

**UNIVERSITÄT  SIEGEN**

**Emissionsmeßverfahren für technische Schallquellen  
und ihre praktische Relevanz**

**Dissertation  
zur Erlangung des akademischen Grades  
DOKTOR-INGENIEUR**

**vorgelegt von  
Dipl.-Ing. Michael Rottschäfer  
aus Gummersbach**

**genehmigt vom  
Fachbereich Maschinentechnik  
der Universität Siegen**

**Referent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Strasser  
Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Th. Carolus**

**Tag der mündlichen Prüfung:  
06. November 2001**

*meiner Frau Ute  
und meinen Kindern  
Kai Bastian und Jan Michael  
gewidmet*

AWS-Schriftenreihe  
Hrsg.: Prof. Dr.-Ing. habil. H. Strasser

Band 1

**Michael Rottschäfer**

**Emissionsmeßverfahren für  
technische Schallquellen  
und ihre praktische Relevanz**

Shaker Verlag  
Aachen 2002

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Rottschäfer, Michael:*

Emissionsmeßverfahren für technische Schallquellen und  
ihre praktische Relevanz / Michael Rottschäfer.

Aachen: Shaker, 2002

(AWS-Schriftenreihe; Bd. 1)

Zugl.: Siegen, Univ., Diss., 2001

ISBN 3-8265-9925-X

Copyright Shaker Verlag 2002

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen  
oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungs-  
anlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9925-X

ISSN 1619-2990

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

## Vorwort

Seit mittlerweile mehr als 10 Jahren besteht für die Hersteller von Maschinen, Geräten und Anlagen, deren Betrieb mit einer nennenswerten Schallabstrahlung verbunden ist, die Verpflichtung, diese Emission auch mit Maß und Zahl zu kennzeichnen. Gleiches gilt auch für das „Inverkehrbringen“ von importierten Gerätschaften. Die Maschinenlärm-Informationsverordnung (als 3. Verordnung zum Gerätesicherheitsgesetz) verlangt – wie ihr Name bereits zum Ausdruck bringt – seit ihrem Inkrafttreten am 18.01.1991 nicht lediglich eine unverbindliche qualitative Angabe der akustischen Qualität eines Gerätes, wie etwa „leise“ oder „laut“, sondern eine exakte, nachvollziehbare Maßangabe nach standardisierten Meßverfahren. Vielversprechende, aber letztlich nicht faßbare Qualitätsbezeichnungen, wie z.B. „Flüsterjet“, „Flüsterasphalt“ oder „Flüsterkompressor“ sollen beispielsweise durch den Schalleistungspegel  $L_{wa}$  und/oder einen arbeitsplatzbezogenen Emissionswert  $L_{pa}$  konkretisiert werden. Diese, vom Hersteller bzw. Lieferanten einer Maschine dem Angebot beizulegenden Geräuschemissionsangaben sollen den Käufer oder Betreiber u.a. in die Lage versetzen, die Maschine mit der geringsten Emission auswählen zu können, den Stand der Lärminderungstechnik beurteilen, und die Geräuschmission am Arbeitsplatz und in Arbeitsräumen berechnen zu können, zumal an ihn mittlerweile verschärfte Forderungen aus Vorschriften auf dem Gebiet des Lärmschutzes am Arbeitsplatz und in der Nachbarschaft gestellt werden.

