Werte für die Schichtung nach Mitwind bzw. Gegenwind am Beispiel der Entfernung 800 m und der Frequenz 2 kHz. Gleichzeitig mit eingetragen ist der Normierungspegel \bar{L}_{Norm} , der sich aus dem im Nahbereich (25 m) der Quelle gemessenen konstanten Quellenpegel unter Berücksichtigung der sphärischen Ausbreitungsdämpfung und der Luftabsorption ergibt. Diese Zusammenstellung verdeutlicht die durch den Witterungseinfluß verursachte große Spannweite der Momentanpegel, die im vorliegenden Fall für alle Messungen 46 dB beträgt; für die Mitwindsituation liegt sich noch bei 34 dB. Bei einzelnen Messungen können die Spannweiten der Momentanpegelverteilungen jedoch auch wesentlich kleiner ausfallen. Die Verteilungen der Mit- und der Gegenwindpegel unterscheiden sich deutlich in ihrer Schwerpunktslage, jedoch zeigt sich ein breiter Überlappungsbereich. Der Normierungspegel wird noch von 10 % der gesamten Momentanpegel überschritten.

Die prozentuale Häufigkeitsverteilung der aus den 20-Minuten-Messungen gebildeten Mittelungspegel $L_{m,20}$, - wieder für das Beispiel der Entfernung 800 m und der Oktavmittenfrequenz 800 Hz - ist in

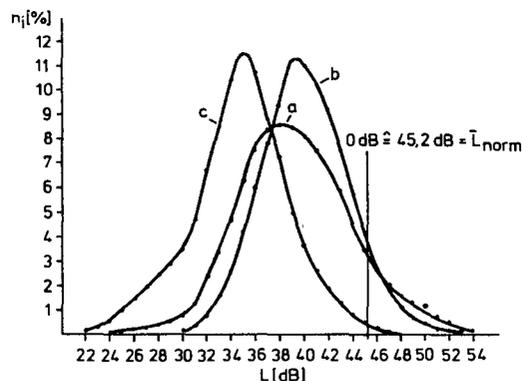


Abb. 2: Häufigkeitsverteilungen der Momentanwerte (Abtastwerte) aus sämtlichen Messungen (a), sowie für Mitwind (b) und Gegenwind (c) für die Entfernung 800 m und die Frequenz 2 kHz; [12]

Abb. 3 aufgetragen. Die Abbildung enthält die Verteilung der Mittelungspegel aus sämtlichen Messungen mit annähernd gleicher Häufigkeit aller Windrichtungen sowie die entsprechenden Werte für die Schichtung nach Mitwind und nach Gegenwind. Wieder ist eine große Spannweite zu erkennen; für geringere Entfernungen wird sie jedoch deutlich kleiner.

Für die aus den 20-Minuten-Messungen gebildeten Mittelungspegel kommt KLEIN zu der Schlussfolgerung, daß unter den vorliegenden Randbedingungen der Sender- und Empfängergeometrie in Mitwindrichtung weder frequenz- noch entfernungsabhängige Abschläge auf den Normierungspegel erfolgen dürfen, die 2 dB übersteigen. Dementsprechend schlägt er vor, für den Mitwind-Mittelungspegel eine entfernungsunabhängige konstante Zusatzdämpfung von 1 dB zum Normierungspegel zu berücksichtigen. Diese Zusatzdämpfung entspricht dem Mittelwert der beobachteten Zusatzdämpfungen bei allen Frequenzen und Entfernungen. Damit ergeben sich nach KLEIN etwas höhere Werte für den Mitwind-Mittelungspegel als nach der VDI-Richtlinie 2714.

Die bisherigen Ausführungen beziehen sich auf Mittelungspegel über relativ kurze Zeitintervalle; in der vorliegenden Untersuchung wurde über jeweils 20 Minuten energetisch gemittelt. Bei der Genehmigung von Anlagen muß jedoch sichergestellt sein, daß der Beurteilungspegel und damit im wesentlichen der Mittelungspegel über 16 Stunden tagsüber bzw. 8 Stunden nachts die vorgegebenen Immissionsrichtwerte nicht überschreitet. Bei so langen Beurteilungszeiten wird jedoch im allgemeinen nicht die ganze Zeit über eine bestimmte meteorologische Situation vorliegen. Systematische Untersuchungen über die dabei zu erwartenden Dämpfungen stehen jedoch bislang noch aus.

Zusammengefaßt zeigen diese Ausführungen, daß die Meteorologie sehr große Schwankungen des Momentanpegels hervorrufen kann. Auch die Mittelungspegel über beispielsweise 20 Minuten weisen noch erhebliche Schwankungen auf.

Im Mitwindbereich ist die Zusatzdämpfung durch Boden und Meteorologie in ebenem Gelände gering. Nach der VDI-Richtlinie 2714 beträgt sie für große Entfernungen ca. 5 dB. KLEIN schlägt eine entfernungsunabhängige Zusatzdämpfung von 1 dB auf den Normierungspegel vor.

Diese Aussagen beziehen sich auf freie Schallausbreitung. Bei der Einwirkung von Schallhindernissen (Abschirmung, Bebauung, Bewuchs) ist zusätzlich der entsprechende Meteorologieeinfluß zu berücksichtigen.

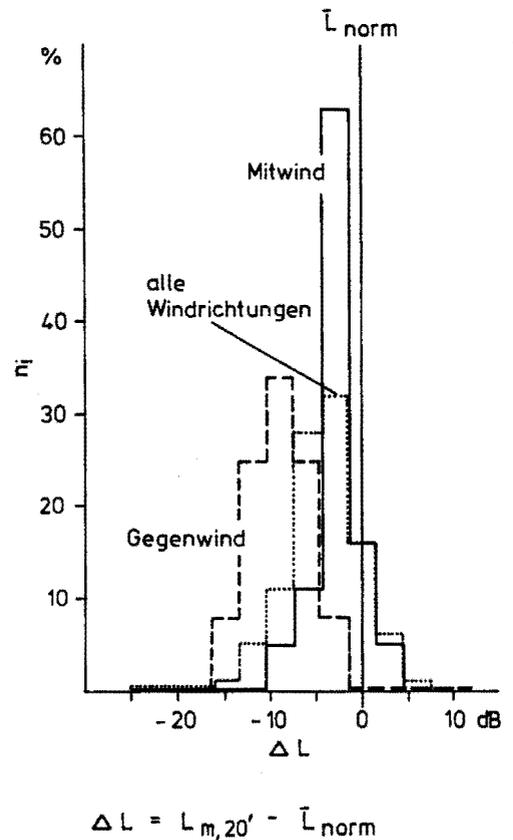


Abb. 3: Häufigkeitsverteilungen der Mittelungspegel $L_{m,20'}$ aus sämtlichen Messungen (a), sowie für Mitwind (b) und Gegenwind (c) für die Entfernung 800 m und die Frequenz 2 kHz; nach [12]

Hierzu liegen jedoch keine verallgemeinerbaren, gesicherten Erkenntnisse vor.

L i t e r a t u r

- [1] BETHGE, D., H. MEURERS:
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), Kommentar, 4., überarbeitete Auflage, Carl Heymanns Verlag KG, Köln 1985.
- [2] CASANOVAS-MARTINEZ, S.:
Untersuchungen zur Bestimmung der Verteilung von Schallpegeln bedingt durch meteorologische Einflüsse in der unteren Atmosphäre.
Bericht Nr. 326007 des TÜV Rheinland im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1977.
- [3] SCHREIBER, L.:
Schallausbreitung im Freien.
In: Taschenbuch der Technischen Akustik, Hrsg.: Heckl, M., H.A. Müller, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 354-371.
- [4] PIERCY, J.E., T.F.W. EMBLETON, L.C. SUTHERLAND:
Review of noise propagation in the atmosphere.
J. Acoust. Soc. Am., 61 (1977), S. 1403-1418.
- [5] DELANY, M.E.:
Sound propagation in the atmosphere: A historical review.
Acustica, 38 (1977), S. 201-223.
- [6] WIENER, F.W., D.N. KEAST:
Experimental study of the propagation of sound over ground.
J. Acoust. Soc. Am., 31 (1959), S. 724-733.
- [7] FOSS, R.N.:
Effects of wind and ground plane attenuation on sound propagation near the ground.
J. Acoust. Soc. Am., 66 (1977), S. 1088-1092.
- [8] CHESSEL, C.I.:
Meteorological and ground effects on the propagation of aircraft noise close to the earth's surface.
J. Sound Vib., 60 (1978), S. 251-266.
- [9] SOOM, A., R.-R. GU:
Average excess attenuation during sound propagation from an isotropic source above grassland.
J. Acoust. Soc. Am., 70 (1981), S. 1129-1139.
- [10] KLEIN, M.:
Experimentelle Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien.
Fortschritte der Akustik, DAGA '81 (1981), S. 287-290.
- [11] MARSH, K.J.:
The concave model for calculating the propagation of noise from open-air industrial plants.
Applied Acoustics, 15 (1982), S. 411-428.

- [12] KLEIN, M.:
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien.
LIS-Berichte der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Nr. 42 (1983), 102 S.
- [13] DAIGLE, G.A., J.E. PIERCY, T.F.W. EMBLETON:
Line-of-sight propagation through atmospheric turbulence near the ground.
J. Acoust. Soc. Am., 74 (1983), S. 1505-1513.
- [14] WESSELS, H.R.A., C.A. VELDS:
Sound propagation in the surface layer of the atmosphere.
J. Acoust. Soc. Am., 74 (1983), S. 275-280.
- [15] HALLBERG, B., C. LARSSON, S. ISRAELSSON:
Field measurements of meteorological effects on long-range sound propagation.
Proceedings inter-noise 85 (1985), S. 457-460, Tagungsbericht Tb 39, Schriftenreihe der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1985.
- [16] DAIGLE, G.A., T.F.W. EMBLETON, J.E. PIERCY:
Propagation of sound in the presence of gradients and turbulence near the ground.
J. Acoust. Soc. Am., 79 (1986), S. 613-627.

4.2.2.6. Bebauungsdämpfungsmaß

Bebauungen auf dem Schallausbreitungsweg - wie z.B. Gebäude, Freianlagen innerhalb oder außerhalb der zu genehmigenden Anlage oder vergleichbarer Hindernisse - können den Schallpegel am Immissionsort zusätzlich vermindern. Ohne die entsprechende Abschirmung durch die Hindernisse im Detail zu berechnen, wird die Pegelminderung pauschal durch das Bebauungsdämpfungsmaß ΔL_G bzw. D_G erfaßt.

ΔL_G hängt von der Länge des Schallweges durch die Bebauung (s. Abb. 1 bis 3) und, ausgedrückt durch den Bebauungsdämpfungskoeffizienten α_G , von der Bebauungsart und -dichte ab. Nach der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1976 wird angesetzt:

$$\Delta L_G \text{ in dB} = \alpha_G \cdot s_G \quad \left. \begin{array}{l} \text{(VDI 2714,} \\ \text{Entwurf 1976)} \end{array} \right\}$$

mit $0,01 \text{ dB/m} \leq \alpha_G \leq 0,1 \text{ dB/m}$

Es bedeuten:

α_G : Bebauungsdämpfungskoeffizient, in dB/m
 s_G : Länge des Schallweges durch die Bebauung, in m.

Auch der neue Richtlinienentwurf verwendet diese Beziehung, allerdings nur für quellennahe Industriebebauung, die zur Geräuschquelle hin keine ausgeprägte Front bildet. Dabei gilt:

$$\alpha_G = 0,05 \text{ dB/m}$$

oder, wenn genauere Erfahrungen zur Bebauungsdämpfung vorliegen:

$$0,01 \text{ dB/m} \leq \alpha_G \leq 0,2 \text{ dB/m}$$

quellennahe Industriebebauung (VDI 2714, Entwurf 1986)

Für den Fall, daß sich Bebauung an einem Verkehrsweg (Schiene oder Straße) befindet, und bei Durchtritt des Schalls von einer Einzelschallquelle durch eine Häuserzeile werden andere Beziehungen verwendet, welche die Dämpfung durch Reflexion an der Bebauungsfront und durch Streuung und Absorption in der Bebauung berücksichtigt. Bei der Dämpfung durch Reflexion geht der prozentuale Anteil an der Länge der Bebauungsfront ein, bei der Dämpfung durch Streuung und Absorption die mittlere reziproke Kantenlänge der Gebäude, die Bebauungsdichte und die Schallweglänge. Der dabei zugrunde zu legende Rechengang ist im Entwurf 1986 nachzulesen, dieser Fall wird im folgenden nicht weiter diskutiert.

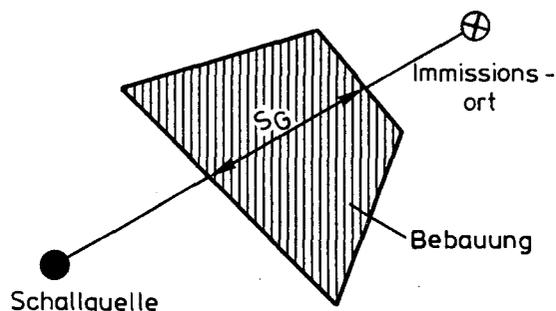


Abb. 1: Bebauung außerhalb des Werksgeländes

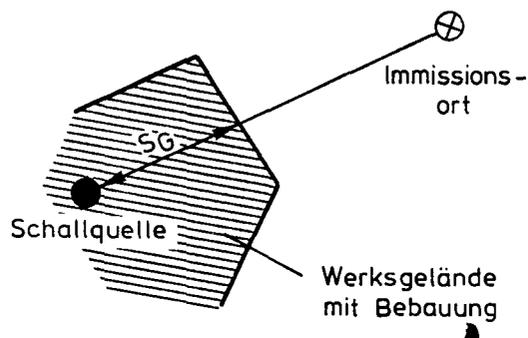


Abb. 2: Bebauung im Werksgelände

Der Neuentwurf der VDI 2714 weist darauf hin, daß die Bebauung die Ausbildung bodennaher Interferenzen stört, so daß die Zusatzdämpfung D_G unter Abzug des Boden- und Meteorologiedämpfungsmaßes D_{BM} zu bestimmen ist.

Der Schallweg durch die Bebauung wird von den Witterungsbedingungen beeinflusst, siehe z.B. [1-4], so daß das Bebauungsdämpfungsmaß witterungsabhängig ist. Bei Schallausbreitung in Mitwindrichtung und bei Temperaturinversion wird der Schall zum Boden gelenkt. Für Planungszwecke ist nach der VDI-Richtlinie 2714 von "Schallstrahlen" auszugehen, die sich auf nach unten geöffneten Kreisbögen mit einem Krümmungsradius von 5 km ausbreiten. Diese Festlegung stellt eine Konvention dar, weil sich unter realistischen Randbedingungen kompliziertere Schallwege ergeben [2]. Da die Wind- und Temperaturgradienten in der Regel jedoch nicht bekannt sind, ist eine detaillierte Berechnung der Schallwege im allgemeinen nicht möglich.

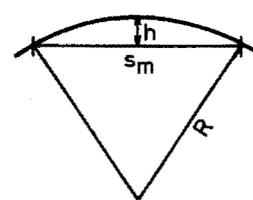
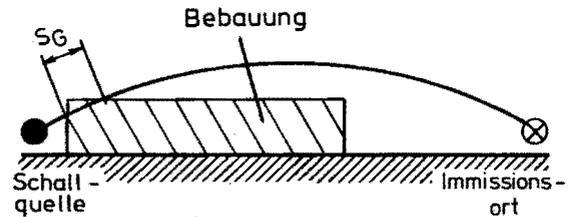
Als Strecke s_G zählt nur der Teil des Kreisbogens, der durch die Bebauung führt, siehe Abb. 3. Dadurch werden gerade bei Schallausbreitung mit dem Wind, bei der die höchsten Immissionspegel auftreten, die pegelmindernden Einflüsse durch die Bebauung und natürlich auch durch andere Hindernisse teilweise oder sogar ganz aufgehoben [5]. Dies gilt insbesondere bei großen Abständen zwischen dem Hindernis, hier der Bebauung, und dem Immissionsort.

Der Koeffizient α_G läßt sich nicht in allgemein gültiger Weise mit Bebauungssituationen verknüpfen. Wenn möglich, geht man bei der Prognose von Messungen an der vorhandenen Bebauung - falls sie schon vorliegt - oder von Meßergebnissen bei vergleichbaren Bebauungssituationen aus. Als vorsichtige Schätzung kann die weiter unten angegebene Beziehung von LESCHNIK angesehen werden.

Bei der Prognoserechnung soll das Bebauungsdämpfungsmaß 15 dB nicht überschreiten. Nach dem Entwurf 1986 der VDI 2714 gilt diese Obergrenze für das Bebauungsdämpfungsmaß einschließlich des Bodens- und Meteorologiemasses D_{BM} .

Bisher wurde ein Vielzahl theoretischer und experimenteller Untersuchungen zum Einfluß der Bebauung auf die Schallausbreitung durchgeführt, Beispiele sind in [6-19] genannt.

Abb. 4 aus [8] zeigt z.B. die Abnahme des Schallpegels mit der Entfernung in einem bebauten Gebiet in verschiedenen Richtungen. Als Schallquelle diente



$$h = R - \sqrt{R^2 - s_m^2/4}$$

Für $s_m \geq 0,5R$ gilt

$$h = \frac{s_m^2}{8R}$$

s_m	h für $R = 5 \text{ km}$
100 m	0,25 m
200 m	1 m
500 m	6,25 m
1000 m	25 m

Abb. 3: Krümmung der Schallstrahlen bei Schallausbreitung mit dem Wind und bei Temperaturinversionen

ein Signalhorn. In dieser Abb. ist deutlich die durch die Bebauung bedingte stärkere Pegelabnahme im Vergleich zum ebenfalls eingezeichneten $1/R^2$ -Gesetz der geometrischen Ausbreitungsdämpfung zu erkennen. Jedoch zeigen die Meßergebnisse, daß die Pegelabnahme mit großer Streuung in einem breiten Band verläuft. Offensichtlich hängt die Schallausbreitung in bebauten Gebieten von vielen einzelnen Parametern ab, die sich nach bisherigem Kenntnisstand nicht aus Bebauungsdaten herleiten lassen.

Systematische Untersuchungen mit dem Ziel, aus einfachen Merkmalen der Bebauung verallgemeinerungsfähige Aussagen zum Bebauungsdämpfungsmaß abzuleiten, sind von LESCHNIK, GERTIS et al. [10, 16-19] durchgeführt worden. Zur Klassifizierung der Bebauung wurde die Grundflächenzahl (GRZ) herangezogen.

Die Grundflächenzahl ist definiert als:

$$GRZ = \frac{\text{bebaute Fläche des Grundstücks}}{\text{Grundstücksfläche}}$$

Abb. 5 [18] zeigt das Ergebnis von Modelluntersuchungen mit einer Punktschallquelle. Hier ist die Zusatzdämpfung von Bauungen in Abhängigkeit vom Weg durch die Bebauung für eine Grundflächenzahl $GRZ = 0,25$ aufgetragen. Bemerkenswert ist, daß nach dieser Abbildung im Gegensatz zur Annahme der VDI-Richtlinie 2714 kein linearer Zusammenhang zwischen der Zusatzdämpfung und dem Schallweg durch das Bebauungsgebiet vorliegt.

