



**Schalltechnische Bearbeitung
fördertechnischer Einrichtungen
von der Planung bis zur Abnahme**



Bericht B 12

Ausschuß für Hafenumschlagtechnik

AHU

Hafenbautechnische Gesellschaft e. V.



HTG





Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	5
2. Erläuterungen	6
2.1 Vorschriften, Richtlinien, Literatur	6
2.2 Erläuterungen zu einigen schalltechn. Grundbegriffen	7
2.3 Zusammenstellung der wichtigsten Formelzeichen	13
2.4 Zusammenstellung der benutzten Formeln	15
3. Vorgehensweise	16
4. Einzuhaltende Grenzwerte	17
4.1 Bestimmung des zulässigen Gesamt-Immissionspegels	17
4.2 Ermittlung des bestehenden Beurteilungspegels	18
4.3 Berechnung des zul. Immissionspegels der gepl. Einrichtung	19
4.4 Umrechnung auf zulässigen Emissionspegel (Schalleistung)	19
5. Berechnung der zu erwartenden Schalleistung der Einrichtung, Vergleich mit zulässiger Schalleistung	20
5.1 Festlegung der Einzel-Schallquellen	21
5.2 Ermittlung der Einzel-Schalleistungspegel	21
5.3 Addition zur Gesamtschalleistung	22
5.4 Vergleich mit zulässigem Schalleistungspegel	22
6. Ermittlung der wahren Schalleistung (Messverfahren zur Kontrollmessung)	23
7. Vereinbarung der Modalitäten (Messverfahren, Toleranzen, u.ä.)	24
8. Rechenbeispiele	25
9. Ausführungsbeispiele zur Lärminderung konstruktive Hinweise	30
10. Literatur-Hinweise	32

1. Einleitung

In den letzten Jahren ist das Umweltbewußtsein der Bürger stetig gewachsen. Dies bedeutet auch eine erhöhte Sensibilität gegenüber Lärmbelästigung, zumal, wenn sie vermeidbar erscheint.

Daher müssen sowohl die Betreiber als auch die Hersteller von Lärm emittierenden Anlagen die notwendigen Maßnahmen zur Lärmeindämmung ergreifen, um hinsichtlich der Lärmemission die gesetzlichen Vorschriften einzuhalten.

Dies bedeutet nicht zwangsläufig zusätzliche Kosten, da sehr oft alleine schon Änderungen im technischen Konzept ausreichend sind.

Die schalltechnische Bearbeitung von fördertechnischen Einrichtungen war bisher nicht allgemein geübte Praxis, sondern wurde nur in Einzelfällen konsequent durchgeführt. Erfahrungen über eine planmäßige Vorgehensweise liegen daher nur bei wenigen Betreibern und Herstellern vor. Die treffsichere Auslegung erfordert jedoch Erfahrungen und umfassendes Wissen auf diesem komplexen Gebiet. Wird die Nachbesserung einer schalltechnisch falsch dimensionierten Einrichtung notwendig, so ist dies mit enorm höheren Kosten verbunden, als wenn die Schallschutzmaßnahmen im Bau mit eingeplant worden wären.

Wird also eine neue fördertechnische Einrichtung geplant oder eine bestehende saniert, dann muß neben allen anderen Kriterien wie Förderleistung, Energieeinsatz, Sicherheit, Wirtschaftlichkeit u.ä. auch die schalltechnische Situation überprüft werden.

Dazu ermittelt i.A. der Betreiber die zu erwartende Schallemission der betroffenen Einrichtung und, i.d.R. im Rahmen eines schalltechnischen Gesamtkonzeptes, die zulässige zusätzliche Schallimmission, unter Berücksichtigung der bereits existierenden oder noch geplanten Schallquellen, und überprüft diese Werte dann auf Verträglichkeit mit den gesetzlich erlaubten Grenzwerten.

Für diese schalltechn. Bearbeitung soll die vorliegende Ausarbeitung eine Anleitung, ein Leitfaden sein, der keinesfalls die Lektüre und Beachtung der im Folgenden angesprochenen Richtlinien und Normen erspart.

Ein Überblick über die Vorgehensweise bei der schalltechnischen Bearbeitung ist in Kap. 2 gegeben.

Da dieser Leitfaden sowohl für Betreiber als auch für Hersteller von fördertechnischen Einrichtungen gedacht ist, kann, je nach Einsatzfall, eine Auswahl der Verfahrensschritte zur Anwendung kommen.