Weil so letztlich dem Verkaufsargument „Lärmarm“ eine höhere Bedeutung zukommt, und wird durch konkurrierenden Wettbewerb zu hoffen bleibt, daß auch die fortschrittlichen Regeln der Lärminderungstechnik vom Hersteller angewandt werden, sind diese Standardisierungsmaßnahmen auf dem Gebiet der Schallemissionsmessung grundsätzlich sehr zu begrüßen. Der Schalleistungspegel spiegelt aber nicht unbedingt immer die Realität wider, und er darf auf keinen Fall uneingeschränkt zur Bestimmung des personenbezogenen Beurteilungspegels verwendet werden, einer Immissionsmaßangabe, die auf einer Beurteilungszeit von z.B. 8 h oder 16 h im Arbeits- oder Umweltschutz beruht. Eine zuverlässige Schallemissionskennzeichnung ist also auch Voraussetzung für die Erstellung von Lärmprognosen im Zuge der Erstattung von Lärmgutachten. Werden allerdings die zum Teil unter laborähnlichen Bedingungen ermittelten (vereinfachten) Geräuschkennwerte herangezogen, dann können Nachbarschaftsbeschwerden über die möglicherweise tatsächlich höhere Lärmbelastung geradezu vorprogrammiert sein. Gleiches gilt für den vermeintlich sicheren Arbeitsschutz. Standardisierte Meßverfahren sind manchmal zwangsläufig nicht uneingeschränkt praxisrelevant. Nicht selten täuschen sie auch günstigere Bedingungen vor. So wie der Benzinverbrauch eines PKW auch bei betont kostenbewußter Fahrweise im Durchschnitt wohl nie den optimalen, vom Hersteller genannten Kennwert erreichen wird, so sind auch die real auftretenden Schallbelastungen oft höher als die Werte, die in standardisierten Meßverfahren ermittelt wurden. Andererseits ist aber auch (bei großen Aggregaten) der Schalleistungspegel als Emissionswert, der auch ein Flächenmaß miteinschließt, mitunter erheblich höher als der am Arbeitsplatz tatsächlich zu erwartende Immissionspegel. So ist es also ohne Hintergrundwissen nicht gerade einfach, die Praxisrelevanz von Schallemissionsmeßverfahren und den oft auch in VDI-ETS-Richtlinien (Richtlinien des Vereins Deutscher Ingenieure mit Emissionskennwerten Technischer Schallquellen) dokumentierten „Stand der Technik“ richtig einzuschätzen.

Die ursprünglich (bescheidene) Zielstellung der Urheber von Schallemissions-Meßverfahren, nämlich grundsätzlich vergleichbare Messungen innerhalb verschiedener Maschinengattungen festzulegen, ohne besonderes Augenmerk darauf zu werfen, ob dabei auch wirklich repräsentative Betriebszustände realitätsnah vermessen werden, ist heute unzulänglich, vor allem deshalb, weil mehr und mehr (wie z.B. in der Novellierung der TA Lärm) gefordert und auch praktiziert wird, Schallemissionswerte, d.h. Schalleistungspegel  $L_{wa}$  und/oder arbeitsplatzbezogene Emissionswerte  $L_{pa}$  (von Maschinen und Anlagen) als Grundlage für Prognoseverfahren der Schallmission (sowohl im Arbeits- als auch im Umweltschutz) zu benutzen.

Hier setzt die Arbeit von Herrn Rottschäfer an mit dem Ziel, die mittlerweile unüberschaubare Vielzahl von Emissionsmeßverfahren für technische Schallquellen zu „durchleuchten“, hinsichtlich Aufbau und Zielstellung kritisch zu hinterfragen, und vor allem herauszuarbeiten, wo Defizite bezüglich ihrer praktischen Relevanz gegeben sind.

---

## **Danksagung**

Die vorliegende Arbeit entstand auf Anregung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Strasser während meiner Tätigkeit als freier Mitarbeiter am Institut für Fertigungstechnik, Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. H. Strasser möchte ich für die Möglichkeit zur Promotion, die vielfältige Unterstützung, intensive Betreuung und Diskussionsbereitschaft bei der Anfertigung dieser Arbeit und die Übernahme des Hauptreferates danken.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Th. Carolus vom Institut für Fluid- und Thermodynamik, Fachgebiet Strömungsmaschinen der Universität Siegen danke ich für sein Interesse an der Arbeit und die freundliche Übernahme des Korreferates.

Für ihre Tätigkeit als Prüfer bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. W. Krumm vom Lehrstuhl für Energie- und Umweltverfahrenstechnik am Institut für Energietechnik der Universität Siegen und bei Herrn Priv.-Doz. Dr.-Ing. K. Kluth vom Institut für Fertigungstechnik, Fachgebiet Arbeitswissenschaft/Ergonomie der Universität Siegen.

Mein Dank gilt allen Mitarbeitern des Instituts für ihre Hilfsbereitschaft und Unterstützung, insbesondere Herrn Dr.-Ing. H. Irle, der mir während der gesamten Zeit als Ansprechpartner und wichtiger Ratgeber zur Seite stand.