Für punktförmige Schallquellen sind andere Ergebnisse als für Linienschallquellen zu erwarten, wie in [16] ausdrücklich vermerkt wird.

Bei der möglichen Anwendung der oben genannten Ergebnisse ist zu beachten, daß die dargestellten Zusammenhänge die zusammengefaßten "mittleren" Ergebnisse verschiedener Bebauungssituationen darstellen; in einer konkreten Einzelsituation können deutliche Abweichungen zwischen der nach obigem Verfahren vorhergesagten und der tatsächlich auftretenden Bebauungsdämpfung auftreten [18].

Insbesondere werden Immissionsorte unmittelbar im Schallschatten von Gebäuden niedrigere Immissionspegel aufweisen als die Rechnung mit mittleren Daten. Umgekehrt werden in größeren Baulücken, die vielleicht auch noch relativ wenig von der Schallquelle abgeschirmt sind, vergleichsweise höhere Pegel auftreten. An dem zur Schallquelle hin ausgerichteten Rand der Bebauung im Bereich der ersten 50 m tritt

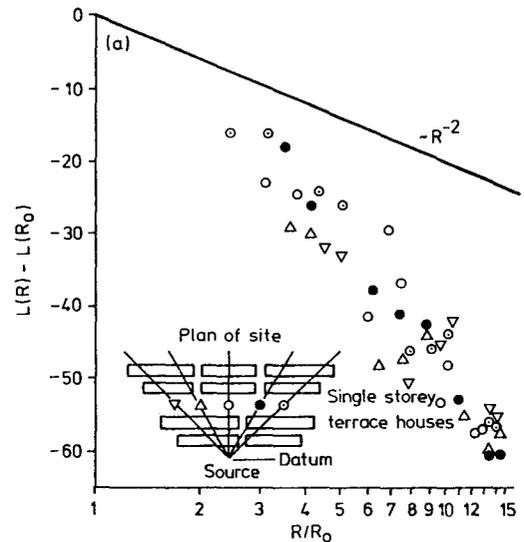


Abb. 4: Schallpegelabnahme einer zeitlich konstant abstrahlenden Schallquelle in bebautem Gebiet mit der Entfernung R ; $R_0 = 30$ ft, eingeschossige Reihenhäuser. Nach [8].

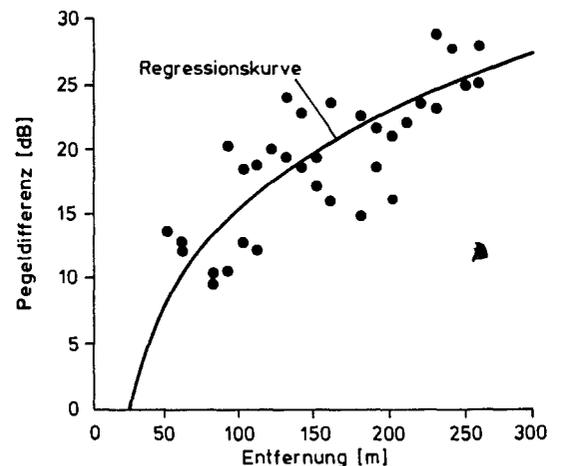


Abb. 5: Ergebnis von Modellversuchen mit einer Punktschallquelle: Zusatzdämpfung durch Bebauung für zufällig verteilte Gebäude auf teilabsorbierendem Boden; mittlerer Absorptionsgrad des Bodens: $\alpha = 0,2$; Bebauungsdichte: $0,25$. Regressionskurve aus mehreren Messungen. In der Praxis werden die im Modell ermittelten großen Zusatzdämpfungen bei großen Bebauungstiefen wegen des Einflusses von Hintergrundgeräuschen nicht gefunden. Nach [18].

häufig eine Pegelerhöhung durch Reflexionen auf [19]. Diese Punkte zeigen, daß das Konzept des Bebauungsdämpfungsmaßes nur eingeschränkt gültig ist, weil unter realen Gegebenheiten keine gleichmäßige Streuung auftritt.

Als vorsichtige Schätzung kann folgende Beziehung für Bebauungen mit $GRZ \leq 0,3$ gelten [19]:

$$\Delta L_G \text{ in dB} = 0,1 \cdot GRZ \cdot s_G$$

Für den Bereich der ersten 50 m des zur Schallquelle hin orientierten Randes der Bebauung soll die Bebauungsdämpfung nicht pauschal nach dieser Formel berechnet werden. Stattdessen ist für den jeweiligen Immissionsort im Detail die Möglichkeit von Reflexionen und Abschirmung zu prüfen. Maximal ist eine Bebauungsdämpfung von 10 dB bei Grundflächenzahlen $GRZ \leq 0,25$, ansonsten von 15 dB zu berücksichtigen.

PORADA [14, 15] weist auf Unterschiede hin bei der Berechnung des Bebauungsdämpfungsmaßes für offene Bauweisen mit unregelmäßig verteilten Streukörpern und für regelmäßig angeordnete Baukörper, wie sie Häuserzeilen in einheitlichen Bauflächen darstellen. Es berechnet die Zusatzdämpfung von Bebauungen für Punktschallquellen zu:

$$\Delta L_G \text{ in dB} = \left(4,25 \cdot GRZ \cdot \frac{BA}{100} \right) \cdot \log \frac{s_G}{s_0}$$

GRZ : Grundflächenzahl

BA : Anteil der tatsächlich bebauten Parzellen in %

s_G : Schallweg durch die Bebauung

s_0 : 1 m.

Für Entfernungen von weniger als 100 m sollten nach diesen Untersuchungen keine allgemeinen Daten für die Zusatzdämpfung angesetzt werden; hier ist eine Berechnung der Schallausbreitung im einzelnen erforderlich. Eine meßtechnische Überprüfung des Rechenmodells von PORADA in praktischen Fällen steht jedoch noch aus.

Ein relativ hoher Bebauungsdämpfungskoeffizient wurde in einer stillgelegten Raffinerie ermittelt. Die Messungen ergaben für die Bebauungsdämpfung in der Anlage vereinfachend für alle Oktaven einen Koeffizienten $\alpha_G = 0,18 \text{ dB/m}$. Dabei wurde in dieser Anlage als mittlerer Absorptionsgrad der Streukörper $\sigma = 0,02$ und als mittlere freie Weglänge der Schallstrahlen 6 m abgeschätzt.

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Überprüfung der Angaben über das zu betrachtende Bebauungsgebiet: Größe des bebauten Gebietes, Bauform (GRZ, offene oder geschlossene Bauweise, ungefähre Größe der einzelnen Baukörper).
- Überprüfung des Geländeverlaufes und der Entfernungen zwischen der Schallquelle und den Immissionsorten.
- In welche Höhe verläuft der "Schallstrahl" durch die Bebauung bei einem angenommenen Kreisbogen für die Schallausbreitung mit einem Radius $R = 5 \text{ km}$; wie lang ist der Schallweg durch die Bebauung?
- Wie wurde der Bebauungsdämpfungskoeffizient ermittelt?
- Überschreitet das Bebauungsdämpfungsmaß 10 bzw. 15 dB?
- Ist das Berechnungsergebnis in Übereinstimmung mit Meßwerten in ähnlichen Situationen; läßt sich das Bebauungsdämpfungsmaß durch Messung an der bestehenden Situation ermitteln?

Abweichungen zwischen Rechen- und Meßergebnissen können sich aufgrund der Wettersituation ergeben, weil der Schallweg durch die Bebauung - und damit auch das Bebauungsdämpfungsmaß - durch die Wind- und Temperaturverhältnisse auf dem Schallausbreitungsweg beeinflußt wird [17, 20]. Außerdem ist auch der Einfluß des Bodens auf die Schallausbreitung witterungsabhängig, so daß die Witterungsabhängigkeit der Zusatzdämpfung durch Bebauung nicht einfach zu beschreiben ist. Systematische Untersuchungen hierzu liegen nicht vor.

Zusammengefaßt zeigt diese Literaturübersicht, daß die Bestimmung des Bebauungsdämpfungsmaßes zur Zeit noch mit Unsicherheiten behaftet ist. Weitere systematische Untersuchungen sind notwendig, um die auf diesem Gebiet anstehenden Fragen beantworten zu können.

L i t e r a t u r

- [1] THOMPSON, R.J.:
Ray theory for an inhomogeneous moving medium.
J. Acoust. Soc. Am., 51 (1972), S. 1675-1682.
- [2] CASANOVAS-MARTINEZ, S., H.-G. THOMASSEN:
Berücksichtigung von meteorologischen Einflüssen auf die Schallausbreitung bei der Beurteilung von Schallpegelmessungen.
TÜ, 16 (1975), S. 45-48.
- [3] NIXDORF, K.:
Mathematische Methoden der Schallortung in der Atmosphäre.
Vieweg, Braunschweig 1977.
- [4] SCHULLER, W.:
Schallausbreitung im Freien: Krümmung der Schallstrahlen bei Witterungseinfluß.
Fortschritte der Akustik, DAGA '80 (1980), S. 187-190.
- [5] SCHREIBER, L.:
Grenzen der Wirksamkeit von Schallschutzwällen und Abschirmwänden.
Akustik und Schwingungstechnik, Berichtsband der 2. Gemeinschaftstagung der Deutschen Arbeitsgemeinschaft Akustik und Schwingungstechnik (DAGA) Stuttgart 1972, S. 394-397, VDE-Verlag GmbH, Berlin (1972).
- [6] GOYDKE, H., W. KALLENBACH, H.J. SCHRÖDER:
Untersuchung zur Schallausbreitung von Sirensignalen in Stadt- und Landgebieten.
Acustica, 20 (1968), S. 276-288.
- [7] SHAW, E.A.A., N. OLSON:
Theory of steady-state urban noise for an ideal homogeneous city.
J. Acoust. Soc. Am., 51 (1972), S. 1781-1793.

- [8] YEOW, K.W.:
Decay of sound levels with distance from a steady source observed in a built-up area.
J. Sound Vib., 52 (1977), S. 151-154.
- [9] BRADLEY, J.S.:
A study of traffic noise attenuation around buildings.
Acustica, 38 (1977), S. 247-252.
- [10] LESCHNIK, W.:
Zur Schallausbreitung in bebauten und bepflanzten Gebieten.
Acustica, 44 (1980), S. 14-20.
- [11] KUTTRUF, H.:
Ein Modell der Lärmausbreitung in Wohngebieten.
Fortschritte der Akustik, DAGA '81 (1981), S. 267-270.
- [12] KUTTRUF, H.:
A mathematical model for noise propagation between buildings.
J. Sound Vib., 85 (1982), S. 115-128.
- [13] STÜBER, B., F. LANG, K.H. KASPER, A. KALTENHAUSER:
Schallpegelabnahme innerhalb einer großflächigen Industrieanlage in offener Bauweise.
Müller-BBM-Bericht Nr. 9327, Hrsg.: Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung
und Umweltfragen, München 1982.
- [14] PORADA, W.:
Zur Pegelminderung bei der Schallausbreitung durch Bebauung.
Fortschritte der Akustik, FASE/DAGA '82 (1982), S. 463-466.
- [15] PORADA, W.:
Schallausbreitung in Gewerbegebieten.
Bericht RL 5011-2 der Peutz und Partner GmbH im Auftrag des Ministers für Arbeit,
Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1982.
- [16] GERTIS, K., W. LESCHNIK, S.R. MEHRA:
Zusatzdämpfung der Bebauung bei der Schallausbreitung in Wohngebieten.
Forschungsbericht aus dem Fachbereich Bauwesen der Universität - Gesamthochschule
Essen, Heft 21, Essen 1983.
- [17] MEHRA, S.R., K. GERTIS:
Mittelungspegel bei der Ausbreitung von Straßenverkehrslärm in Wohngebieten unter
verschiedenen meteorologischen Bedingungen.
Lärmbekämpfung, 30 (1983), S. 127-134.
- [18] HUETHORST, R., W. LESCHNIK, K. STROSCHE:
Ergebnisse von Modellversuchen zur Bebauungsdämpfung.
Fortschritte der Akustik, DAGA '84 (1984), S. 547-550.
- [19] LESCHNIK, W., V. HARTMANN:
Vorschlag zur Berücksichtigung der Bebauungsdämpfung bei Schallimmissionsprognosen.
Fortschritte der Akustik, DAGA '85 (1985), S. 155-158.
- [20] TEGEDER, K.:
Berechnung der Immission aus der Emission.
TÜ, 18 (1977), S. 235-239.

4.2.2.7. Bewuchsdämpfungsmaß

Wie bei Bebauung tritt auch bei Schallausbreitung durch höheren Bewuchs eine Zusatzdämpfung durch Streuung und durch Absorption auf, die durch das Bewuchsdämpfungsmaß ΔL_D bzw. D_D ausgedrückt wird. Nach der VDI-Richtlinie 2714 ist für Planungszwecke anzusetzen:

$$\Delta L_D \text{ in dB} = \alpha_D \cdot s_D$$

mit

α_D : Bewuchsdämpfungskoeffizient, in dB/m
 s_D : Länge des Schallweges durch den Bewuchs, in m.

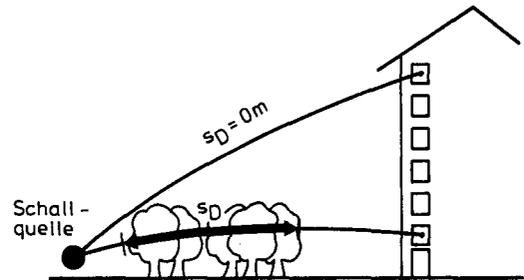


Abb. 1: Schallweg s_D durch Bewuchs

Der Schallweg s_D durch den Bewuchs wird entsprechend den Ausführungen des vorigen Kapitels ermittelt, weiter siehe auch [1].

Der Dämpfungskoeffizient α_D hängt insbesondere von der Art und Dichte des Bewuchses und von der Frequenz ab. Aus der Literatur lassen sich jedoch wie auch bei der Bebauung keine allgemein gültigen Beziehungen angeben. Als Mittelwert für den Dämpfungskoeffizienten α_D bei verschiedenen Waldarten wird im Entwurf 1976 zugrundegelegt (s. auch [2]):

$$\alpha_D \text{ in dB} \approx 0,01 \cdot \left(\frac{f}{\text{Hz}} \right)^{1/3} \quad \text{VDI 2714, Entwurf 1976}$$

f ist bei Rechnung in Terzen als Terzmittenfrequenz anzusetzen. Bei Rechnung in Oktaven wird der Wert der jeweils unteren Terz des betreffenden Oktavbandes herangezogen.

Der Entwurf 1986 der Richtlinie bleibt unter den Werten des alten Entwurfs und setzt an:

$$\alpha_D \text{ in dB} = 0,006 \left(\frac{f}{\text{Hz}} \right)^{1/3} \quad \text{VDI 2714, Entwurf 1986}$$

Für einfache Fälle, in denen die Frequenzabhängigkeit unberücksichtigt bleibt, wird nach dem Neuentwurf pauschal mit $\alpha_D = 0,05 \text{ dB/m}$ gerechnet.

Bei der Berücksichtigung von Bewuchsdämpfung in Geräuschimmissionsprognosen ist die nur minimale Pegelminderung von Laubbäumen oder Hecken in unbelaubtem Zustand zu beachten. Weiter sollte auch ein mögliches zukünftiges Abholzen des Baum- oder Hecken-

bestandes in Betracht gezogen werden. Nach dem Neuentwurf der VDI 2714 ist deshalb in der Regel kein dauernd wirksamer Schallschutz durch Bewuchs anzusetzen; nur in Sonderfällen kann man dauerhaften Bewuchs annehmen.

In Prognoserechnungen soll das Bewuchsdämpfungsmaß 10 dB nicht überschreiten (Entwurf 1976), bzw. soll die wirksame Schallweglänge im allgemeinen nicht mehr als 200 m betragen (Entwurf 1986). Bei gleichzeitiger Einwirkung von Bewuchs und Bebauung können die Dämpfungen beider Einflüsse nur bis zu maximal 15 dB addiert werden.

Werden bei der Geräuschimmissionsprognose abweichend von den oben genannten Daten andere Werte für die Bewuchsdämpfung benutzt, so ist dies zu begründen und die Herkunft zu erläutern, und es sind die zugrunde liegenden Randbedingungen anzugeben.

Der Einfluß von Bewuchs auf die Schallausbreitung wurde bisher vielfach untersucht; einige Literaturstellen sind in [3-19] aufgeführt. Dabei zeigt sich, daß die Schallausbreitung durch Bewuchs u.a. von folgenden Größen abhängt:

- a) Art des Bewuchses
- b) Alter und damit Wuchsform und Dichte des Bewuchses
- c) bei Laubbäumen: Belaubungszustand
- d) Schallfrequenz
- e) Sender-Empfänger-Geometrie
- f) Akustische Eigenschaften des Bodens
- g) Meteorologie.

Als Beispiel ist in Abb. 2 und 3 aus [14] die Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung über flachem Grasland und durch Buchenwald in Abhängigkeit von der Schallfrequenz für verschiedene Entfernungen aufgetragen. Die Zusatzdämpfung wurde aus den gemessenen Schalldruckpegeln unter Berücksichtigung der geometrischen Ausbreitungsdämpfung, der Luftabsorption und des Frequenzspektrums der Schallquelle ermittelt. Nach diesen Messungen liegt das Maximum der Zusatzdämpfung unter den vorliegenden Randbedingungen für Grasboden bei ca. 500 Hz bis 1000 Hz und für Buchenwald bei ca. 250 Hz. Dieses Maximum im relativ niederfrequenten Bereich ist auf den Bodeneinfluß zurückzuführen [7, 14, 20]. Die Unterschiede zeigen, daß sich die Bodenoberfläche im Wald von der des Grasbodens akustisch unterscheidet.