Zusätzlich wird auf die Bestimmungen der UVV und ähnlicher Richtlinien verwiesen, deren Auswirkungen auf die geplante Einrichtung hinsichtlich der Belastung des Arbeitsplatzes allerdings nicht Bestandteil dieser Empfehlung sind.

2. Erläuterungen

2.1 Vorschriften, Richtlinien, Literatur:

Zur schalltechn. Bearbeitung von förder techn. Einrichtungen, sowohl zur Bestandsaufnahme im Planungsstadium als auch zur Abnahmemessung am Immissionsort, sind Meßverfahren und -geräte in TA Lärm, VDI 2058 und DIN 18005 beschrieben; deshalb ist deren Lektüre für fachgerechte Bearbeitung der Immissionsprobleme unbedingt erforderlich.

Die 'TA-Lärm', eine Verwaltungsvorschrift zur Ausführung des Bundes-Immissionsschutz-Gesetzes (BImSchG), gibt eine Anleitung zur Ermittlung der Immissions-Vergleichswerte. Sie beschreibt die zu verwendenden Meßgeräte, die Meßverfahren und die Auswertung, Ort und Zeit der Messungen sowie die Berücksichtigung von Einzellönen und Fremdgeräuschen.

Ähnlich die VDI 2058, Blatt 1 bis 3; sie befaßt sich mit der 'Beurteilung von Arbeitslärm' in der Nachbarschaft (Immissionsort) und am Arbeitsplatz (z.B. Innenpegel) und gibt zulässige Werte an.

Auch die DIN 18005, 'Schallschutz im Städtebau', gibt Hinweise für schalltechn. Planung und Berechnungs- und Beurteilungsgrundlagen.

Die DIN 45635 beschreibt die 'Geräuschmessung an Maschinen' nach dem Hüllflächen-Verfahren zur Ermittlung des Schalleistungspegels einer Schallquelle (Emission). Sie schafft die Voraussetzung dafür, daß die von Maschinen unmittelbar an die umgebende Luft abgestrahlten Geräusche nach einheitlichen Verfahren ermittelt werden und damit die Ergebnisse vergleichbar sind.

Nach VDI 2571, 'Schallabstrahlung von Industriebauten', wird z.B. der abgestrahlte Schalleistungspegel eines Maschinenhauses ermittelt.

Die VDI 2714, 'Schallausbreitung im Freien', ist immissionsort-bezogen und stellt die Verbindung zwischen Emissions- und Immissionsort her.

Für die Beurteilung zeitlich schwankender Schallvorgänge ist nach DIN 45641, 'Pegel zeitl. schwankender Schallvorgänge', und nach DIN 45645, 'Beurteilungspegel für Geräuschimmissionen', der Mittelungs- und der Beurteilungspegel zu bestimmen.

Das Normenwerk wird durch eine Reihe weiterer VDI-Richtungen und DIN-Normen, Forschungsarbeiten und Fachaufsätze ergänzt, die z.T. auch Richtwerte für Planungszwecke enthalten. Im Anhang sind die für Hebezeuge im Hafenbetrieb wichtigsten Literaturstellen aufgeführt.

Der Forschungsbericht Nr. 357 der Bundesanstalt für Arbeitsschutz (Bau) Dortmund, 'Geräuschemission von Krananlagen', W. Ecker und H. Gese (UNI Hannover), enthält Meßergebnisse von ca. 50 verschiedenen Brücken- und Portalkranen, die bei der Planung von Einrichtungen eine Hilfe sein können.

In Kap. 8 wird an Hand von Rechenbeispielen gezeigt, wie aus den Immissionsgrenzwerten und den Schallpegeln bereits vorhandener Schallquellen des betrachteten Gebietes der für die zu beurteilende Einrichtung einschließlich Betriebsgeräusch noch verfügbare Schallpegel (Schalleistung) ermittelt werden kann, wie die zu erwartende Schalleistung berechnet und mit der zulässigen verglichen wird und wie notwendige schalltechnische Maßnahmen sich in der Prognoserechnung auswirken.

2.2 Erläuterungen zu einigen schalltechnischen Grundbegriffen

- Schall:

dem statischen Luftdruck überlagerte Druckschwankungen (Longitudinalwellen), die bei einem Schwingungsbereich zwischen 16 und 20.000 Hz vom menschlichen Ohr wahrgenommen werden können, wenn dabei der Schalldruck die Hörschwelle übersteigt.