Ich bedanke mich bei meinen Kollegen vom Staatlichen Umweltamt Siegen, Herrn Dipl.-Ing. W. Messmann für die Hilfestellung bei den meßtechnischen Ermittlungen und Herrn M. Gronau für seine kompetente Begleitung bei der Erstellung der programmtechnischen PC-Anwendung.

Gummersbach-Dieringhausen, im Juni 2001

Die Inhalte der vorliegenden Dissertation sind auch  
in Form eines Anwendersystems  
auf CD-ROM verfügbar



**Systemanforderungen:**

IBM-kompatibler PC  
(Pentium mit 32 MB Hauptspeicher)  
CD-Rom-Laufwerk, double-speed  
VGA-kompatible Grafikkarte  
Microsoft-Windows 95/98  
Internet Explorer ab Version 5.0  
Adobe Acrobat Reader

# Emissionsmeßverfahren für technische Schallquellen und ihre praktische Relevanz

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
Nomenklatur .....	V
<b>0 Zusammenfassung .....</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Aufgaben- und Problemdarstellung .....	1
1.2 Aufbau der Handlungshilfe „Schallemissionsmeßverfahren“ .....	3
<b>2 Schalltechnische Grundlagen .....</b>	<b>6</b>
2.1 Wirkung von Schall auf das Gehör und die Gesundheit .....	6
2.2 Basisgrößen von Schallbelastungen .....	7
2.3 Bestimmung und Berechnung der Schallemission .....	10
<b>3 Regelungen zur Schallemissionsmessung .....</b>	<b>13</b>
3.1 Stand der Gesetze und Verordnungen .....	13
3.1.1 Interpretation und Bedeutung für die Praxis .....	13
3.1.2 Anpassung und Umsetzung in die betriebliche Praxis .....	16
3.2 Technische Regelwerke als „Stand der Technik“ .....	18
3.2.1 Anpassungsmechanismus an den Kenntnisstand der Technik .....	18
3.2.2 Tatsächliche Realisierung und Anwendbarkeit in der Praxis .....	18
<b>4 Vorbereitungen zur Schallemissionsmessung .....</b>	<b>20</b>
4.1 Erfahrungsstand und Normgebung .....	20
4.1.1 Bestimmung des schalltechnischen Niveaus .....	20
4.1.2 Informationsbeschaffung .....	21
4.1.3 Interpretations- und Bewertungshilfen .....	22
4.2 Abweichungen von der Normgebung .....	24
4.2.1 Berücksichtigung praxisrelevanter Zustände .....	24
4.2.2 Anforderungen an die Meßverfahren .....	25
<b>5 Schallemissionsmeßverfahren .....</b>	<b>27</b>
5.1 Hüllflächen-Verfahren .....	27
5.2 Hallraum-Verfahren .....	30
5.3 Kanal-Verfahren .....	32
5.4 Vergleichs-Verfahren .....	34
5.5 Schallintensitätsmessung .....	35
5.6 Rundum-Meßmethode .....	38
5.7 Fahrzeuge und halbstationäre Anlagen .....	41
5.7.1 Baumaschinen .....	41
5.7.2 Messungen nach der EG-Baumusterprüfung .....	44
5.7.3 Straßenfahrzeuge .....	48
5.7.4 Straßenverkehrsmessungen .....	61
<b>6 Ergebnisse von Messungen unter realtypischen Bedingungen .....</b>	<b>68</b>
6.1 Schalleistungspegelbestimmung .....	68
6.1.1 Druckluftschlagschrauber .....	68
6.1.2 Schmiedehämmer .....	71