Bewuchsdämpfungskoeffizienten für verschiedene Bewuchsformen sind z.B. in [2, 4, 5, 7, 11, 14] auf-

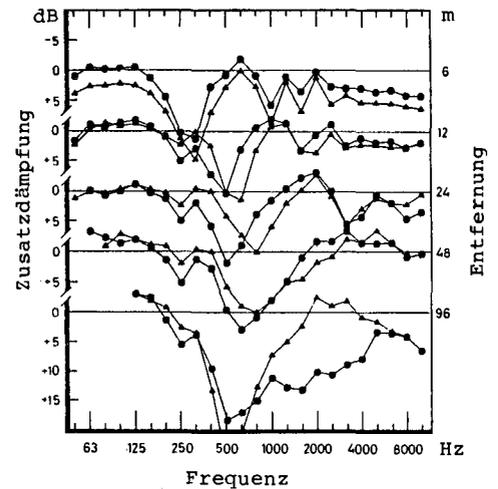


Abb. 2: Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung über ebenem Grasland für verschiedene Entfernungen zwischen Schallquelle und Empfänger. Positive Zusatzdämpfung ist nach unten aufgetragen. Empfänger auf gleicher Höhe (1,2 m) wie die Schallquelle. -•-, -▲-: Messung an verschiedenen Tagen; nach [14]

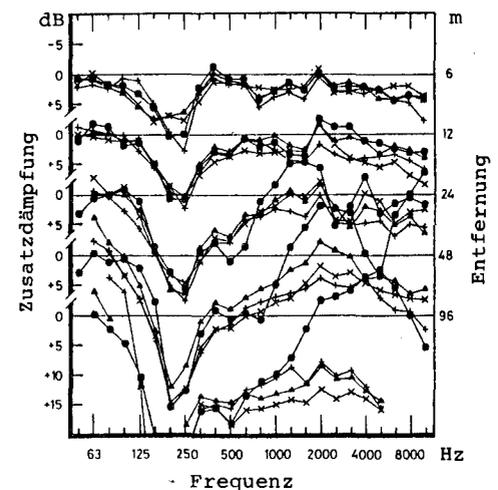


Abb. 3: Zusatzdämpfung bei Schallausbreitung durch Buchenwald für verschiedene Entfernungen zwischen Schallquelle und Empfänger. Empfänger und Schallquelle auf gleicher Höhe (1,2 m). -•-, -▲-, -x-: Messung an verschiedenen Tagen in verschiedenen Richtungen; nach [14]

geführt. Für dichten Bewuchs liegen die Dämpfungswerte für Frequenzen um 500 Hz bei etwa 0,1 bis 0,2 dB/m. Laubbäume im Winter, d.h. ohne Blätter rufen nur eine minimale Zusatzdämpfung hervor [21]. In offenen Laubwäldern [4] und am Rande des Bewuchses zur Schallquelle hin [10] kann der Pegel gegenüber den Messungen im Freifeld durch Reflexionen an den Stämmen sogar etwas angehoben werden.

Die Untersuchungsergebnisse verschiedener Autoren weichen z.T. erheblich voneinander ab, was nach [9] auf unterschiedliche Bodeneinflüsse zurückzuführen ist.

Bei Angaben zur Abnahme des Gesamtpegels über alle Frequenzen durch Bewuchs ist zu beachten, daß diese Werte von der Frequenzzusammensetzung der Geräusche abhängen.

Die durch den Bewuchs verursachte zusätzliche Schallpegelabnahme ist nicht proportional zum Laufweg, wenn die Pegelabnahme hauptsächlich durch Schallzerstreuung verursacht wird [4]; nur bei Pegelminderung durch Absorption des Schalls ist die Angabe einer längenbezogenen Dämpfungskonstante zweckmäßig. In der Praxis wird es im allgemeinen schwierig sein, beide Effekte zu trennen; die meisten Arbeiten beschränken sich auf Angaben zur Bewuchsdämpfung in dB/m.

Einige theoretische Untersuchungen sind in [12, 13, 17] aufgeführt. Eine Gegenüberstellung von Rechenergebnissen und Messungen im Wald ist für eine punktförmige Schallquelle in [13] enthalten. Dabei ergab sich bei geeigneter Parameterwahl eine gute Übereinstimmung zwischen Rechnung und Experiment. Allerdings müßte in weiteren Untersuchungen der Gültigkeitsbereich dieses Verfahrens weiter abgesteckt und die praktische Anwendbarkeit erprobt werden.

Zusammengefaßt zeigt diese kurze Literaturübersicht, daß der Einfluß von Bewuchs auf die Schallausbreitung von einer Vielzahl von Parametern abhängt, die sich im einzelnen rechnerisch zumindest zur Zeit noch nicht erfassen lassen. Damit bleibt die Prognose des Bewuchsdämpfungsmaßes nach bisherigem Wissensstand noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Weitere systematische Untersuchungen sind erforderlich, um detailliertere Aussagen machen zu können.

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Welche Art von Bewuchs liegt vor (Laubbäume, immergrüne Gehölze, Wuchsdichte und -höhe)?
- Kontrolle des wirksamen Schallweges s_D durch Bewuchs.
- Überprüfung des Bewuchsdämpfungskoeffizienten anhand von Literaturergebnissen oder Messungen.
- Überschreitet das Bewuchsdämpfungsmaß 10 dB und das Bewuchs- und Bebauungsdämpfungsmaß zusammen 15 dB?
- Ist auch langfristig der dauernde Bestand des Bewuchses in der zugrunde gelegten Form gewährleistet?

L i t e r a t u r

- [1] VYKOUPIĽ, P.:
Anmerkungen zur Bestimmung des Bewuchsdämpfungsmaßes bei Schallausbreitungsprognosen.
Z. Lärmbekämpfung, 29 (1982), S. 179-181.
- [2] KURZE, U., L.L. BERANEK:
Sound propagation outdoors.
In: Noise and Vibration Control, Hrsg.: L.L. Beranek, McGraw-Hill Book Company,
New York, 1971, S. 164-193.
- [3] EYRING, C.F.:
Jungle acoustics.
J. Acoust. Soc. Am., 18 (1946), S. 257-270.
- [4] MEISTER, F.J., W. RUHRBERG:
Der Einfluß von Grünanlagen auf die Ausbreitung von Geräuschen.
Lärmbekämpfung, 3 (1959), S. 5-11.
- [5] MEISTER, F.J., W. RUHRBERG:
Die Dämmung von Verkehrsgeräuschen durch Grünanlagen.
VDI-Zeitschrift, 101 (1959), S. 527-535.
- [6] WIENER, F.M., D.N. KEAST:
Experimental study of the propagation of sound over ground.
J. Acoust. Soc. Am., 31 (1959), S. 724-733.
- [7] EMBLETON, T.E.W.:
Sound propagation in homogeneous deciduous and evergreen woods.
J. Acoust. Soc. Am., 35 (1963), S. 1119-1125.
- [8] BECK, G.:
Pflanzen als Mittel zur Lärmbekämpfung.
2. Aufl., Schriftenreihe Landschafts- und Sportplatzbau 3, Patzer Verlag, Berlin, Hannover 1982.
- [9] AYLOR, D.:
Noise reduction by vegetation and ground.
J. Acoust. Soc. Am., 51 (1972), S. 197-205.
- [10] SCHREIBER, L., H. WITTMANN, G. VOLBERG:
Schallausbreitung in der Umgebung von Verkehrswegen und Industriegebieten in Bodennähe in ebenem Gelände.
Schriftenreihe "Städtebauliche Forschung" des Bundesministers für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Heft 03.008, Bonn 1973.
- [11] MITSCHERLICH, G., D. SCHÖLZKE:
Schalldämmung durch Wald.
Allg. Forst- u. J. Ztg., 148 (1977), 7, S. 125-143.
- [12] MAKAREWICZ, R.:
Phenomenology of sound propagation through a green belt.
J. Sound Vib., 72 (1980), S. 481-489.

- [13] LESCHNIK, W.:
Zur Schallausbreitung in bebauten und bepflanzten Gebieten.
Acustica, 44 (1980), S. 14-22.
- [14] MARTENS, M.J.M.:
Noise abatement in plant monocultures and plant communities.
Applied Acoustics, 14 (1981), S. 167-189.
- [15] OMRAN, T.A., K.A. ELSHORBAGY, A.B. EL-SAYED:
Attenuation of noise by windbreaks.
Applied Acoustics, 15 (1982), S. 389-395.
- [16] SCHAUDINISCHKY, L.H., G. SCHILLER, Y. KELLER:
Über die Schallschutzwirkung von Einzelbäumen und Waldstreifen.
Forstarchiv, 53 (1982), S. 52-57.
- [17] BULLEN, R., F. FRICKE:
Sound propagation through vegetation.
J. Sound Vib., 80 (1982), S. 11-23.
- [18] FRICKE, F.:
Sound attenuation in forests.
J. Sound Vib., 92 (1984), S. 149-158.
- [19] WILLIBRORD, H., TH. HUISMAN:
Microclimate influence on sound propagation in vegetations.
Proceedings inter-noise 85 (1985), S. 453-456, Tagungsbericht Tb 39, Schriftenreihe der
Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1985.
- [20] PIERCY, J.E., T.F.W. EMBLETON, L.C. SUTHERLAND:
Review of noise propagation in the atmosphere.
J. Acoust. Soc. Am., 61 (1977), S. 1403-1418.
- [21] SCHREIBER, L.:
Schallausbreitung im Freien.
In: Taschenbuch der Technischen Akustik, Hrsg.: M. Heckl, H.A. Müller, Springer-Verlag
Berlin, Heidelberg, New York 1975, S. 355-371.

4.2.2.8. Abschirmmaß, Einfügungsdämpfungsmaß

Während die Pegelminderung durch bauliche Hindernisse auf dem Schallausbreitungsweg relativ pauschal durch das Bebauungsdämpfungsmaß beschrieben wird, berücksichtigt das Abschirmmaß ΔL_z in detaillierterer Form den Einfluß einzelner Hindernisse. Formeln zur Berechnung des Abschirmmaßes sind in der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1976 und ausführlicher in der VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1, Entwurf 1981 [1] und Entwurf 1986 [2] angegeben. Diese Formeln unterscheiden sich und führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Für Prognoserechnungen ist die neuere VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1, Entwurf 1986 zugrunde zu legen.

Angaben speziell für den Bereich des Straßen- und Schienenverkehrs enthalten DIN 18005, Teil 1 [3] sowie die Informationsschrift "Schall 03" der Deutschen Bundesbahn [4].

Auf eine Wiederholung der Anleitungen wird hier verzichtet; statt dessen erfolgen Hinweise, die für die Interpretation der Daten bei der Überprüfung von Immissionsprognosen wichtig sind.

Bei der Diskussion über die Wirksamkeit eines Schallschirmes ist zwischen dem Abschirmmaß und den Einfügungsdämpfungsmaß zu unterscheiden. Nach der VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1 ist das Abschirmmaß die frequenzabhängige Schallpegelminderung einer Schirmkante alleine, während das Einfügungsdämpfungsmaß die Schallpegelminderung kennzeichnet, um die der Immissionspegel einer Schallquelle in einem Frequenzband durch die Errichtung eines Schallschirmes unter Berücksichtigung der vorliegenden Rand- und Umgebungsbedingungen vermindert wird. Bei üblichen Schallfeld- bzw. Umgebungsbedingungen ist das Einfügungsdämpfungsmaß in der Regel kleiner als das aus der Beugungstheorie berechnete Abschirmmaß. Dies wird durch Reflexionen, Streuung, Beugung an verschiedenen Kanten, durch gekrümmte Ausbreitungswege durch Temperatur- und Windgeschwindigkeitsprofile und durch die begrenzte Länge von Schirmen verursacht.

Das Einfügungsdämpfungsmaß D_e eines Schallschirms, der mit einer Schirmkante die Beugung des Schallfeldes von einer Schallquelle bestimmt, errechnet sich nach der VDI-Richtlinie 2720, Entwurf 1986 aus:

$$D_e = \Delta L_z - D_o + D_m \geq 0$$

Es bedeutet:

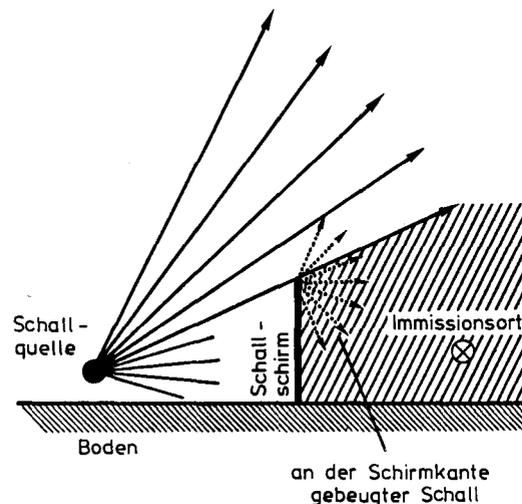


Abb. 1: Abschirmung durch einen Schallschirm

ΔL_z : Abschirmmaß des Schallschirms

D_o : Zusatzdämpfung im Ausbreitungsweg des Schalls ohne Schirm durch Bewuchs, Bebauung und Boden- und Meteorologieeinfluß

D_m : Zusatzdämpfung im Ausbreitungsweg mit Schirm durch dieselben Einflüsse.

Negative Rechenergebnisse für D_e werden zu Null gesetzt. Entsprechende Berechnungen gelten für die A-Schallpegelminderung eines Schallschirmes.

Das Abschirmmaß ΔL_z wird nach den in [2] angegebenen Formeln berechnet. Dabei gehen die Wegverlängerung durch Beugung an der Schirmkante (Schirmwert, s. Abb. 2), die Schallschwellenlänge, Parameter für verschiedene Emissions- und Ausbreitungsbedingungen und ein Korrekturfaktor K_w für Witterungseinflüsse ein.

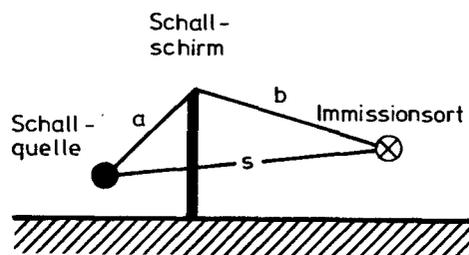
Das Abschirmmaß ist umso größer, je größer die Frequenz des Schalls und je größer der Schirmwert z ist. Große Schirmwerte z erhält man, wenn der Schallschirm hoch ist und möglichst nahe an der Quelle oder auch möglichst nahe beim Immissionsort liegt. Bei großen Abständen zwischen Schallquelle und Immissionsort ist es im allgemeinen günstiger, den Schallschirm möglichst nahe am schutzwürdigen Einsatzort zu errichten.

Zur Berücksichtigung der Strahlenkrümmung durch Windgeschwindigkeits- und Temperaturgradienten rechnet man in der genannten VDI-Richtlinie mit einem Korrekturfaktor K_w für Witterungseinflüsse in Annäherung an [5-7]. Dabei wird, abweichend von der VDI-Richtlinie 2714, ein Krümmungsradius $R = 2000$ m für $z > 0$ zugrunde gelegt. Für Schallschirme an Verkehrsanlagen ist jedoch bis zum Vorliegen von weiteren Erfahrungen mit $R = 5700$ m zu rechnen.

Bei Abständen zwischen Schallquelle und Immissionsort von weniger als 100 m ist $K_w \approx 1$. Bei Entfernungen von mehr als etwa 300 m zwischen Schallquelle und Immissionsort führt der Witterungseinfluß häufig zu einer sehr geringen Abschirmwirkung.

Das Abschirmmaß ΔL_z ist bei Beugung über eine Schirmkante (Einfachbeugung) in der Regel nicht größer als 15 dB und bei Beugung über mehrere Schirmkanten (Mehrfachbeugung) z.B. bei dicken Schallschirmen nicht größer als 20 dB.

Die Berechnung des Abschirmmaßes erfordert die Kenntnis des Geräuschespektrums. Bei Industriegeräuschen kann für Überschlagsrechnungen häufig die A-Schallpegelminderung vereinfachend mit einer



Schirmwert z für einen langen, dünnen Schallschirm:

$$z = (a + b) - s$$

Abschirmmaß:

$$\Delta L_z \text{ in dB} = 10 \lg \left(C_1 + \frac{C_2}{\lambda} \cdot C_3 \cdot z \cdot K_w \right)$$

z : Schirmwert

C_1, C_2, C_3 : Parameter, siehe VDI 2720, Bl. 1

λ : Schallwellenlänge

K_w : Korrekturfaktor für Witterungseinflüsse

ΔL_z ist bei Einfachbeugung in der Regel nicht größer als 15 dB.

Abb. 2: Abschirmmaß ΔL_z eines langen, dünnen Schirmes für eine Punktschallquelle; nach VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1, Entwurf 1986

Wellenlänge von $\lambda = 0,7$ m entsprechend einer Frequenz von etwa 500 Hz ermittelt werden.

Ein wichtiger Punkt bei der Planung von Lärmschutzwällen oder -wänden ist, daß die Abschirmeinrichtungen eine ausreichende Länge besitzen, damit nicht durch Beugung seitlich um das Hindernis die Abschirmwirkung zumindest zum Teil wieder aufgehoben wird. Ebenso vermindern Öffnungen, z.B. im unteren Bereich von Lärmschutzwänden zur Ableitung von Oberflächenwasser, und Undichtigkeiten in der Wandkonstruktion die Abschirmwirkung. Auch kann der Schallschirm durch Reflexionen und durch Streuung zum Teil überbrückt werden. Die Richtcharakteristik einer Schallquelle beeinflußt ebenfalls die Pegelminderung eines Schirmes [8].

Beim Einsatz von Schallschirmen auf nur einer Seite von der Schallquelle kann durch Reflexion an der Schirmoberfläche der Schallpegel in Richtung zur anderen Seite der Schallquelle hin erhöht werden. Dies läßt sich verhindern, wenn die zur Quelle hingewandte Seite von Schirmwänden schallabsorbierend ausgestattet ist.

Die Schalltransmission durch den Schirm kann in der Regel vernachlässigt werden, wenn das Luftschalldämmmaß der Schirmwand (s. Kapitel 4.2.1.2.) groß gegenüber dem Abschirmmaß ist. Diese Bedingung ist bei Schallschirmen mit flächenbezogenen Massen von mehr als 10 kg/m^2 meist erfüllt, sofern sie keine wesentlichen Öffnungen oder Undichtigkeiten aufweisen. Höhere Schalldämmmaße, wie sie oft aus Gründen der Werbung angeboten werden, bringen keine Vorteile.

Beim Einsatz von Schallschirmen ist auch die mögliche Akzeptanz der Lärmschutzanlagen durch den Bürger zu beachten. Je dichter die Lärmschutzanlage an die Wohnbebauung gerückt werden muß, desto schwieriger wird die subjektiv noch akzeptable Gestaltung der Anlage [9, 10]. Hier wären verstärkt alternative Lösungsmöglichkeiten wie z.B. Lärmschutzmaßnahmen an der Quelle oder eine Verlagerung von Anlagen bzw. Anlagenteilen in Betracht zu ziehen.

Eine umfassende Übersicht über den Schallschutz durch Abschirmung ist in [11] gegeben. In dieser Arbeit werden Einflußgrößen auf die Abschirmwirkung von Schallschirmen dargestellt, Erfahrungen und Bemessungsgrundlagen für spezielle Anwendungen von Schallschirmen angegeben und Berechnungsgrundlagen erläutert; weiter erfolgt eine umfangreiche Literaturzusammenstellung. Diese Arbeit diente als Grundlage zum Entwurf der VDI-Richtlinie 2720. Einige neuere Arbeiten sind in [12-23] aufgeführt.