- Schalldruck p :

akustische Meßgröße, bei der mit dem Mikrofon die Luftdruckschwankungen einer sich ausbreitenden Schallwelle gemessen werden können; Meßeinheit in Pa (Pascal):

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 10^{-2} \text{ mbar} \quad (2.2.1)$$

menschliche Hörschwelle	(bei 1 kHz):	ca.	20	mikro-N/m ²
menschliche Schmerzschwelle	(bei 1 kHz):	ca.	20	N/m ²

d.h. zwischen Hörschwelle und Schmerzschwelle liegen 6 Zehnerpotenzen.

Um die sich daraus ergebenden großen Zahlen zu vermeiden und um die in Bezug auf den akustischen Reiz logarithmische Charakteristik des Ohres nachzuempfinden, wird zusätzlich zum Effektivwert des Schalldruckes der normierte Schalldruckpegel definiert.

- Schalldruckpegel (Schallpegel) L_p :

Rechengröße, entstanden durch Normierung des Schalldruckes mit der Bezugsgröße

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$ (Hörschwelle) und Bezeichnung dieser dimensionslosen logarithmischen Größe mit 'dB':

$$L_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 \cdot \lg \frac{p}{p_0} \text{ dB.} \quad (2.2.2)$$

- Schallintensität (Schallstärke) J :

J ist diejenige Schallenergie, die pro Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit senkrecht zur Ausbreitungsrichtung der Schallwellen hindurchtritt:

$$J = p \cdot v \text{ W/m}^2 \quad (W = \text{Watt}) \quad (2.2.3)$$

mit v = Schallschnelle = Schwinggeschwindigkeit eines Teilchens;

- **Schallintensitätspegel L_J :**

die mit $J_0 = 10^{-12} \text{ W / m}^2$ normierte Schallintensität ergibt den Schallintensitätspegel

$$L_J = 10 \cdot \lg \frac{J}{J_0} \text{ dB.} \quad (2.2.4)$$

- **Schalleistung W :**

Das Flächenintegral über die Schallintensität J ergibt die Schalleistung W , die durch die Fläche S' hindurchtritt:

$$W = \int_{S'} J \, dS' \text{ W.} \quad (2.2.5)$$

Die Fläche S' sei genügend weit von der Schallquelle entfernt, so daß die durch sie hindurchtretende Welle als eben angesehen werden kann. Werden alle Teilflächen S' im Fernfeld einer Schallquelle zu einer geschlossenen Fläche S (z.B. Halb- oder Vollkugel) zusammengefaßt, dann ergibt das Integral über diese 'Meßfläche' die Gesamt-Schalleistung der Schallquelle:

$$W = \int_S J \, dS \text{ W.} \quad (2.2.6)$$

Diese Schalleistung, d.h. die pro Zeiteinheit von ihrer akustischen Umgebung unabhängig abgegebene Schallenergie, macht die Schallquelle und ihre Auswirkungen berechenbar und ermöglicht die Untersuchung ihrer akustischen Effekte im voraus an jedem beliebigen Aufstellungsort.

- **Schalleistungspegel L_W :**

Die mit $W_0 = 10^{-12} \text{ W}$ normierte Schalleistung ergibt den Schalleistungspegel:

$$L_W = 10 \cdot \lg \frac{W}{W_0} \text{ dB.} \quad (2.2.7)$$

- **Zusammenhang zwischen Schalldruck- und Schalleistungspegel:**

Unter der Voraussetzung der genügend weit von der Schallquelle ebenen Wellen auf der Meßfläche (s. vorn) stimmt der Schallintensitätspegel mit dem Schalldruckpegel betragsmäßig überein.

Die Berechnung des gesuchten Schalleistungspegels L_W als Produkt aus Intensität und Fläche geschieht durch Addition des Meßflächenmaßes L_S zum Intensitätspegel und damit zu dem auf der Meßfläche S gemessenen und gemittelten Schalldruckpegel L_p :

$L_W = L_J + L_S$ bzw. wegen $|L_p| = |L_J|$ folgt

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB mit } L_S = 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} \text{ dB; } S_0 = 1 \text{ m.} \quad (2.2.8)$$

Unter Voraussetzung einer quasi punktförmigen Schallquelle mit entsprechend (halb-)kugelförmiger Ausbreitung der Schallwellen (s. DIN 45635) gilt:

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg 4 \cdot \pi \cdot \frac{r_m^2}{r_0^2} \text{ dB (Schallausbr. kugeff.),} \quad (2.2.9)$$

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg 2 \cdot \pi \cdot \frac{r_m^2}{r_0^2} \text{ dB} \quad (\text{Schallausbr. halbkf.}) \quad (2.2.10)$$

r_m = mittl. Radius zw. Mittelpunkt(-linie) und Meßfläche in m; $r_0 = 1 \text{ m}$.