	Seite
6.1.3 Schneidpressen .....	74
6.1.4 Baumaschinen .....	78
6.1.5 Bohr- und Stemmwerkzeuge .....	86
6.1.6 Bolzensetzwerkzeuge .....	92
6.1.7 Baustellenkreissägen .....	95
6.1.8 Motorkettensägen .....	99
6.1.9 Rasenmäher .....	103
<b>6.2 Emissionsmessung und Immissionsbestimmung .....</b>	<b>108</b>
6.2.1 Radlader und Brecheranlage .....	108
6.2.2 Windkraftanlagen .....	111
6.2.3 Lastkraftwagen .....	114
<b>6.3 Schalleistungspegelbestimmung in reflexionsarmen Räumen und im Freien .....</b>	<b>116</b>
6.3.1 Heizungswärmepumpe .....	116
6.3.2 Komposthäcksler .....	118
6.3.3 PC-Drucker .....	121
<b>6.4 Weitere Schallemissionsmessungen .....</b>	<b>123</b>
6.4.1 Straßenverkehrsmessungen .....	123
6.4.2 Fahrzeug- und Transportgeräusche .....	126
<b>7 Schallemissionsmeßwerte Technischer Schallquellen .....</b>	<b>132</b>
7.1 Maschinen für die Metallbearbeitung .....	132
7.2 Maschinen für die Holzbearbeitung .....	140
7.3 Pumpen .....	143
7.4 Elektrische Geräte für den Hausgebrauch .....	146
7.5 Vervielfältigungsmaschinen und Bürokopiergeräte .....	149
7.6 Meßverfahren „Baulärm“ .....	152
<b>8 Vorgehensweise für repräsentative Messungen .....</b>	<b>158</b>
8.1 Berücksichtigung der Aufstellungs- und Betriebsbedingungen .....	158
8.2 Anwendung alternativer Meßverfahren .....	162
8.3 Auswerteverfahren zur schalltechnischen Qualitätsbeschreibung .....	162
8.4 Anforderungen an vorhandene und zukünftige Normen .....	166
<b>9 Methoden zur meßtechnischen Erfassung .....</b>	<b>168</b>
9.1 Festlegung von Meßstellen und Meßpunkten .....	168
9.2 Meßbedingungen und Interpretation der Meßergebnisse .....	170
<b>10 Diskussion – Schlußfolgerungen und Ausblick .....</b>	<b>172</b>
<b>11 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>176</b>
<b>12 Anwendersystem .....</b>	<b>/</b>
<b>Anhang .....</b>	<b>A1 – C13</b>

**Anhang**

	Seite
<b>A Grundlagen schalltechnischer Erfassung .....</b>	<b>A1</b>
A1 Wirkung von Schall .....	A1
A1.1 Gehörmechanismus .....	A1
A1.2 Gesundheitsbeeinträchtigung .....	A2
A1.3 Wirkungen von Schall auf die Umwelt .....	A3
A1.4 Folgen der Lärmexposition .....	A4
A2 Basisgrößen des Maschinenschalls .....	A5
A2.1 Schalltechnische Begriffsdefinitionen .....	A5
A2.2 Emission .....	A6
A2.3 Immission .....	A6
A2.4 Zusammenhänge zwischen Geräuschemission und -immission .....	A7
A2.5 Schallpegelberechnung .....	A9
A2.6 Frequenzbewertung (-analyse) .....	A12
A3 Bestimmung und Berechnung des Schalls .....	A13
A3.1 Schalleistungspegel .....	A13
A3.2 Arbeitsplatzbezogener Emissionswert (Emissionsschalldruckpegel) .....	A16
A3.3 Beurteilungspegel .....	A17
<b>B Regelungen zur Schallemissionsmessung .....</b>	<b>B1</b>
B1 Gesetzlicher Aufbau .....	B1
B2 Regelungen der Europäischen Union .....	B3
B3 Interpretation und Bedeutung .....	B6
B4 Gesetzliche Grundlagen .....	B8
B4.1 Arbeitsschutz-Vorschriften .....	B8
B4.1.1 UVV Lärm (VBG 121) .....	B8
B4.1.2 Arbeitsstätten-Verordnung .....	B10
B4.1.3 Aufbau von Meßvorschriften .....	B11
B4.2 Immissionsschutz-Vorschriften .....	B12
B4.2.1 BImSchG .....	B12
B4.2.2 Meß- und Beurteilungsgrößen nach TA Lärm .....	B13
B4.3 Das Gerätesicherheitsgesetz (GSG) und seine Regelungsbereiche .....	B14
B5 Anpassung und Umsetzung .....	B15
<b>C Vorbereitungen für eine Messung .....</b>	<b>C1</b>
C1 Zweck einer Messung .....	C1
C2 Bestimmung des schalltechnischen Niveaus von Maschinen, Anlagen und Geräten .....	C5
C3 Informationsbeschaffung .....	C7
C4 Interpretations- und Beurteilungshilfen .....	C9
C5 Abweichungen von der Normgebung .....	C12