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Kontrolle der Berechnung der Pegelminderung durch Abschirmung und der zugehörigen Eingangsdaten.
- Wurde das Abschirmmaß oder die Einfügungsdämmung zur Berechnung der Pegelminderung zugrunde gelegt?
- Ist das berechnete Abschirmmaß größer als 15 bzw. 20 dB?
- Ist ein Witterungseinfluß auf die Schirmwirkung zu berücksichtigen?
- Ist der Schallschirm ausreichend lang, damit Beugung seitlich um das Hindernis nicht wirksam werden kann? Sind Öffnungen oder Undichtigkeiten in der Lärmschutzwand vorhanden?
- Kann durch Reflexionen oder Streuung die Abschirmwirkung vermindert werden?
- Besitzt die abgeschirmte Schallquelle eine Richtcharakteristik?

Untersuchungen zur Pegelminderung von Schallschirmen ergeben Meßergebnisse in einem weiten Streubereich. Abb. 3 aus [6] zeigt die Abweichung zwischen den nach dem alten Entwurf der VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1 für Straßenverkehrsgeräusche berechneten und den gemessenen Abschirmmaßen. Neben den Streuungen, die hauptsächlich durch den Windeinfluß verursacht werden, zeigt sich auch eine systematische Abweichung in der Abstandsabhängigkeit. In dem Bericht wird ein modifiziertes Rechenverfahren für das Abschirmmaß unter Witterungseinfluß angegeben, das Ergebnisse in besserer Übereinstimmung mit den Meßwerten liefert. Wieder andere Näherungsformeln für ΔL_z wurden in [7] ermittelt.

Diese Ausführungen zeigen, daß die Berechnung des Abschirmmaßes zur Zeit noch mit Unsicherheiten behaftet ist, so daß diesem Punkt bei der Überprüfung von Prognoserechnungen besondere Aufmerksamkeit zukommen muß.

Für die Abschirmung von schallabstrahlenden Bauteilen durch das Gebäude selbst werden in den VDI-Richtlinien 2714 und VDI-Richtlinie 2571 [24] Näherungswerte für die Rechnung mit A-Schallpegeln angegeben (s. Abb. 4). Detailliertere Angaben sind in [25] nachzulesen. In der VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986 wird dieser Effekt nicht als Abschirmung von Gebäuden mit entsprechenden ΔL_z -Werten beschrieben, sondern als Richtwirkungsmaß von schallabstrahlenden Gebäudeflächen mit den zugehörigen Werten DI; die angegebenen Pegelabzüge sind jedoch in beiden Entwürfen gleich.

Die Mehrfachbeugung z.B. bei breiten Hindernissen ist in der VDI-Richtlinie 2720, Bl. 1 nachzulesen, weiter siehe auch [14, 21, 23, 26-28].

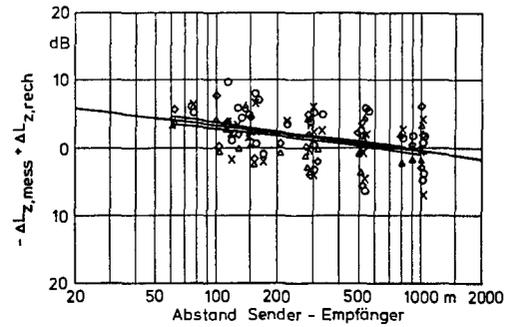
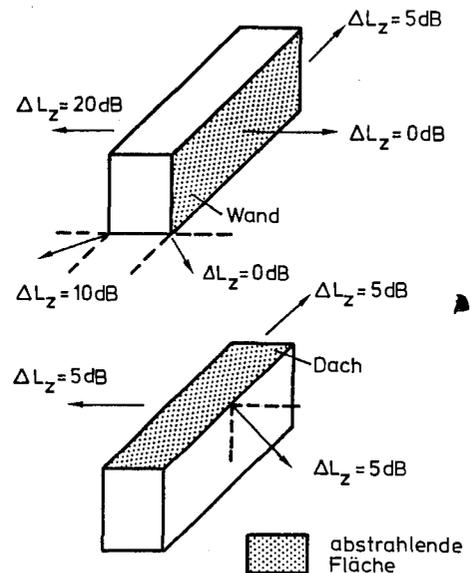


Abb. 3: Regressionsanalyse zum Abschirmmaß (Differenz von Meßwerten und von Rechenwerten nach VDI 2720, Bl. 1, Entwurf 1976). Jeder Punkt gibt den arithmetischen Mittelwert von 5 bis 9 Wiederholungen an. Aus [6].



Die für ΔL_z angegebenen Werte gelten jeweils für die in Pfeilrichtung befindlichen Aufpunkte (Wohnhäuser usw.).

Abb. 4: Näherungswerte für die Abschirmmaße ΔL_z von schallabstrahlenden Gebäudeflächen (Dach, Wand u.ä.) entsprechend VDI-Richtlinie 2571; anzuwenden für Rechnungen mit A-Schalldruckpegeln; siehe auch VDI-Richtlinie 2714, Entwurf 1986

L i t e r a t u r

- [1] VDI-Richtlinie 2720, Blatt 1:
Schallschutz durch Abschirmung im Freien (Entwurf Juni 1981).
- [2] VDI-Richtlinie 2720, Blatt 1:
Schallschutz durch Abschirmung im Freien (Entwurf Juli 1986).
- [3] DIN 18005, Teil 1:
Schallschutz im Städtebau, Berechnungs- und Bewertungsgrundlagen (Entwurf April 1982).
- [4] Information Schall 03:
Vorläufige Anweisung für schalltechnische Untersuchungen bei der Planung von Neubaustrecken.
Deutsche Bundesbahn, Bundesbahn-Zentralamt München, im November 1976, sowie: Ergänzungsblatt zur Schall 03 und 2. Ergänzungsblatt zur Schall 03.
- [5] KURZE, U.J.:
Abschirmung über große Entfernungen.
Fortschritte der Akustik, FASE/DAGA '82 (1982), S. 359-362.
- [6] KURZE, U.J., U. DONNER:
Untersuchung verschiedener Einflüsse auf die Abschirmung von Straßenverkehrsgeräuschen.
Bericht 7077/8734 der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Bundesministers für Verkehrs,
F.A. 3.134 R 81 M und F.A. 3.135 R 81 M, August 1982.
- [7] MARTINEZ, S.C., G. ROTHER, D. SONDER:
Wirksamkeit von Abschirmeinrichtungen unter Berücksichtigung von Wettereinflüssen.
Forschungsbericht 83-105 05 202 des Technischen Überwachungsvereins Rheinland e.V. im Auftrag
des Umweltbundesamtes, Berlin 1984.
- [8] ULLRICH, S.:
Das Einfügungsdämmmaß von Schallschirmen an Autobahnen im Entfernungsbereich bis 100 m.
Z. Lärmbekämpfung, 31 (1984), S. 83-85.
- [9] AURICH, H.:
Akzeptanz von Lärmschutzanlagen durch den Bürger.
Z. Lärmbekämpfung, 33 (1986), S. 22-24.
- [10] AMMERMANN, U.:
Erfahrungen bei Gestaltung, Planung und Bau von Lärmschutzanlagen.
Z. Lärmbekämpfung, 33 (1986), S. 56-59.
- [11] KURZE, U.:
Schallschutz durch Abschirmung - Grundlagen zum Entwurf der VDI-Richtlinie 2720 -.
Forschungsbericht Nr. 164 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung,
Dortmund 1980.
- [12] ISEI, T., T.F.W. EMBLETON, J.E. PIERCY:
Noise reduction by barriers on finite impedance ground.
J. Acoust. Soc. Am., 67 (1980), S. 46-58.
- [13] MENGE, C.W.:
Highway noise: sloped barriers as an alternative to absorptive barriers.
Noise Control Engineering, 14 (1980), S. 74-78.

- [14] YUZAWA, M., T. SONE:
Noise reduction by various shapes of barrier.
Applied Acoustics, 14 (1981), S. 65-73.
- [15] PORADA, W., W. SCHULLER:
Der Einfluß von Bewuchs auf die Abschirmwirkung von Lärmschutzwällen und Wänden.
Fortschritte der Akustik, DAGA '81 (1981), S. 225-228.
- [16] DAIGLE, G.A.:
Diffraction of sound by a noise barrier in the presence of atmospheric turbulence.
J. Acoust. Soc. Am., 71 (1982), S. 847-854.
- [17] RATHE, E.J.:
Akustische Wirkung der Bepflanzung von Lärmschutzwällen.
Fortschritte der Akustik, FASE/DAGA '82 (1982), S. 355-358.
- [18] NICOLAS, J., T.F.W. EMBLETON, J.E. PIERCY:
Precise model measurements versus theoretical prediction of barrier insertion loss in presence
of the ground.
J. Acoust. Soc. Am., 73 (1983), S. 44-54.
- [19] DE JONG, B.A., A. MOERKERKEN, J.D. VAN DER TOORN:
Propagation of sound over grassland and over an earth barrier.
J. Sound Vib., 86 (1983), S. 23-46.
- [20] IMELMANN, CH.:
Der Einfluß einer absorbierenden Oberfläche auf die Einfügungsdämmung von Abschirmwänden
und -wällen.
Z. Lärmbekämpfung, 31 (1984), S. 74-82.
- [21] ROUSSEAU, P.:
Sound attenuation by wide barriers on the ground.
Acustica, 55 (1984), S. 293-300.
- [22] RASMUSSEN, K.B.:
On the effect of terrain profile on sound propagation outdoors.
J. Sound Vib., 98 (1985), S. 35-44.
- [23] SCHRÖDER, P.-J.:
Abschirmung von Gebäuden in großflächigen Industrieanlagen.
Teil 1: Berechnungsgrundlagen, und Teil 2: Meßergebnisse.
Fortschritte der Akustik, DAGA '85 (1985), S. 257-260 und S. 260-264.
- [24] VDI-Richtlinie 2571:
Schallabstrahlung von Industriebauten (August 1976).
- [25] GÖSELE, K., P. LUTZ:
Untersuchungen zur Vorherberechnung der Schallabstrahlung von Fabrikhallen.
Fortschr.-Ber. VDI-Z., Reihe 11, Nr. 21, Düsseldorf 1975.
- [26] Schallausbreitung in bebauten Gebieten.
Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf 1975.

- [27] MACHTEMES, A.:
Schallschutz im Städtebau, Beispielsammlung.
Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen,
Stadtentwicklung - Städtebau, Band 2.002, Dortmund 1974.
- [28] MACHTEMES, A., K. GLÜCK:
Schallschutz im Städtebau 2, Schallpegelminderung bei typischen Baukörperformen und
-stellungen.
Schriftenreihe Landes- und Stadtentwicklungsforschung des Landes Nordrhein-Westfalen,
Stadtentwicklung - Städtebau, Band 2.021, Dortmund 1977.

4.3. Berechnung des Beurteilungspegels

Die Immissionspegel der einzelnen Schallquellen ergeben sich aus der Summation der in den vorigen Kapiteln besprochenen Terme; siehe Kapitel 4.2.2. Daraus wird zur Beurteilung der Geräuschsituation nach der TA Lärm der Beurteilungspegel L_r gebildet, der mit den Immissionsrichtwerten der Verwaltungsvorschrift bzw. mit den entsprechenden Anteilen zu vergleichen ist.

Der Beurteilungspegel L_r der zur Genehmigung anstehenden Anlage setzt sich folgendermaßen zusammen:

$$L_r \text{ in dB} = L_{\text{AFTm}} + \Delta L_{\text{Ton}}$$

$$\text{mit } L_{\text{AFTm}} \text{ in dB} = L_{\text{Am}} + \Delta L_{\text{Takt}}$$

Dabei wird L_{Am} aus den Immissionspegeln $L_{s,i}$ der einzelnen Schallquellen nach folgender Formel berechnet:

$$L_{\text{Am}} \text{ in dB} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^K 10^{0,1 (L_{s,i} + \Delta L_{\text{Zeit},i})} \right)$$

Es bedeuten:

- L_{AFTm} : Wirkpegel der zur Genehmigung anstehenden Anlage nach der TA Lärm (s. auch Kapitel 3.3.) in der Beurteilungszeit T_r mit der Frequenzbewertung A
- L_{Am} : Mittelungspegel der zur Genehmigung anstehenden Anlage in der Beurteilungszeit T_r mit der Frequenzbewertung A
- $L_{s,i}$: Immissionspegel der einzelnen Schallquellen der Anlage (s. Kapitel 4.2.2.) mit der Frequenzbewertung A
- K : Anzahl der Schallquellen der Anlage
- ΔL_{Ton} : Tonzuschlag des Anlagengeräusches
- ΔL_{Takt} : Korrekturmaß zur Ermittlung des Wirkpegels L_{AFTm} der Anlage
Es ist: $\Delta L_{\text{Takt}} = L_{\text{AFTm}} - L_{\text{Am}}$
- $\Delta L_{\text{Zeit},i}$: Korrekturmaß zur Berücksichtigung der Einwirkzeit t_i der Geräuschimmissionen der i -ten Schallquelle während der Beurteilungszeit T_r
Es ist: $\Delta L_{\text{Zeit},i} = 10 \log \frac{t_i}{T_r}$
- T_r : Beurteilungszeit nach der TA Lärm:
tags (6-22 Uhr) : $T_r = 16 \text{ h}$
nachts (22-6 Uhr) : $T_r = 8 \text{ h}$.

Einsatz einer Anlage während 8 Stunden in der Zeit von 6 bis 22 Uhr und während 2 Stunden in der Zeit von 22 bis 6 Uhr: Damit ergibt sich

$$\text{tagsüber: } \Delta L_{\text{Zeit}} \text{ in dB} = 10 \log \frac{8}{16} = -3$$

$$\text{nachts : } \Delta L_{\text{Zeit}} \text{ in dB} = 10 \log \frac{2}{8} = -6$$

Tafel 1: Beispiel zur Berücksichtigung der Einwirkzeit von Geräuschimmissionen

Alle Pegelmaße in dB.

Der Beurteilungspegel wird getrennt für den Tag und die Nacht ermittelt. Nach der TA Lärm beträgt die Nachtzeit acht Stunden; sie beginnt in der Regel um 22 Uhr und endet um 6 Uhr. Die übrige Zeit des Tages gilt als Tagzeit.

Um die Geräuschbelastung nachts zu begrenzen, dürfen die Immissionspegel den um 20 dB erhöhten Immissionsrichtwert für die Nachtzeit auch nicht kurzfristig überschreiten.

Der nach Ziffer 2.422.5, c der TA Lärm in Hinblick auf die Meßunsicherheit bei der meßtechnischen Ermittlung des Beurteilungspegels zu berücksichtigende Abzug von 3 dB ist bei der Prognose nicht anzusetzen.

Weitere Erläuterungen zu den einzelnen Termen sind der TA Lärm sowie [1-4] zu entnehmen. Im folgenden werden die Einwirkzeit, der Tonzuschlag und das Taktmaximalpegel-Korrekturmaß näher besprochen.

a) Einwirkzeit der Geräuschimmissionen

Bei der Festlegung der Einwirkzeiten t_i der Geräuschimmissionen der i -ten Schallquelle ist von der maximal möglichen Auslastung der Anlage bei bestimmungsgemäßem Einsatz auszugehen. Gelegentliche, aber immer wiederkehrende Arbeiten wie z.B. Wartungsarbeiten (Reinigungsvorgänge, Abklopfen von Elektrofiltern, etc.) sind ebenfalls mit zu berücksichtigen. Bei Verkehrsgeräuschen, die der Anlage zuzurechnen sind, zählt die Fahrt- und Betriebszeit, während der sich die Fahrzeuge im Betriebsgelände befinden. Gegebenfalls sind auch die Ein- und Ausfahrten in das Werksgelände oder davon weg mit zu erfassen (s. Kapitel 4.1.).

Bei ganz selten auftretenden Geräuschereignissen stellt sich die Frage, ob sie als schädliche Umwelteinwirkungen anzusehen sind. Nach KRANE [5] sind Betriebsvorgänge dann als selten anzusehen und damit für die Beurteilung als schädliche Umwelteinwirkung unbedeutend, wenn sie innerhalb eines Jahres nicht häufiger als zu 4 % der Beurteilungszeiten (summiert für Tage und Nächte) auftreten, die Ereignisse zufällig über das Jahr verteilt sind und nicht zusammenhängend auftreten. Dabei dürfen die einwirkenden Geräuschimmissionen allerdings nicht beliebig hoch sein; die betroffenen Anwohner müssen innerhalb der Wohnung ausreichend gegen die Geräuschimmissionen geschützt sein. Zusammengefaßt sind nach KRANE in der Prognose Geräuschereignisse nicht einzubeziehen, die weniger als 15 mal pro Jahr auftreten können und deren Beurteilungspegel 60 dB in der Nacht und 75 dB

Prüfpunkte für Prognoserechnungen

- Überprüfung der Angaben zur Betriebsdauer der einzelnen Schallquellen während der Tageszeit (6.00-22.00 Uhr) und der Nachtzeit (22.00-6.00 Uhr) für den zu genehmigenden Betriebszustand der Anlage.
- Welche gelegentlichen Arbeiten innerhalb eines längeren Zeitraums (Woche, Monat, Jahr) sind zu erwarten? Wie häufig und wie lange treten sie auf?
- Sind die Geräuschimmissionen der Anlage tonhaltig?
- Ist das Korrekturmaß zur Ermittlung des Wirkpegels nach dem Taktmaximalwertverfahren plausibel?
- Liegen Taktmaximalwertpegel einzelner Schallereignisse um mehr als 20 dB über dem zulässigen Immissionsrichtwert für die Nachtzeit?

am Tage nicht überschreiten. Um jedoch beim Einwirken von Geräuschimmissionen aus einer größeren Anzahl von Anlagen zu verhindern, daß die Summe der für sich gesehen seltenen Ereignisse der einzelnen Emittenten sich häufen, ist beim Zusammenwirken mehrerer Emittenten die Regelung der seltenen Ereignisse nicht anzuwenden.

b) Tonzuschlag

Die Frage, ob das Anlagengeräusch als tonhaltig einzustufen ist oder nicht, läßt sich bei der Prognoserechnung nicht endgültig abklären. Als Hinweis auf mögliche Tonhaltigkeit können die Terzspektren der einzelnen Schallquellen angesehen werden. Häufig erhöht ein hervortretender Einzelton in einem Terzspektrum den Pegel seiner Terz gegenüber den benachbarten Terzpegeln um 5 dB und mehr [6]. Diese Bedingung ist jedoch nicht in allen Fällen zutreffend. Neuere Untersuchungen zur Einzeltonerkennung von Geräuschen sind in [7] beschrieben. Abb. 1 zeigt die Ergebnisse zur Hörbarkeit von Einzelönen aus Breitbandgeräuschen. Daraus wird in [7] abgeleitet, daß Töne aus den Geräuschen nicht mehr herauszuhören sind, wenn ihre Schallpegel über 500 Hz etwa 7 dB, zwischen 125 Hz und 500 Hz etwa 4 dB und unterhalb 125 Hz ca. 1 dB unter dem jeweiligen Oktavpegel des Breitbandgeräusches liegen.