Bei Linienschallquellen der Länge L (m) wird meist der spezifische Schalleistungspegel L_W' je 1 m gleichmäßig strahlender Schallquelle angegeben mit folgendem Zusammenhang zwischen L_p im Abstand r_m von der Mittellinie und L_W' :

$$L_W' = L_p + 10 \cdot \lg 4 \cdot \frac{r_m}{r_0} \text{ dB} \quad (\text{Schallausbr. zylindrisch}), \quad (2.2.11)$$

$$L_W' = L_p + 10 \cdot \lg 2 \cdot \frac{r_m}{r_0} \text{ dB} \quad (\text{Schallausbr. halbzykl.}), \quad (2.2.12)$$

Der Gesamtschalleistungspegel der Linienschallquelle ist dann:

$$L_W = L_W' + 10 \cdot \lg L / 1 \text{ m} \text{ dB} . \quad (2.2.13)$$

– **Hilfstabelle für L_S (unter Freifeldbedingungen):**

Abstand r_m :	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000	2000	m
Kugel	11	17	25	31	37	45	51	57	65	71	77	dB
Halbkugel	8	14	22	28	34	42	48	54	62	68	74	dB (2.2.14)
Zylinder	6	9	13	16	19	23	26	29	33	36	39	dB
Halbzykl.	3	6	10	13	16	20	23	26	30	33	36	dB

– **Einfaches Analogon zum Zusammenhang zw. Schalldruck und -leistung:**

Bei einem Pkw-Motor werden die physikalischen Meßgrößen Drehzahl und Drehmoment gemessen und daraus die Rechengröße Motorleistung errechnet.

– **Frequenzanalyse:**

Zerlegen eines Geräusches in seine Frequenzanteile; die im Zusammenhang mit diesem Bericht gebräuchlichen Meßgeräte enthalten elektronische Filter, Oktav-, Terz- oder Schmalbandfilter mit konstanter relativer Bandbreite um ausgewählte Mittenfrequenzen.

– **Oktavfilter:**

Mittenfrequenzen f_m sind gestuft nach $f_{m2} = 2 \cdot f_{m1}$; die Bandbreite ist durch untere (f_U) und obere (f_O) Grenzfrequenz begrenzt.

f_m :	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	Hz
f_U :	22,5	45	90	180	355	710	1400	2800	5600	Hz (2.2.15)
f_O :	45	90	180	355	710	1400	2800	5600	11200	Hz

- **Terzfilter:**

Mittelfrequenzen f_m sind gestuft nach 1/3 Oktaven:

$$f_m: \quad 31,5 \quad 40 \quad 50 \quad 63 \quad 80 \quad 100 \quad 125 \quad \text{usw.} \quad \text{Hz} \quad (2.2.16)$$

- **A-Bewertung:**

Die Lautstärkeempfindlichkeit des menschlichen Ohres schwankt in Abhängigkeit von der Frequenz; dies führt zu Kurven gleicher Lautstärkepegel, die frequenzabhängig unterschiedliche Schalldruckpegel erreichen: das Ohr ist für niedrige Frequenzen weniger empfindlich als für hohe. Da Schallschutz sich im wesentlichen auf den Menschen bezieht, wird versucht, die Messungen und Berechnungen der Charakteristik des Ohres anzupassen; dazu dienen die Bewertungskurven (A,B,C,D), die die Kurven gleicher Lautstärke möglichst weitgehend nachbilden sollen.

Die Verläufe dieser Kurven sind definiert und werden in Meßgeräten durch elektronische Bewertungfilter dargestellt, so daß bei Verwendung dieser Filter das Meßergebnis hinreichend genau dem Empfinden des Ohres entspricht.

Für den normalen Pegelbereich wurde die A-Bewertung definiert, die einer an der Frequenzachse gespiegelten Kurve gleicher Lautstärke entspricht und etwa folgenden Verlauf hat:

$$\begin{array}{l} f: \quad 31,5 \quad 63 \quad 125 \quad 250 \quad 500 \quad 1000 \quad 2000 \quad 4000 \quad 8000 \quad \text{Hz} \quad (2.2.17) \\ L_p: \quad -39,4 \quad -26,5 \quad -16,1 \quad -8,6 \quad -3,2 \quad 0 \quad +1,2 \quad +1,0 \quad -1,1 \quad \text{dB} \end{array}$$

- **Mittelwert:**

Der energetische Mittelwert \bar{L} von mehreren Pegelwerten L_i wird gebildet nach:

$$\bar{L} = 10 \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{dB}, \quad n = \text{Anzahl der Werte } L_i. \quad (2.2.18)$$