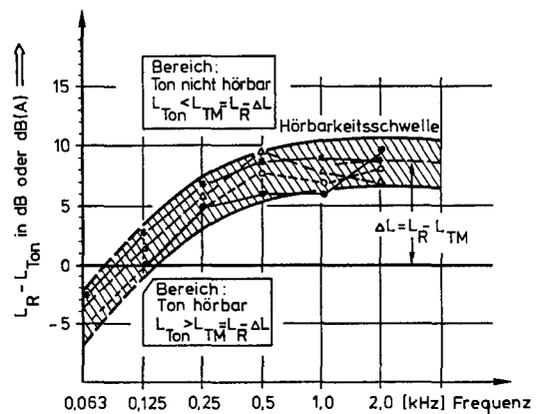
Vielfach ergibt sich aus dem Geräuscheindruck bereits bestehender gleichartiger Anlagen oder Anlagenteile und aus dem Vergleich der zugehörigen Spektren mit denen der zu genehmigenden Anlage eine Aussage über die zu erwartende Tonhaltigkeit. Auch erlaubt die Art der Schallquelle in vielen Fällen Rückschlüsse auf mögliche Einzelöne.

Da tonhaltige Geräusche besonders lästig sind, ist bei der Planung von Anlagen darauf zu achten, daß am Immissionsort keine Einzelöne auftreten.

c) Taktmaximalpegel-Korrekturmaß

Der Übergang vom prognostizierten Mittelungspegel L_{Am} zum in der TA Lärm festgelegten Wirkpegel nach dem Taktmaximalpegelverfahren wird durch das Korrekturmaß ΔL_{Takt} vermittelt. Dabei ist als Taktzeit einheitlich von 5 Sekunden auszugehen.

Dieses Korrekturmaß ist von der Zeitstruktur der Geräusche abhängig. Für zeitlich konstante Immissionen stimmt der Wirkpegel mit dem Mittelungspegel überein, und es ist $\Delta L_{Takt} = 0$ dB. Für zeitlich



Rauscharten:

- Weißes Rauschen
- Rosa Rauschen
- * Anlagenrauschen
- △ Anlagenrauschen in der Nachbarschaft

L_R = Oktavschallpegel Geräusch
 L_{Ton} = Schallpegel des Tones
 L_{TM} = Schallpegel des Tones an der Hörbarkeitsschwelle

Abb. 1: Hörbarkeit von Einzelönen aus Breitbandgeräuschen [7]

schwankende Geräusche bestimmen die Pegelmaxima den Wirkpegel, so daß dieser im allgemeinen höher als der entsprechende Mittelungspegel ist. Auch bei zeitlich konstanter Emission sind zumindest in größeren Abständen von der Schallquelle durch meteorologische Fluktuationen die Geräuschmissionen zeitlich veränderlich, so daß sich nach dem Taktmaximalpegelverfahren höhere Werte ergeben als bei energieäquivalenter Mittelung. Bei sehr großen Pegelschwankungen wie z.B. bei Schießgeräuschen kann ΔL_{Takt} 10 dB und mehr betragen [8].

Der für die Prognose einzusetzende Wert ΔL_{Takt} ist aus den Meßwerten vergleichbarer Anlagen in vergleichbarer Entfernung zu ermitteln. In Tabelle 1 sind als Beispiel für einige Geräusche die Taktmaximalpegel-Korrektmaße aufgelistet, die aus den in [8-10] angegebenen Daten zusammengestellt wurden. Man erkennt, daß in vielen Fällen ΔL_{Takt} Werte von etwa 4 dB annimmt. Nur ausgesprochen impulshaltige Geräusche, wie sie z.B. bei der Fertigung und Bearbeitung von Blechen oder in der Nachbarschaft von Rammen, Schießplätzen, Schmieden oder auch Tierheimen auftreten, können sich u.U. deutlich höhere Werte für ΔL_{Takt} ergeben.

Anlage	ΔL_{Takt} $=L_{AFTm} - L_{Am}$
Anlagenmontage [10]	4
Baustelle [10]	4
Baustofflagerplatz, 100-200 m [10]	4
Behälterbau [10]	5
Betonmischwerk, 50 m [10]	4
Eis-Speedway, 85 m [10]	4
Eis-Speedway, 200 m [10]	5
Explosionsramme [10]	8
Flaschen-Verladung, 15-35 m [9]	6
Freifallramme, 60 m [9]	13
Grobschmiede [10]	6
Halle mit Drehmaschinen [10]	5
Hammerwerk [10]	8
Hohlblockstein-Fertigung [10]	6
Hüttenwerk [10]	4
Kfz-Verkehr auf Schlachthof [10]	4
Mittelblechfertigung [10]	9
Preß- und Stanzwerk, 80 m [9]	6
Röhrenwerk [10]	4
Sägewerk, 80 m [10]	7
Sägewerk, 150 m [10]	4
Schießanlage [8]	12
Schmiede [10]	6
Schmiede, 65 m [9]	8
Schreinerei [10]	4
Schrottplatz, 50 m [9]	6
Schuttumladeplatz, 250 m [10]	3
Stanzerei [10]	4
Tierheim [10]	8
Tischlerei [10]	7
Volksfest, 90 m [10]	4
Vorfertigung von Großblechteilen	7

Tabelle 1: Korrektur zur Ermittlung des Wirkpegels für verschiedene Geräuschmissionen aus dem Gewerbebereich

L i t e r a t u r

- [1] BETHGE, D., H. MEURERS:
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), Kommentar, 4., überarbeitete Auflage, Carl Heymanns Verlag KG, Köln 1985.
- [2] CHRIST, J.:
Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA Lärm), Textausgabe mit Einführung und ausführlichen Erläuterungen, WEKA-Verlag Fachverlag für Verwaltung und Industrie, Kissing 1977.
- [3] DIN 45641:
Mittelungspegel und Beurteilungspegel zeitlich schwankender Schallvorgänge (Juni 1976).
- [4] DIN 45645, Teil 1:
Einheitliche Ermittlung des Beurteilungspegels für Geräuschmissionen (April 1977).
- [5] KRANE, D.:
Die Prognose von Geräuschmissionen im Genehmigungsverfahren.
Z. Lärmbekämpfung, 32 (1985), S. 108-113.
- [6] VDI-Richtlinie 2058, Blatt 1:
Beurteilung von Arbeitslärm in der Nachbarschaft (September 1985).
- [7] HÄBERLE, M., E. HEILIG, H. SIEGLE:
Einzeltonerkennung aus Geräuschen.
wlb "wasser, luft und betrieb", 6-84 (1984), S. 51-54.
- [8] ASSMANN, J.:
Measurement and assessment of noise in the neighbourhood of shooting ranges.
Proceedings inter-noise 85 (1985), S. 1283-1286, Tagungsbericht Tb 39, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1985.
- [9] MEURERS, H.:
Einheitliches und einfaches Meßverfahren als Voraussetzung eines wirksamen Umweltschutzes gegen Lärm.
Kampf dem Lärm, 20 (1973), S. 1-4.
- [10] NOLLE, A.:
Möglichkeiten und Konsequenzen der Verwendung einer einheitlichen Meßgröße in Meßverfahren für Geräuschmissionen.
Z. Lärmbekämpfung, 29 (1982), S. 116-121.

5. Sicherheit von Prognose- rechnungen

Jede Prognose ist mit einer gewissen Ungenauigkeit behaftet, d.h. mit einer möglichen Abweichung des prognostizierten Wertes vom tatsächlich auftretenden Wert, weil die bei der Rechnung verwendeten Eingangsdaten unsicher sind und weil das Prognosemodell selbst nur als eine mehr oder weniger gute Näherung der tatsächlich zutreffenden Gesetzmäßigkeiten anzusehen ist. Schließlich können auch abweichende Ergebnisse durch unterschiedliche Randbedingungen bei der Rechnung und der realen Situation z.B. durch den Einfluß der Witterung verursacht werden.

Eine allgemein gültige Aussage über die bei der Anwendung von Ausbreitungsmodellen zu erwartende Unsicherheit der berechneten Immissionspegel ist für die bei der Genehmigung von Anlagen auftretenden Einzelfälle nicht möglich. Die Praxis zeigt, daß in besonders günstigen Fällen der prognostizierte Pegel der Geräuschimmissionen von dem meßtechnisch an der bestehenden Anlage ermittelten Wert um weniger als 1 dB abweichen kann, während in anderen Situationen erheblich größere Differenzen auftreten können.

Untersuchungen von SCHREIBER und VON SAZENHOFEN [1] zeigen z.B. bei großen Industrieanlagen mit sehr vielen Schallquellen die in Abb. 1 [1] dargestellten Differenzen zwischen den berechneten und den gemessenen Mitwind-Mittelungspegeln. Dabei wurden die der Rechnung zugrunde gelegten Emissionsdaten durch Messung an der bestehenden Anlage ermittelt.

Der Mittelwert der Differenz der Rechen- und Meßwerte betrug 0,5 dB(A) mit einer Standardabweichung von 1,4 dB(A). Im Einzelfall lagen die berechneten Mittelungspegel bis zu 4 dB(A) über und bis zu 2,5 dB(A) unter den gemessenen Werten. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, daß so genaue Berechnungen aber nur möglich sind, wenn sich - wie hier - die Einzelfehler durch die große Anzahl der Schallquellen ausmitteln, wenn weitgehend ungehinderte Schallausbreitung zwischen Anlage und Immissionsort herrscht und wenn der Berechnung sorgfältig gemessene Emissionsdaten zugrunde liegen.

Wie vermerkt, wurden in dieser Studie die Emissionsdaten durch Messung an der bereits bestehenden Anlage ermittelt. Im Genehmigungsfall muß auch die Schall-emission prognostiziert werden, so daß die Prognoseunsicherheit bezüglich dieser Daten hinzukommt.

Bei Einzelschallquellen scheint sich im Vergleich zu

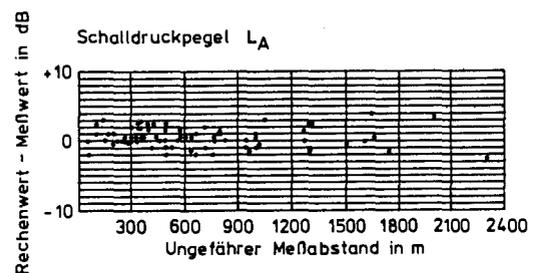


Abb. 1: Differenzen zwischen berechneten und gemessenen Mitwind-Pegeln für den A-bewerteten Pegel, nach [1]

den Großanlagen eine größere Unsicherheit bei der Berechnung von Immissionspegeln zu ergeben. So wurden z.B. nach [1] von 11 Personen mit einschlägiger Berufserfahrung die Schallpegel in der Nachbarschaft eines Hauses berechnet, aus dem durch ein bzw. mehrere Fenster Schall abgestrahlt wurde. Die berechneten Werte wiesen erhebliche Streuungen untereinander auf und wichen z.T. wesentlich von den gemessenen ab.

Eine weitere Diskussion über Fehler bei der Schallausbreitungsrechnung ist in [2, 3] gegeben.

In kritischen Fällen, wenn der prognostizierte Beurteilungspegel nur wenig unterhalb des Immissionsrichtwertes liegt, ist es trotz der o.g. Vorbehalte erforderlich, unter Berücksichtigung von Erfahrungswerten eine Abschätzung des möglichen Unsicherheitsbereiches durchzuführen. Die so abgeschätzte obere Grenze der zu erwartenden maximalen Geräuschmissionen ist zum Vergleich mit den Richtwerten heranzuziehen, um mit großer Wahrscheinlichkeit die Einhaltung des Immissionsrichtwertes zu garantieren. U.U. ist den berechneten Immissionspegeln ein Sicherheitszuschlag hinzuzufügen, um Unsicherheiten der Emissionsdaten angemessen zu berücksichtigen [4].

Ein solcher Sicherheitszuschlag wird häufig bei Rechnungen nach der VDI-Richtlinie 2571 [5] angewendet. Nach dieser Richtlinie liegt bei kritischer Prüfung der verwendeten Daten und bei Rechnung in Oktavbändern der zu erwartende Fehler (Abweichung) der Gesamtrechnung im allgemeinen unter ± 5 dB(A). Zur Erhöhung der Prognosesicherheit erfolgt deshalb häufig ein Sicherheitszuschlag von 5 dB auf die berechneten Immissionspegel.

Die für das Genehmigungsverfahren notwendige Prognose der Geräuschmissionen stellt einen Kompromiß zwischen dem Erhebungs- und Rechenaufwand und der Aussagegenauigkeit und -sicherheit dar. Absolute Sicherheit der Prognoseergebnisse kann nicht gefordert werden; der Prognoseaufwand sollte im Zusammenhang mit der Bedeutung der Anlage für die Umweltbelastung stehen [4].

Literatur

- [1] SCHREIBER, L., C.-J. VON SAZENHOFEN:
Untersuchungen über die Genauigkeit von Schallimmissionsberechnungen bei gewerblichen Anlagen.
Forschungsbericht 79-105-02-701 der Müller-BBM GmbH im Auftrag des Umweltbundesamtes,
August 1979.
- [2] BREWIG, E., F. SCHNEIDER:
Studie über Fehlerrechnung zur Berechnung nach VDI-Richtlinie 2714 "Schallausbreitung im
Freien", Entwurf.
Bericht Nr. 32913 des TÜV Rheinland im Auftrag des Ministers für Arbeit, Gesundheit und
Soziales des Landes NRW, 1980.
- [3] The propagation of noise from petroleum and petrochemical complexes to neighbouring communi-
ties, Concawe Report No. 4/81, Concawe, Den Haag, Mai 1981.
- [4] KRANE, D.:
Die Prognose von Geräuschimmissionen im Genehmigungsverfahren.
Z. Lärmbekämpfung, 32 (1985), S. 108-113.
- [5] VDI-Richtlinie 2571:
Schallabstrahlung von Industriebauten (August 1976).

6. Ü b e r s c h l ä g i g e R e c h n u n g

Die Erstellung einer Immissionsprognose ist nicht erforderlich, wenn bereits durch eine überschlägige Rechnung eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte ausgeschlossen werden kann. Die überschlägige Rechnung ist in den Grundzügen nach den gleichen Vorschriften wie die detaillierte Immissionsprognose durchzuführen. Dabei wird jedoch auf eine ausführliche Behandlung aller einzelnen Terme der Schallausbreitungsrechnung verzichtet und eine einseitige Abschätzung nach oben so durchgeführt, daß eine Überschreitung dieses überschlägig ermittelten Immissionspegels auszuschließen ist.

Die überschlägige Rechnung enthält zweckmäßigerweise nur folgende Terme:

Ausgangspunkt der Rechnung stellt die nach außen abgestrahlte, maximal mögliche Schalleistung bzw. der in bestimmter Entfernung maximal mögliche Schalldruckpegel dar, wobei frequenzabhängige Daten nicht erforderlich sind. Eine mögliche gerichtete Abstrahlung ist zu berücksichtigen. Für die Schallpegelabnahme auf dem Ausbreitungsweg wird nur die freie Schallausbreitung (geometrische Ausbreitungsdämpfung) angesetzt. Die übrigen pegelmindernden Terme der VDI-Richtlinie 2714 (s. Kapitel 4.2.2.) entfallen.

Damit ergibt sich z.B. bei einer punktförmigen Schallquelle der Immissionspegel L_S zu:

$$L_S \text{ in dB} = L_{W,A} - 10 \log \frac{4 \pi s_m^2}{s_0^2} + K_Q + DI$$

$L_{W,A}$: A-bewerteter Gesamtschalleistungspegel der Schallquelle, der nach außen abgestrahlt wird
 s_m : Abstand zwischen Schallquellenmitte und Aufpunkt (Immissionsort)
 s_0 : 1 m
 K_Q : Raumwinkelmaß
 DI : Richtwirkungsmaß

Liegen die Schallquellen im Inneren von Gebäuden, so ist zunächst der nach außen abgestrahlte Schall unter Berücksichtigung minimaler Dämmung durch die Außenwände zu ermitteln. Dabei sind besonders die Gebäudeteile mit den geringsten Dämmwerten (Fenster, Tore, Be- und Entlüftungsöffnungen) zu beachten. Der Pegel im Inneren des Gebäudes wird aus dem Schalleistungspegel der lautesten Maschinen und aus der geschätzten Nachhallzeit oder aus dem Vergleich mit Daten ähnlicher Anlagen ermittelt.

Prüfpunkte bei Prognoserechnungen

- Kontrolle der örtlichen Situation, der Schallübertragungswege (Luftschall oder Körperschall), der Immissionsorte, der Immissionsrichtwerte, der Vorbelastung und der Immissionsanteile.
- Sind alle immissionsrelevanten Schallquellen bei der überschlägigen Rechnung berücksichtigt? Sind Außerachtlassungen (z.B. Transport- und Verladearbeiten) zu beachten?
- Treten besondere Arbeiten oder Betriebszustände während eines längeren Zeitraumes, z.B. eines Jahres auf?
- Überprüfung der Schallemissionswerte der Schallquellen bzw. des Halleninnenpegels bei Quellen innerhalb von Gebäuden und der zugrunde zu legenden Betriebsdauern der Schallquellen.
- Kontrolle der Luftschalldämmwerte für die Außenhautelemente der Gebäude bei innenliegenden Schallquellen. Sind Öffnungen oder Undichtigkeiten zu beachten, die die Luftschalldämmwerte der Bauelemente vermindern können?
- Welche Maßnahmen zur Lärminderung werden getroffen? Ist eine dauerhafte Wirksamkeit gewährleistet oder kann sie im Laufe der Zeit abnehmen (z.B. Verschmutzung von Schalldämpfern)?
- Ist eine Richtcharakteristik bei der Schallabstrahlung zu berücksichtigen?
- Welche Immissionspunkte und welche Immissionsrichtwerte sind zugrunde zu legen?
- Welche Schallquellenform (Punktquelle, Linienquelle) ist für die Berechnung des Abstandsmaßes heranzuziehen?

Für die Dauer der Geräuscheinwirkung wird von der maximal möglichen Auslastung der Anlage ausgegangen. Die Umrechnung vom Mittelungspegel zum Wirkpegel mit einer Taktdauer von 5 s erfolgt aus dem Vergleich mit Daten ähnlicher Anlagen. Es muß sichergestellt sein, daß die Geräuschimmissionen nicht tonhaltig sind.

Liegt der so abgeschätzte Beurteilungspegel unter Berücksichtigung der Unsicherheit der Emissionsdaten unter dem vorgegebenen Immissionsrichtwert, so ist eine detaillierte Prognoserechnung nicht erforderlich.

Außerdem ist zu überprüfen, ob die Geräuschspitzen unterhalb der vorgegebenen Grenzen liegen.

- Ist zu befürchten, daß die Geräuschimmissionen tonhaltig sind?
- Ist das Korrekturmaß zur Ermittlung des Wirkpegels nach dem Taktmaximalwertverfahren plausibel angesetzt?
- Liegen die Maximalpegel einzelner Geräuschspitzen während der Nachtzeit weniger als 20 dB über dem zugrundeliegenden Immissionsrichtwert?

Anhang A:

Ermittlung der Immissionsanteile

Wenn die Summe der Geräuschemissionen aller einwirkenden gewerblichen und industriellen Anlagen den Immissionsrichtwert der TA Lärm nicht überschreiten darf, steht dem zur Genehmigung anstehenden Betrieb nur ein bestimmter Immissionsanteil zu, wobei alle Immissionsanteile zusammen den Immissionsrichtwert höchstens erreichen dürfen.

Man kann also entsprechend den Gesetzen der Pegeladdition schreiben (vgl. [1, 2]):

$$10 \log \sum_{i=1}^n 10^{0,1 L_i^*} \leq \text{IRW in dB}$$

Es bedeutet:

- IRW : Immissionsrichtwert nach der TA Lärm für den betrachteten Aufpunkt
- L_i^* : Immissionsanteil der i-ten Anlage
- n : Anzahl der gewerblichen und industriellen Anlagen, die im Aufpunkt einwirken.

Bei der praktischen Durchführung sind 2 Fälle zu unterscheiden:

- a) Keine Vorbelastung durch andere gewerbliche oder industrielle Anlagen vorhanden.

Es sollen für insgesamt n Anlagen Immissionsanteile vergeben werden. Dabei ist zunächst für alle Anlagen ein Wichtungsfaktor g_i zu vereinbaren, der den relativen Anteil am Immissionsrichtwert beschreibt. Dieser Wichtungsfaktor kann z.B. nach der Größe oder der Bedeutung des Betriebes oder nach seiner Lage relativ zum Aufpunkt vergeben werden. Sollen alle Betriebe den gleichen relativen Anteil erhalten, so ist $g_i = 1$ zu setzen.

Mit $\sum_{i=1}^n g_i = N$

gilt für den Immissionsanteil der i-ten Anlage:

$$L_i^* \text{ in dB} = \text{IRW} + 10 \log \frac{g_i}{N}$$

Ggf. ist im Rahmen der Vorsorge zu berücksichtigen, ob sich in Zukunft neue gewerbliche oder industrielle Anlagen ansiedeln können. In diesem Fall sind Immis-

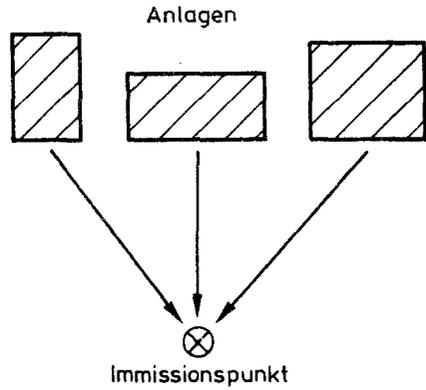
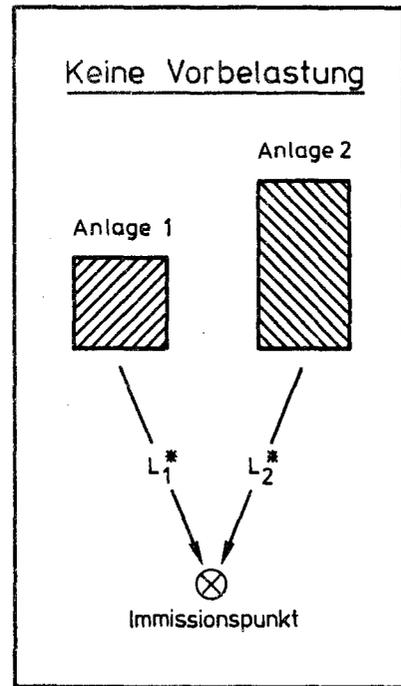


Abb. 1: Summenwirkung



$$g_1 = g_2 = 1:$$

$$L_1^* = \text{IRW} - 10 \log 2$$

$$L_2^* = \text{IRW} - 10 \log 2$$

Abb. 2: Beispiel zur Ermittlung der Immissionsanteile

sionsanteile für die zukünftigen Anlagen so zu reservieren, daß auch dann die Immissionen aller einwirkenden Anlagen den IRW nicht überschreiten.

b) Vorbelastung durch andere gewerbliche oder industrielle Anlagen vorhanden.

Jetzt hängt das weitere Vorgehen vom Verhältnis des Pegels L (Vorbelastung) der Vorbelastung zum Pegel L (Anlage) der zur Genehmigung anstehenden Anlage ab:

i) Wenn die Vorbelastung so weit unter dem Immissionsrichtwert liegt, daß bei einem Neuanlagenpegel unterhalb des Immissionsrichtwertes auch der Summenpegel L_r (Anlage und Vorbelastung) den Richtwert nicht überschreiten kann, so sind alleine die Geräuscheinwirkungen der zu genehmigenden Anlage zu berücksichtigen. Dies trifft näherungsweise dann zu, wenn

$$L_r \text{ (Vorbelastung) in dB} \leq \text{IRW} - 10$$

ist. In diesem Fall ist die Vorgehensweise nach a) zu wählen.

ii) Überschreitet die Vorbelastung in der Nachbarschaft der zu genehmigenden Anlage den IRW, so sind in zwei Fällen die Genehmigungsvoraussetzungen für die neue Anlage erfüllt.

Zunächst ist eine Genehmigung möglich, wenn der Beurteilungspegel der Neuanlage so niedrig ist, daß dadurch eine Überschreitung des IRW auch dann nicht auftritt, wenn die Vorbelastung durch zukünftige Minderungsmaßnahmen unter den IRW gesenkt wird. Dies gilt näherungsweise für

$$L \text{ (Anlage) in dB} \leq \text{IRW} - 10.$$

Außerdem ist ggf. eine Genehmigung bei zu hoher Vorbelastung möglich, wenn im Genehmigungsantrag nachgewiesen ist, daß die neue Anlage den ihr zuzurechnenden Immissionsanteil nicht überschreitet. Zu diesem Zweck sind die den verschiedenen gewerblichen und industriellen Anlagen zuzurechnenden Immissionsanteile vorzugeben.

Werden nach Ziffer 2.213 der TA Lärm durch den Betrieb der zu genehmigenden Anlage wegen ständig einwirkender Fremdgeräusche (Verdeckung) keine zusätzlichen Gefahren, erhebliche Nachteile oder Belästigungen auftreten, so kann für die Durchführung

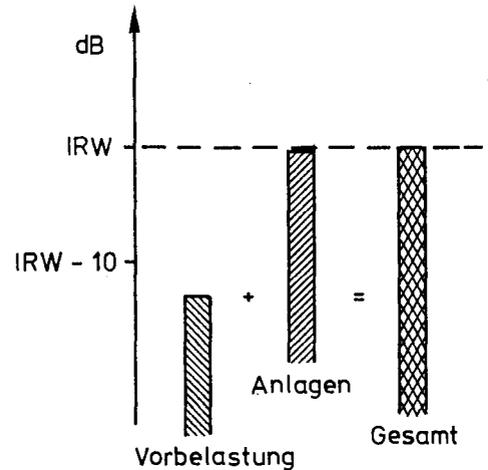


Abb. 3: Anlagenpegel und geringe Vorbelastung

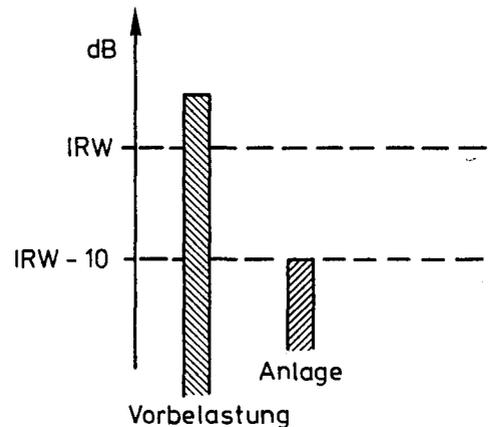


Abb. 4: Anlagenpegel und hohe Vorbelastung

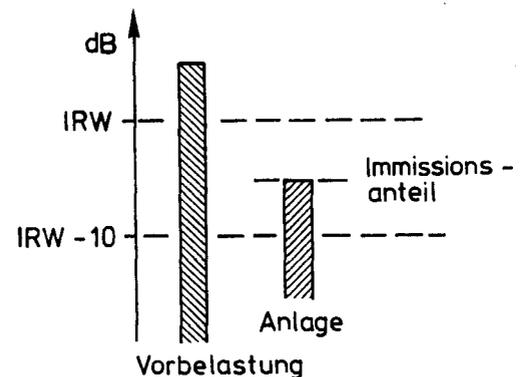


Abb. 5: Immissionsanteil einer Anlage und hohe Vorbelastung

von Lärmschutzmaßnahmen eine Frist gewährt werden, wenn nicht damit zu rechnen ist, daß die Fremdgeräusche innerhalb dieses Zeitraumes entsprechend gemindert werden können.

iii) Bei Vorbelastungen im Bereich $IRW - 10 \leq L$ (Vorbelastung) $\leq IRW$ bleibt für neue Anlagen nur insgesamt ein Pegelanteil L (Neuanlagen) von

$$L \text{ (Neuanlagen) in dB} = 10 \log (10^{0,1 IRW} - 10^{0,1 L \text{ (Vorbel.)}}).$$

Der Anteil L (Neuanlagen) wird nach den Ausführungen von Abschnitt a) auf n Neuanlagen mit dem Wichtungsfaktor g_i aufgeteilt. Dabei gilt für den Immissionsanteil der i -ten Anlage:

$$L_i^* \text{ in dB} = L \text{ (Neuanlagen)} + 10 \log \frac{g_i}{N}$$

$$\text{mit } N = \sum_{i=1}^n g_i$$

Es ist für jeden Punkt des Einwirkungsbereichs der Anlage zu überprüfen, ob der Summenbeurteilungspegel aus dem Pegel der jeweils betrachteten und dem aller übrigen Anlagen den IRW nicht überschreitet.

Der Einwirkungsbereich der Anlage erstreckte sich bis zu der Entfernung, bei der $L_r \text{ (Anlage)} \leq IRW - 10$ in dB ist. Für größere Entfernungen ist das Anlagengeräusch im Summenpegel L (Anlage + Vorbelastung) ohne Bedeutung.

Bei der Überprüfung des Summenpegels reicht es aus, nur den Bereich

$$IRW - 10 \leq L \text{ (Anlage)} \leq IRW \text{ in dB}$$

zu betrachten, weil nur dort sowohl die Neuanlage als auch die Vorbelastung in ihrer Summenwirkung gemeinsam berücksichtigt werden müssen.

Die Vorbelastung kann durch eine Messung an den Immissionsorten direkt ermittelt oder aus Emissionsmessungen bzw. Immissionsmessungen im Nahbereich der betreffenden Anlagen berechnet werden. Der Rechengang erfolgt nach der in Kapitel 3 und 4 beschriebenen Vorgehensweise.

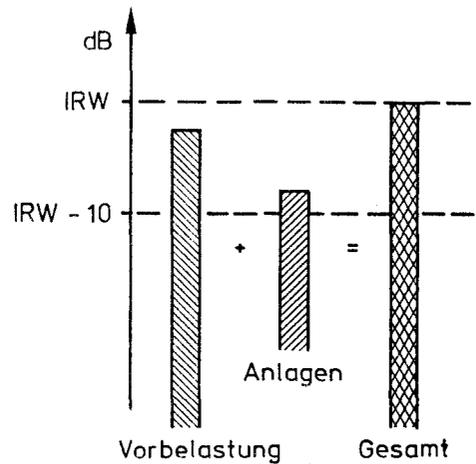


Abb. 6: Anlagenpegel und Vorbelastung

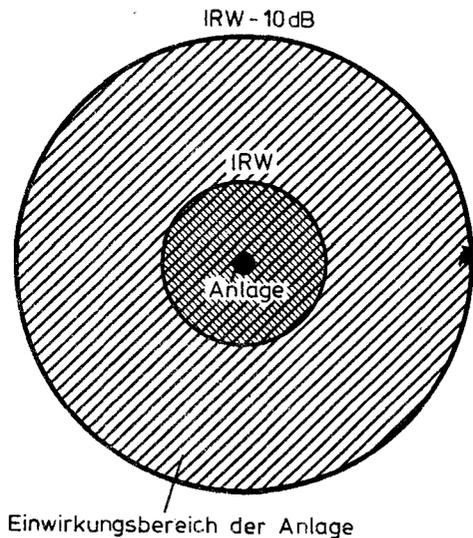


Abb. 7: Einwirkungsbereich einer Anlage

L i t e r a t u r

- [1] VIERLING, W.:
Summenwirkung und Geräuschkontingentierung bei der schalltechnischen Beurteilung von gewerblichen Anlagen.
Vortrag beim Erfahrungsaustausch der Ländermeßstellen 1981 in Essen.
- [2] VIERLING, W.:
Verwendung der Summenformel zur Lösung schalltechnischer Aufgaben.
Vortrag beim Erfahrungsaustausch der Ländermeßstellen 1982 in München.

Anhang B :

Prognosebeispiel

Prognose der zu erwartenden Geräuscheinwirkung durch den Betrieb eines 700 MW-Steinkohlekraftwerkes

Örtliche Situation

Die Lage der Kraftwerksgebäude zu den beiden Wohnbereichen ist aus Anlage 1 zu entnehmen. Die Abstände vom Maschinenhaus zu den Immissionsbereichen I und II betragen 600 m bzw. 1000 m. Das Gelände ist eben; die Eisenbahn verläuft auf einem 4 bis 4,5 m hohen Damm. Die Bodenfläche außerhalb der Grundstücksgrenze wird landwirtschaftlich genutzt. Aufgrund der Lage und der örtlich vorherrschenden Wettersituation liegt der Wohnbereich I im Mitwindsektor. Die Immissionsbereiche sind als WA-Gebiet einzustufen.

Beschreibung der Anlagenteile (s. Anlage 2)1. Brennstoffanlieferung

Kohle über Bundesbahnstrecke; ca. 4 Kohlenzüge täglich. Anlieferung und Entladung ausschließlich tagsüber. Entladung in einer Halle über einem Tiefbunker. Wandstärke des Gebäudes 36,5 cm KSV. Das Gebäude erhält eine Entstaubungsanlage mit Schalldämpfer; der Einbau von Schallschleusen an der Zu- und Abfahrt wird vorgesehen.

2. Kohlenlagerplatz

Wechselnde Höhe; die maximale Schütthöhe beträgt 16 m. Die Einlagerung erfolgt über Bandabsetzer und Planierdrauben (Pegel in 1 m Abstand: 82 dB(A); die Angabe in dB(A) zeigt an, daß es sich hierbei um A-bewertete Pegel handelt). Rückladung erfolgt mittels Planierdraube und Schaufelradrückladegerät. Summenpegel für Bandabsetzer und Schaufelradrücklader: 47 dB(A) in 150 m Entfernung.

3. Bandtransportanlagen

Vollständig umbaut und zum Teil unterirdisch angelegt; Innenpegel: 74 dB(A).

4. Naturzugkühlturm

Wasserdurchsatz: ca. 20 m³/s. Abmessungen: H = 150 m; Basis-Ø: 120 m; Mündungs-Ø: 75 m. Abstrahlfläche: unten F = 4000 m²; oben F = 4400 m². Dämpfer für die Ansaugseite: Dicke 20 cm, Spaltweite 20 cm, Kulissenlänge 200 cm (Schalldämpfer 20/20/200).

5. Gebäude Kühlwasserpumpen

Gebäudeaußenhaut 250 kg/m² (z.B. 10 cm Stahlbeton);

Prüfpunkte:● Örtliche Situation:

Immissionsorte
Luftschallübertragung
Körperschallübertragung
Immissionsrichtwerte
Vorbelastung
Immissionsanteile

● Beschreibung der Anlage:

Maschinenaufstellungsplan
Betriebsablauf
Materialfließschema
vollständige Auflistung der Quellen
wechselnde Standorte der Quellen
Betriebszustände
Betriebszeiten
Emissionsdaten
Geräuschcharakteristik
Tonhaltigkeit
Richtcharakteristik
tieffrequente Geräusche
Minderungsmaßnahmen an den Quellen
seltene Ereignisse
Verkehr auf dem Werksgelände
Außenarbeiten

Abstrahlfläche $F = 500 \text{ m}^2$. Lüftungsöffnungen mit Schalldämpfer 10/10/100; $F = 5 \text{ m}^2$. Zum Wohnbereich I durch Kühlturm abgeschattet.

6. Maschinenhaus

$L = 65 \text{ m}$; $B = 35 \text{ m}$; $H = 38 \text{ m}$. Wände bis 12 m: 36 KSV; über 12 m: 24 cm KSV. Dach: 10 cm Stahlbetonplatten. Stirnseiten: Je ein doppelschalig verglastes Fensterband (doppelte Profilit-Verglasung) mit einer Gesamtfläche von 350 m^2 .

Zuluft: Über Kellerschächte und Schalldämpfer 20/20/200; freie Öffnung $F = 300 \text{ m}^2$.

Abluft: 7 Dachentlüfter mit Schalldämpfer 10/10/100; freie Öffnung $F = 100 \text{ m}^2$. Es ist auch die Abstrahlung des MH-Innenpegels durch die Öffnung zu beachten.

Emissionspegel: Bestellbedingungen für Turbosatz: NRC 90 als Oktavspektrum und NRC 85 als Terzspektrum. Bestellbedingungen für Kesselspeisepumpe: Cremer/Lübke 9 bei Oktavspektrum und Cremer/Lübke 8,5 bei Terzspektrum (s. z.B. SCHMIDT, H.: Schalltechnisches Taschenbuch, VDI-Verlag Düsseldorf 1968).

7. Schaltheis

Keine Geräuschquellen.

8. Kesselhaus

$L = 65 \text{ m}$; $B = 55 \text{ m}$; $H = 90 \text{ m}$. Wände bis 17 m: Hintermauerung 24 KSV; Wände ab 17 m: Doppelschale aus Asbestzementplatten mit 80 mm Mineralwollezwischen-schicht; zusätzlich Verkleidung durch Wellasbestzementplatten als Wetterhaut. Dach: 10 cm Stahlbetonplatten. Zuluft: Giebelseiten unten, $F = 230 \text{ m}^2$ mit Schalldämpfer 20/20/300. Abluft: Über Windleitflächenlüfter und Schalldämpfer 10/10/100; freie Abstrahlöffnung $F = 100 \text{ m}^2$. Frischluftkanäle außen an der Westseite; Isolation aus 300 cm Mineralwolle und 1,5 cm Stahlblech; schallabstrahlende Fläche 900 m^2 ; Ansaugkanal mit Schalldämpfer 20/20/200; freie Abstrahlfläche 60 m^2 .

9. Elektrofilter und Filterunterbauten

Pegel etwa wie im Kesselhaus im oberen Bereich. Elektrofilter mit Fassade wie Kesselhaus oberer Teil; $F = 1000 \text{ m}^2$. Filterunterbauten mit Fassade wie Kesselhaus oberer Teil; $F = 500 \text{ m}^2$. Trafos für Elektrofilter werden im Unterbau aufgestellt. Saugzüge im Gebäude zwischen den Elektrofilterunterbauten; Abstrahlfläche 700 m^2 ; Fassade wie Kesselhaus oben. Saugkanäle: Isolierung 300 cm Mineralwolle + 1,5 mm Stahlblech; Abstrahlfläche $F = 1500 \text{ m}^2$. Schalldämpfer auf Druckseite im Kamin: Resonator-dämpfer 10 m lang.

10. Kaminmündung

$H = 250 \text{ m}$; Mündungs- $\emptyset = 10 \text{ m}$; $F = 80 \text{ m}^2$. Elektrofil-

● Überschlägige Rechnung:

immissionsrelevante Schallquellen
Schallemissionswerte
Betriebsdauer der Anlage
Betriebszustand
Halleninnenpegel
Dämmwerte der Außenhautelemente
Richtcharakteristik
Tonhaltigkeit
Schallquellenform
Abstandsmaß
Korrekturmaß für Taktmaximalpegelverfahren
einzelne Spitzenwerte
Immissionsrichtwerte
Immissionsanteile

● Detaillierte Rechnung:

● Schallquellen in Gebäuden:

Schalleistungspegel der Quellen
Halleninnenpegel
Abmessungen der Hallen
Ausstattung der Hallen
Nachhallzeit
Äquivalente Absorptionsfläche

● Nach außen abgestrahlter Schall:

Fläche der Außenhautelemente
Luftschalldämmmaß der Außenhautelemente
Schalldämpfer
Einschränkung der Wirksamkeit von Schalldämpfern, z.B. durch Verschmutzung Undichtigkeiten
Übergang vom Diffus- zum Freifeld
Körperschallübertragung
Richtcharakteristik

terpegel im Rauchgaskanal: 114 dB(A). Pegelminderung durch Resonator dämpfer 10 m + Richtwirkung.

11. Aschefreilager

Keine nennenswerte Emission. Schalleistungspegel: 105 dB(A).

12. Transformatoren

Maschinentrafo mit Schalldämmhaube; $F = 1000 \text{ m}^2$. Eigenbedarftrafos werden in Zellen eingebaut.

13. Sicherheitsventile

Entspannungsdämpfer vermindern Pegel beim Ansprechen auf 70 ... 80 dB(A) am Immissionsort I.

Grundlagen der Berechnung

Die Berechnung erfolgt nach den VDI-Richtlinien 2571 und 2714. In Anlage 5 sind die Emissionspegel bzw. -spektren angegeben. Anlage 6 enthält die Dämmwerte der Fassadenteile und der Schalldämpfer. In Anlage 7 ist die Berechnung des Geräuschpegels am Immissionspunkt I für jede Teilschallquelle mit Angabe der Abschirmmaße aufgelistet. Anlage 8 erläutert in einem Beispiel den Rechengang.

Vereinfachend wurde berücksichtigt:

Abstand zum Immissionsort I:	$s_m = 600 \text{ m}$,
außer: Kühlturm Ansaugung:	$s_m = 400 \text{ m}$
Kühlturm Mündung:	$s_m = 450 \text{ m}$
Kühlwasser Pumpenge- bäude und Pumpenlüf- tung:	$s_m = 500 \text{ m}$
Kamin Mündung:	$s_m = 700 \text{ m}$.
Abstand zum Immissionsort II:	$s_m = 1000 \text{ m}$.

Luftabsorption ΔL_L :

Frequenz in Hz:	250	250	500	1000	2000	4000
ΔL_L in dB für Immissionspunkt I (ca. Werte):	0	0	1	2	4	10
ΔL_L in dB für Immissionspunkt II:	0	1	2	4	8	20

Bodenabsorption und Witterungsdämpfungsmaß: 0 dB.

Abschirmmaß ΔL_2 :

Wegen der Kohlenhalde und des Bahndammes für alle tiefliegenden Quellen (Trafos, Tore, Ansaugungen für Lüfter, Kühlwasserpumpen etc.) in Richtung Wohngebiet I: 3 dB und in Richtung Wohngebiet II: 0 dB.

Abschirmung durch Gebäude:

Für Wohngebiet I: Front 0 dB, Giebelseiten 5 dB,

● Ausbreitungsrechnung:

Emissionsdaten:

Schalleistungspegel

Schalleistungsspektrum

Raumwinkelmaß, Richtwirkungsmaß:

Richtcharakteristik in der Emission

Richtcharakteristik durch die Transmission

Abstandsmaß:

punkt-, linienförmige Schallquelle

Entfernung zu den Immissionspunkten

akustisch wirksamer Mittelpunkt

Besonderheiten der Schallausbreitung

Luftabsorptionsmaß:

Temperatur, Luftfeuchte

Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß:

relative Lage zwischen Quelle und

Immissionsort

Geländeverlauf

Windverteilung

Mitwindsektor

Bebauungsdämpfungsmaß:

Weg durch Bebauung

Art der Bebauung

Geländeverlauf

Bebauungsdämpfungskoeffizient

Bewuchsdämpfungsmaß:

Weg durch Bewuchs

Art des Bewuchses

Bodenbeschaffenheit

Geländeverlauf

Bewuchsdämpfungskoeffizient

Abschirmung durch Hindernisse:

Maße und Lage der Hindernisse

Schirmwert

Abschirmmaß

Einfügungsdämpfungsmaß

Rückseite Kesselhaus 20 dB.

Für Wohngebiet II entsprechend der Geometrie geänderte Werte.

Weitere Abschirmungen von 5 bis 15 dB je nach Grad der Abschirmung (geschätzt).

Bei den Schallquellen in Gebäuden wird beim Übergang innen/außen ein Pegelabzug von 6 dB berücksichtigt, jedoch nicht, wenn z.B. vor großen Öffnungen von Lüftungen oder aufgrund der Ausbreitungsbedingungen kein diffuses Schallfeld im Gebäude zu erwarten ist.

Nach der VDI-Richtlinie 2571 liegt bei kritischer Prüfung der verwendeten Werte und bei Rechnung in Oktavbändern der zu erwartende Fehler der Gesamtrechnung im allgemeinen unter ± 5 dB. Um diese Unsicherheit bei der Prognose aufzufangen, wird auf alle aus Gebäuden dringende Geräusche ein Zuschlag von 5 dB gegeben.

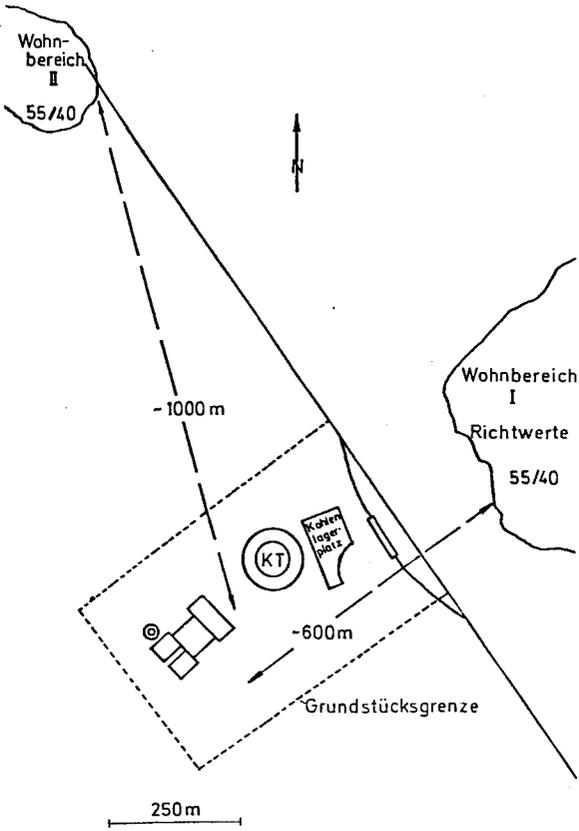
Berechnung des Beurteilungspegels

Die bei der Prognoserechnung erfaßten Schallquellen wirken während der gesamten Beurteilungszeit mit praktisch konstanter Emission ein, so daß die berechneten Immissionspegel auch dem Wirkpegel nach der TA Lärm in der Beurteilungszeit entsprechen, wenn man von einem geringfügigen Taktmaximalpegel-Korrekturmaß ΔL_{Takt} absieht, das durch die Pegelschwankungen verursacht wird, die auf dem Ausbreitungsweg entstehen.

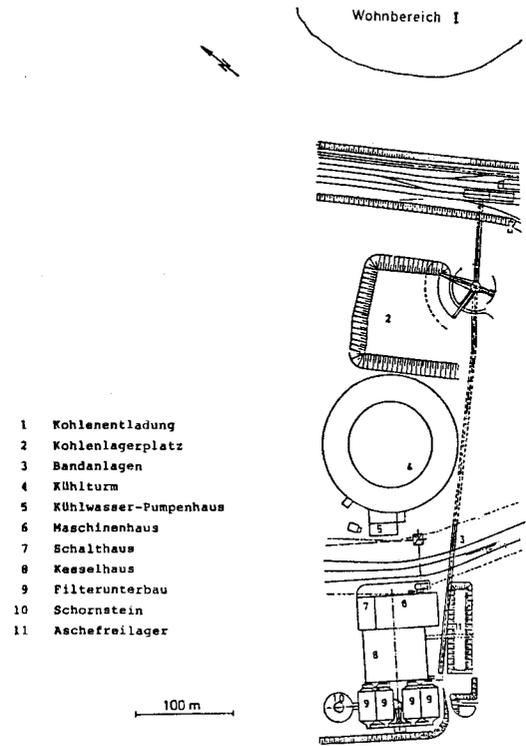
Bei der Diskussion über einen möglichen Tonzuschlag sind insbesondere folgende wesentliche Schallquellen zu berücksichtigen, die tonhaltige Geräusche verursachen: Kamin Mündung, Saugzugkanäle, Maschinentrafo und Lüftungsöffnungen. Unter der Voraussetzung, daß durch frequenzmäßig abgestimmte, ausreichend dimensionierte Dämmungen und Dämpfungen keine Einzeltöne an den Immissionsorten einwirken, stellen die berechneten Immissionspegel auch die zu erwartenden Beurteilungspegel nach der TA Lärm für die zugrundegelegte Beurteilungszeit dar.

● Berechnung des Beurteilungspegels:

Betriebszeiten und -dauern
gelegentliche Arbeiten
Tonhaltigkeit
Korrektur für Taktmaximalpegelverfahren
einzelne Spitzenwerte
Sicherheitszuschlag
Immissionsrichtwerte
Immissionsanteile
Vorbelastung

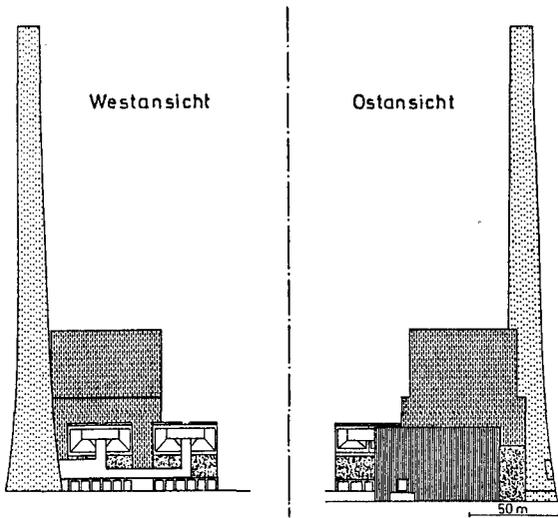


Anlage 1: Lageplan

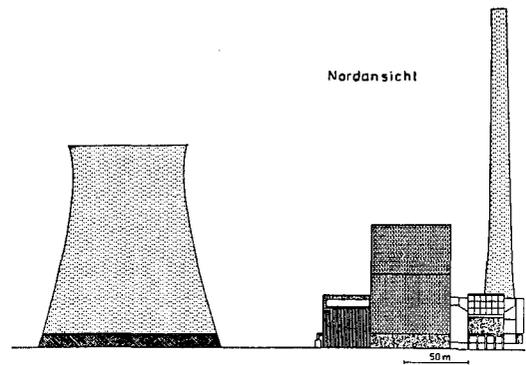


- 1 Kohlenentladung
- 2 Kohlenlagerplatz
- 3 Bandanlagen
- 4 Kühlturm
- 5 Kühlwasser-Pumpenhaus
- 6 Maschinenhaus
- 7 Schalt haus
- 8 Kesselhaus
- 9 Filterunterbau
- 10 Schornstein
- 11 Aschereilager

Anlage 2: Anlagenteile des Kraftwerkes



Anlage 3: West- und Ostansicht des Kraftwerkes



Anlage 4: Nordansicht des Kraftwerkes

Anlage 5: Zur Berechnung verwendete Spektren

Schallquelle	Unbewertete Schalldruckpegel in dB in den Oktaven der Mittenfrequenzen in Hz =								A-bewerteter Gesamtpegel in dB
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	
Maschinenhaus unter 12 m	93	98	97	96	93	90	88	91	97
Maschinenhaus über 12 m	85	93	93	88	87	88	89	86	94
Kesselhaus unter 17 m	96	96	97	94	93	87	84	80	94
Kesselhaus über 17 m	94	85	86	86	86	86	83	73	90
Im Frischluftkanal	111	103	94	87	84	80	78	74	87
Dachventilatoren 1 m Abst.	60	73	67	61	57	53	49	49	60
Elektrofilter 1 m Abst.	61	58	56	50	39	24	13	5	45
Saugzuggebläse 1 m Abst.	86	86	82	84	84	85	80	72	88
Im Rauchgaskanal	100	110	120	120	112	102	96	90	114
Naturzugkühler Ansaugung	72	68	63	65	77	78	77	76	83
Naturzugkühler Mündung	71	65	60	57	63	65	58	48	67
Im Kühlwasserpumpenhaus	80	83	87	87	87	91	83	72	93
In Kammer Eigentrafo	65	73	77	76	66	58	51	44	70
In Haube Maschinentrafo	82	89	94	92	83	74	68	62	86
A-Bewertungskurve	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1	

Anlage 6: Zur Berechnung verwendete Dämmkurven

Bauteil	Schalldämm-Maß des Bauteils in dB in den Oktaven der Mittenfrequenzen in Hz =								mittleres Schall- dämm-Maß in dB ¹⁾
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000	
24 cm KSV-Mauerwerk	36	41	43	45	51	57	63	66	54
36 cm KSV-Mauerwerk	37	42	45	47	53	58	64	67	57
doppelte Profilit-Verglasung	15	18	23	27	32	35	36	43	33
10 cm Stahlbeton	26	32	36	36	41	51	59	65	47
Schalldämpfer 10/10/100	2	4	8	11	14	23	35	28	20
Schalldämpfer 20/20/200	5	7	12	20	25	30	35	28	26
Schalldämpfer 20/20/300	4	8	15	22	33	40	45	36	33
doppelschal. Stahltor	5	12	25	37	42	41	47	43	40
doppelschal. Asbestfassade	18	17	21	33	47	50	52	50	43
Windleitlüfter + Schalldämpfer	2	4	9	17	22	32	34	39	26
Blechkanal + Isolierung 1,5/300 mm	26	32	37	43	47	51	55	57	49
Blechkanal + 2-schalige Isolierung	32	34	39	49	53	57	61	62	54
Haube Maschinentrafo	21	20	21	21	23	24	23	27	23
Kaminrichtwirkung	0	2	4	6	8	10	12	14	9
Resonator dämpfer 10 m + Richtw.	0	16	49	51	45	35	27	24	39
Kühlturmrichtwirkung	3	3	4	8	10	14	18	19	12

1) Das mittlere Schalldämmmaß R ist der arithmetische Mittelwert über die Schalldämm-Maße in den Terzbereichen 100 Hz bis 3150 Hz (s. VDI 2571).

Anlage 7: Berechnung der Immissionspegel

a) Berechnung des am Immissionsort I zu erwartenden Schalldruckpegels

Quellen in Gebäuden:

Schallquelle	A-bewertete Schalldruckpegel in dB am Immissionsort I in den Oktaven der Mittenfrequenzen in Hz =								A-bewerteter Gesamtpegel dB	*/**1) dB
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000		
MH Frontseite unter 12 m	-24	-11	-5	-1	-5	-11	-20	-26	2	6/0
MH Frontseite über 12 m	-27	-11	-3	-3	-11	-8	-14	-26	1	6/0
MH Giebel unter 12 m	-31	-18	-12	-8	-12	-18	-23	-23	-5	6/5
MH Giebel über 12 m	-35	-19	-11	-11	-19	-16	-22	-34	-7	6/5
MH Giebel Fenster	-18	0	5	3	2	2	1	-15	10	6/5
MH Dach	-21	-6	0	+2	+1	-6	-14	-29	6	6/5
MH Lüftung	1	17	21	19	16	10	2	6	25	6/3
MH Tore	-4	+7	+3	-3	-6	-6	-15	-14	9	6/3
KH Fronts. oben	3	8	15	10	1	0	-6	-20	17	6/0
KH Giebel unter 17 m, 2 Seiten	-21	-13	-4	-2	-4	-14	-24	-37	2	6/5
KH Giebel über 17 m, 2 Seiten	1	6	13	8	-1	-2	-8	-22	15	6/5
KH Dach	-10	-12	-5	2	2	-6	-18	-40	6	6/5
KH Rückseite oben	-16	-11	-4	-9	-18	-19	-25	-39	-2	6/20
KH Tore Giebels.	-6	0	-2	-10	-11	-14	-24	-30	3	6/8
KH Belüftung	5	14	18	15	+5	-3	-12	-13	21	0/8
KH Abluft	4	6	12	11	11	3	-3	-24	17	0/5
Frischlüft.-Kanäle	-3	-4	-8	-14	-16	-22	-29	-41	1	0/15
E-Filter Unterbau	-5	0	7	2	-7	-8	-14	-28	9	0/5
E-Filter Gehäuse	-2	3	10	5	-4	-5	-11	-25	12	0/5
Saugzug Gebäude	-16	-2	0	-3	-12	-12	-20	-32	4	0/10
Saugzug-Kanäle	-13	8	23	20	13	1	-10	-23	25	0/10
KW Pumpengebäude	-28	-18	-8	-1	-1	-5	-22	-45	3	6/10
KW Pumpenlüftung	-32	-18	-8	-4	-2	-5	-26	-36	2	6/10

MH : Maschinenhaus; KH : Kesselhaus; KW : Kühlwasser;

Pegel der Quellen in Gebäuden am Immissionsort I (A-bewertet): 30 dB
 5 dB Sicherheitszuschlag
 35 dB

Quellen außerhalb von Gebäuden:

Schallquelle	A-bewerteter Schalldruckpegel in dB am Immissionsort I in den Oktaven der Mittenfrequenzen in Hz =								A-bewerteter Gesamtpegel dB	*/**1) dB
	32	63	125	250	500	1000	2000	4000		
MH Abluft	-5	14	20	19	20	14	2	0	25	0/5
Frischlüfter Ansaugung	6	9	5	-3	-6	-13	-21	-24	12	0/15
Kamin Mündung	15	22	9	14	17	19	20	11	27	0/0
Masch. Trafo	-15	6	20	25	19	11	5	-11	27	0/3
Kühlt. Ansaug.	1	8	8	9	21	19	12	12	24	0/3
Kühlt. Münd.	4	11	15	15	24	24	12	-5	28	0/0

Pegel der außerhalb von Gebäuden wirksamen Quellen am Immissionsort I (A-bewertet): 33 dB.

Insgesamt durch das Kraftwerk am Immissionsort I zu erwartender Pegel (A-bewertet): 37 dB.

b) Berechnung des am Immissionsort II zu erwartenden Schalldruckpegels

Zum Immissionsort II hin entfällt die Abschirmung durch den Bahnkörper (3 dB); außerdem ändert sich die Abschirmung durch Gebäude. Wegen der größeren Entfernung vergrößert sich das Abstandsmaß um ca. 4,5 dB und das Luftabsorptionsmaß steigt proportional der Entfernung an.

1) Zusätzliche Abzüge:

* : Übergang innen/außen

** : Abschirmung durch Gebäude und/oder Bahnkörper

Anlage 8: Rechengang zur Berechnung der Immissionspegel

Beispiel: Berechnung des durch die Frontseite des Maschinenhauses (Bereich unterhalb von 12 m) verursachten Schalldruckpegels am Immissionsort I:

Frequenz in Hz:	32	63	125	250	500	1000	2000	4000
Halleninnenpegel des Maschinenhauses unter 12 m:	93	98	97	96	93	90	88	91
A-Bewertung:	-39	-26	-16	-9	-3	0	+1	+1
Dämpfung der Frontfassade des Maschinenhauses unter 12 m (36 cm KSV):	-37	-42	-45	-47	-53	-58	-64	-67
Schallabstrahlende Fläche F: $F = 65 \cdot 12 \text{ m}^2$; $F_0 = 1 \text{ m}^2$; $10 \log \frac{F}{F_0}$:	+29	+29	+29	+29	+29	+29	+29	+29
Pegelsprung Innen/Außen:	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6
Abstandsmaß ($s_m = 600 \text{ m}$; $s_0 = 1 \text{ m}$) $10 \log \frac{4 \pi s_m^2}{s_0^2}$:	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67	-67
K_0 (Abstrahlung in Halbkugel):	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3	+3
Luftabsorptionsmaß ($s_m = 600 \text{ m}$):	0	0	0	0	-1	-2	-4	-10
Abschirmmaß:	0	0	0	0	0	0	0	0
	-24	-11	-5	-1	-5	-11	-20	-26
A-bewerteter Gesamtpegel:					2			

Kein Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß, kein Bewuchs- und Bebauungsdämpfungsmaß

Alle Pegelangaben in dB

Anhang C:

Literaturverzeichnis zur Schallemission technischer Anlagen

Anlage:	Literaturstelle:	Anlage:	Literaturstelle:
Bagger	9	Motor	
Bandförderungsanlage	5, 9	Elektromotor	1, 4, 11, 49
Betonstein- und -teilmfertigung	27	Verbrennungsmotor	78, 79
Bohrmaschine	30, 61, 65, 66	Müllverbrennungsanlage	14
Brenner	11	Petrochemische Anlagen	1, 11
Containerumschlagplatz	9	Planierdrape	9
Drehmaschine	25, 56	Pressen	
Druckluftwerkzeuge	64, 65, 66, 67	Schmiedepressen	22, 36
Elektrostahlwerk	3	Schneidpressen	81
Entstaubungsanlage	3, 5	Prozeßöfen	1, 11, 42
Fackel	1, 11, 17, 44	Pumpen	
Feuerverzinkerei	8	Hydraulikpumpe	24
Flaschenabfüllung, -transport	32, 55	Kreispumpe	1, 11, 26, 62
Fräsmaschine	21, 23, 29, 30, 34, 53, 57, 58	Raffinerie	1
Gasentspannung	1, 4, 11, 77	Rauchgasreinigungsanlage	7
Gasturbinen	79	Rohrleitungen	1, 4, 45
Gebälse		Sägen	
Axialgebläse	4, 38, 70	Baustellenkreissäge	12, 54
Radialgebläse	1, 4, 38, 71	Kaltkreissäge	59
Getriebe	39	Kettensäge	10, 15, 18, 63
Gießerei	5, 31, 37	Sägemaschinen	30
Hobelmaschine	21, 23, 28, 34, 51	Tischkreissäge	21, 28, 52
Hochofen	5	Schaukelradgerät	9
Holzbearbeitung	19, 21, 23, 28, 34, 35, 51, 52, 53, 54	Schiffsentlader	9
Holzspan- und Holz- faserplattenherstellung	19, 69	Schleifmaschinen	28, 30, 60, 67
Hydraulikelemente	24, 48	Schmieden	22, 36, 40, 80
Klärwerk	2, 75	Schornstein	13
Kompressor	43	Schrottplatz	3
Kiesgrube	9	Sinteranlage	5
Kraftfahrzeuge		Stahlwerk	3, 5
Lastkraftwagen	6, 9, 16, 20	Textilmaschinen	41
Kraftwerk	4, 7, 72	Transformatoren	4, 50
Kran	9, 33	Turbine	11, 79
Kühlturm	4, 11, 73, 74	Vakuumanlagen	1
Luftkühler	1, 11, 46	Ventile	1, 11, 77, 48
Lüftungsanlagen	38	Verdichter	1, 5, 11
		Webstühle	41
		Werkzeugmaschinen	29, 30, 56, 57, 58, 59, 60, 61
		Zellstoffwerk	68
		Zerkleinerungsmaschinen	14, 21, 28, 47, 76
		Zuckerindustrie	8

L i t e r a t u r

Berichte über Forschungsvorhaben:

Hrsg.: Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NRW, Düsseldorf

- [1] Lärmschutz beim Raffineriebau, Planungshinweise (1977).
- [2] Lärmschutz bei Klärwerken (1978).
- [3] Lärmschutz an Elektrostahlwerken (1980).
- [4] Lärmschutz bei Kraftwerken (1981).
- [5] Lärmschutz an Hochofen- und Sinteranlagen (1982).
- [6] Geräuschemission von Lastkraftwagen auf Betriebsgeländen (interner Bericht 1982).

Hrsg.: Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft, Düsseldorf

- [7] Studie zur Geräuschemission von Rauchgasentschwefelungsanlagen (1985).

Hrsg.: Niedersächsischer Minister für Bundesangelegenheiten

- [8] Untersuchungen von Geräuschemissionen und -immissionen an Feuerverzinkereien, und:
 Untersuchungen von Geräuschemissionen und -immissionen an Zuckerfabriken.
 Umweltschutz in Niedersachsen, Lärmbekämpfung Heft 3 (1985).

Hrsg.: Umweltbundesamt, Berlin

- [9] Handbuch Lärmschutz bei Förder- und Umschlaganlagen, Materialien 7/80.
- [10] Geräuschemission von Motorkettensägen, Texte 7/81.
- [11] Stand der Lärminderung in der Petrochemie, Texte 9/81.
- [12] Geräuschemission von Baustellenkreissägemaschinen, Texte 16/81.
- [13] Schallabstrahlung von Schornsteinen, Texte 17/81.
- [14] Stand der Lärminderungstechnik bei Müllverbrennungsanlagen, Texte 39/82.
- [15] Fachkolloquium "Geräuschemission von Kettensägen", Texte 40/82.
- [16] Lärminderung an kommunalen Nutzfahrzeugen, insbesondere Hausmüllsammelfahrzeuge, Texte 8/83.

- [17] Messung, Berechnung und Verminderung der Schallabstrahlung von Bodenfackeln, Texte 12/84.
- [18] Geräuschemission von Elektrokettensägen, Texte 18/84.
- [19] Geräuschemission von Anlagen der Holzbearbeitung, Texte 8/85.

Hrsg.: Bundesminister des Innern, Bonn

- [20] Auswirkung des Einsatzes lärmarmen Nutzfahrzeuge auf die Geräuschemissionen von Gewerbebetrieben (1985).

Hrsg.: Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund, Schriftenreihe, Forschungsberichte

- [21] HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ:
Geräuschemission von Holzbearbeitungsmaschinen und Maßnahmen zur Lärminderung, Nr. 150 (1976).
- [22] ROHBECK, R., K.P. SCHMIDT, P.-J. SCHRÖDER, W. STRASSEN:
Lärminderung an einer Schmiedepresse, Nr. 170 (1979).
- [23] HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ:
Geräuschemission von mehrseitigen Hobel- und Fräsmaschinen für die Holzbearbeitung und Maßnahmen zur Lärminderung, Nr. 171 (1978).
- [24] REBEL, J., G. SCHMIDT:
Geräuschemission von Hydroelementen und Hydrosystemen und Maßnahmen zur Lärminderung, Nr. 180 (1978).
- [25] WECK, M., W. MELDER, W. BREY, M. KLÖCKER, N. ROSCHIN:
Geräuschemission von Drehmaschinen, Nr. 181 (1977).
- [26] WONSAK, G., S.V. SAXENA, W. NAGEL:
Geräuschemission von Kreiselpumpen, Nr. 184 (1978).
- [27] FRENKING, H.:
Die Geräuschsituation bei der Fertigung von Steinen und Betonfertigteilen, Nr. 199 (1979).
- [28] HEYDT, F., H.-J. SCHWARZ:
Lärminderung von Holzbearbeitungsmaschinen, Nr. 209 (1979).
- [29] WECK, M., W. MELDER, W. BREY, M. KLÖCKER, N. ROSCHIN:
Geräuschemission von Fräsmaschinen, Nr. 214 (1979).
- [30] WECK, M., M. MELDER, W. BREY, M. KLÖCKER, W. WIEDEKING:
Geräuschemission spanender Werkzeugmaschinen, Walzfräsmaschinen, Kreissägemaschinen, Schleifmaschinen, Bohrmaschinen, Nr. 264 (1981).
- [31] VAN DEN BRULLE, P.:
Geräuschsituation in Gießereien - Bestandsaufnahme, Nr. 267 (1981).
- [32] PROBST, W.:
Planung lärmarmen Transportsysteme für Flaschen und Gläser, Nr. 313 (1982).

- [33] ECKER, W., H. GESE:
Geräuschemission von Krananlagen - Ermittlung des Standes der Technik an Brücken- und Portal-
kranen mit Hinweisen zur Lärminderung, Nr. 357 (1983).
- [34] TCHORZ, T.:
Geräuschemission von Fräs- und Hobelwerkzeugen für die Holzbearbeitung - Maßnahmen zur Lärm-
minderung, Nr. 379 (1984).
- [35] MICHEL, D. C. KEMMNER:
Geräuschemission von handgeführten Elektrowerkzeugen für die Holzbearbeitung - Lärminderung,
Nr. 380 (1984).
- [36] WISCHMANN, G.:
Geräuschemission von Schmiedepressen und Möglichkeiten der Lärminderung, Nr. 393 (1985).
- [37] VON DEN BRULLE, P.:
Geräuschemission von Gießereimaschinen, Formmaschinen, Kernschießmaschinen, Ausleer- und
Förderröste, Nr. 423 (1984).

Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure:

- [38] VDI 2081:
Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen (März 1983).
- [39] VDI 2159:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Getriebegeräusche (Entwurf September 1983).
- [40] VDI 2561:
Geräuschemission von Gesenk- und Freiformschmieden und Maßnahmen zu ihrer Minderung
(Juli 1968).
- [41] VDI 2572:
Geräusche von Textilmaschinen und Maßnahmen zu ihrer Minderung (Entwurf Januar 1985).
- [42] VDI 3730:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Prozeßöfen (Februar 1981).
- [43] VDI 3731, Bl. 1:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Kompressoren (Dezember 1982).
- [44] VDI 3732:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Fackeln (Februar 1981).
- [45] VDI 3733:
Geräusche bei Rohrleitungen (Entwurf September 1985).
- [46] VDI 3734, Bl. 1:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Rückkühlanlagen, Luftkühler (Februar 1981).
- [47] VDI 3735:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Zerkleinerungsmaschinen (Entwurf Dezember
1984).

- [48] VDI 3720, Bl. 5:
Lärmarm Konstruieren: Hydrokomponenten und -systeme (März 1984).
- [49] VDI 3736:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, umlaufende elektrische Maschinen, Asynchronmaschinen (April 1984).
- [50] VDI 3739:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Transformatoren (Juli 1982).
- [51] VDI 3740, Bl. 2:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Holzbearbeitungsmaschinen, Hobelmaschinen für einseitige Bearbeitung (Mai 1982).
- [52] VDI 3740, Bl. 3:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Holzverarbeitungsmaschinen, Tischkreissägemaschinen (Juni 1983).
- [53] VDI 3740, Bl. 4:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Holzverarbeitungsmaschinen, Tischfräsmaschinen (Juni 1983).
- [54] VDI 3740, Bl. 5:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Holzverarbeitungsmaschinen, Baustellenkreissägemaschinen (Entwurf Dezember 1984).
- [55] VDI 3741:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Maschinen in Flaschen-Abfüllanlagen (Januar 1981).
- [56] VDI 3742, Bl. 1:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Drehmaschinen (Februar 1981).
- [57] VDI 3742, Bl. 2:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Fräsmaschinen (Februar 1981).
- [58] VDI 3642, Bl. 3:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Walzfräsmaschinen (Juni 1982).
- [59] VDI 3742, Bl. 4:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Kaltkreissägemaschinen (Juni 1983).
- [60] VDI 3742, Bl. 5:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Schleifmaschinen (Juni 1983).
- [61] VDI 3742, Bl. 6:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, spanende Werkzeugmaschinen, Bohrmaschinen (Juni 1983).

- [62] VDI 3743, Bl. 1:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Pumpen, Kreiselpumpen (Januar 1982).
- [63] VDI 3748:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Handkettensägemaschinen (Entwurf Juli 1983).
- [64] VDI 3749, Bl. 2:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen, schlagende Werkzeuge (Juni 1983).
- [65] VDI 3749, Bl. 3:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen, Bohrhämmer und Handbohrmaschinen (Juni 1983).
- [66] VDI 3749, Bl. 4:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen, Bohrmaschinen (Dezember 1984).
- [67] VDI 3749, Bl. 5:
Emissionskennwerte technischer Schallquellen, Druckluft-Werkzeuge und -Maschinen, Schleifer (Entwurf Dezember 1984).

Veröffentlichungen in Fachzeitschriften:

- [68] HEISS, A.:
Lärmmission bei Zellstoffwerken.
Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik, Gesundheits-Ingenieur, 101 (1980), S. 18-23.
- [69] BURGMANN, E., D. BLASCHET:
Lärmmission bei Anlagen zur Herstellung von Holzspan- und Holzfaserplatten und einzuleitende Minderungsmaßnahmen.
Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik, Gesundheits-Ingenieur, 102 (1981), S. 315-325.
- [70] STÜBER, B., H. LUDWIG:
Schallabstrahlung von Axialventilatoren für Luftkühler und Kühltürme.
Lärmbekämpfung, 27 (1980), S. 104-108.
- [71] FRITZ, K.R., H. LUDEWIG:
Schallabstrahlung von Radialventilatoren hoher Förderleistung.
Lärmbekämpfung, 32 (1985), S. 73-78.
- [72] MÜLLER, H.M.:
Schallemission von Kernkraftwerken.
Haustechnik, Bauphysik, Umwelttechnik, Gesundheits-Ingenieur, 104 (1983), S. 44-51.
- [73] REINICKE, W.L., E.P. RIEDEL:
Noise from Natural Draft Cooling Towers.
Noise Control Engineering, 15 (1980), S. 28-36.
- [74] LEMMENS, P., U. FELTERS:
Geräuschbildung und Geräuschminderung bei Naßkühltürmen.
VGB-Konferenz Kraftwerk und Umwelt, (1975), S. 173-179.

- [75] SCHULLER, W.M.:
Purification Plants: Noise Aspects and Provision.
Applied Acoustic, 14 (1981), S. 403-416.
- [76] GASCHLER, R.:
Geräuschemission von Zerkleinerungsanlagen.
Industrie-Anzeiger, 106 (1984), S. 29-30.
- [77] ROSENBERG, H., G.R. SINAMBARI:
Geräuschmechanismen und Lärminderungsmöglichkeiten bei gasdurchströmten Komponenten und Systemen, insbesondere bei der Gasentspannung.
VDI-Berichte, Nr. 389 (1981), S. 97-103.

Fachbücher/Dissertationen

- [78] KURZE, G., H. SCHMIDT, W. WESTPHAL:
Physik und Technik der Lärmbekämpfung.
Verlag G. Braun, Karlsruhe (1975).
- [79] HECKL, M., H.A. MÜLLER:
Taschenbuch der technischen Akustik.
Springer Verlag, Berlin (1975).
- [80] HUMBERT, G.:
Möglichkeiten der Lärminderung von Schabottehämmern und ihre Grenzen hinsichtlich der Auswirkung auf den Schmiedevorgang.
Dissertation, Universität Hannover, Fakultät für Maschinenwesen (1979).
- [81] MATISCHKA, G.:
Geräuschemission von Schneidpressen und Maßnahmen zur Lärminderung.
Dissertation, Universität Hannover, Fakultät für Maschinenwesen (1981).

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz
des Landes Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsimmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANN, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohrofen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:
Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
(vergriffen) Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:
Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:
Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft (1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:
Ermittlung von Verkehrsgläusch-Immissionen
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:
(vergriffen) Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:
(vergriffen) Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:
(vergriffen) Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:
(vergriffen) Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:
Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:
(vergriffen) Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr. Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen. (1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:
(vergriffen) Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:
(vergriffen) Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:
Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet
Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:
(vergriffen) Untersuchungen zu Schießlärminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und J.
KROCHMANN:
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).
Ergebnisse für die Komponenten SO₂, NO_x, O₃ und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:
Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:
Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITTGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADETZKY, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖTTL und H.-K. LICHTENTHALER:
(vergriffen) Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).
- Berichte-Nr. 58: GIEBEL, J. und W. STRAMPLAT:
Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers Cospec V zur
Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid. (1986).
- Berichte-Nr. 59: PRINZ, B., D. SCHWELA, E. KOCH, S. GANSER und T. EIKMANN:
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von
Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen. (1986).
- Berichte-Nr. 60: MANNS, H. und H. GIES:
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH
(1986).
- Berichte-Nr. 61: SPLITTGERBER, H.:
Messung und Beurteilung von Erschütterungsmissionen - Vergleich verschiedener
Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHNER:
Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzop-Dioxine und Dibenzofurane in
Nordrhein-Westfalen. (1986).
- Berichte-Nr. 63: GIEBEL, J.:
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells
(K-Modell) für die Praxis der Immissions-Simulation. (1986)

- Berichte-Nr. 64: WINKLER, H.D.:
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen -
(1986).
- Berichte-Nr. 65: WIETLAKE, K.H.:
Erschütterungseinwirkung durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch
Direktabfederung.
(1986)
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am
8. und 9.10.1986 in der LIS, Essen.
(1986).