- **Mittelungspegel:**

Bei zeitlich schwankenden Schallvorgängen wird ein Mittelungspegel L_m für die Dauer T_M mit den Teilzeiten T_i und den dazugehörigen Teilpegeln L_i (evtl. selbst schon Mittelungspegel) bestimmt:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_M} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{dB}, \quad n = \text{Anzahl der Werte } L_i, T_i \quad (2.2.19)$$

- **energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} :**

Wird L_m mit Frequenzbewertung A der dynamischen Gesamteigenschaft F (fast) oder S (slow) ermittelt, dann heißt dies auch 'energieäquivalenter Dauerschallpegel L_{eq} ' :

$$L_{eq} = L_{AFm} = L_{ASm}. \quad (2.2.20)$$

- Beurteilungspegel nach VDI 2058:

Der Beurteilungspegel setzt sich zusammen aus dem (den) zeitlichen Mittelwert(en) des Gesamtgeräusches der Schallquelle(n) und ggf. aus Zu- und Abschlägen für Fremdgeräusche, Ruhezeiten, Einzeltöne und Impulse.

Berechnen des Beurteilungspegels L_T als Maß für die durchschnittliche Geräuschimmission während des Bezugszeitraums T_B mit den Zuschlägen K_I für Impulshaltigkeit und K_T für Tonhaltigkeit:

$$L_T = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_B} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{eq,i} + K_{Ii} + K_{Ti})} \right) \text{ dB.} \quad (2.2.21)$$

Dabei ist

$$K_I = L_{AIm} - L_{eq}; \quad T_B = (\text{s. unten})$$

$K_T = 3$ bzw. 6 dB, je nach Auffälligkeit des Einzeltons.

Außerdem muß evtl. L_{eq} bzgl. Fremdgeräusch korrigiert werden (s. VDI 2058).

Bezugszeitraum T_B für den Beurteilungspegel L_T :

von 07 bis 19 Uhr	$T_{B1} = 12 \text{ h}$	$L_{r1,2} = \text{Tag}$
von 19 bis 22 Uhr und		
von 06 bis 07 Uhr	$T_{B2} = 4 \text{ h}$	$L_{r3} = \text{Nacht}$
von 22 bis 06 Uhr	$T_{B3} = 8 \text{ h}$	
lauteste der Nachtstunden		
zw. 22 und 06 Uhr	$T_{B4} = 1 \text{ h}$	L_{r4}

(2.2.22)

- maßgebende Beurteilungspegel:

(a) für Tag (06 bis 22 Uhr):

$$L_{r\text{Tag}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{16} (12 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r1}} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r2+6}}) \right) \text{ dB} \quad (2.2.23)$$

Anmerkung: +6 dB für erhöhtes Schutzbedürfnis in T_{B2} !

(b) für Nacht (22 bis 06 Uhr):

$$L_{r\text{Nacht}} = L_{r3}, \quad (2.2.24)$$

$$L_{r\text{Nacht}} = L_{r4}, \text{ nur wenn } L_{r4} \text{ um mind. 4 dB größer als } L_{r3}.$$

- Takt-Maximalpegel L_{AT} :

L_{AT} ist der in jeweils konstanten Zeitabschnitten (Takten) auftretende maximale A-bewertete Schallpegel in der Zeitbewertung F, z.B. Takt-Maximalpegel-Verfahren mit 5 s-Takt ergibt L_{AFT} .

- Wirkpegel nach TA Lärm:

Der dem Beurteilungspegel L_T nach VDI 2058 entsprechende Wirkpegel der TA Lärm ist der 'energieäquivalente Dauerschallpegel' L_{eq} , auf 2 Wegen ermittelt: .

1. Bei annähernd konstantem Geräusch kann der Wirkpegel aus den Meßwerten unmittelbar abgeschätzt werden mit Gewichtung zur Pegelobergrenze:

$$L_{\text{eq}} = \bar{L} + k \text{ dB} \quad \text{mit } \bar{L} = \text{Mittelpegel} \quad (2.2.25)$$

k = Gewichtungsfaktor.

2. Für Geräusche mit auffälligen Pegeländerungen wird der Wirkpegel für jeden Beurteilungszeitraum nach dem Takt-Maximalpegel-Verfahren mit Takten zu 5 (3) s ermittelt:

$$L_{\text{eq}} = L_{\text{AFM}} \text{ dB}. \quad (2.2.26)$$

- Umrechnung von Emission zu Immission und umgekehrt:

Die VDI 2714 bietet für diese Umrechnung ein einheitliches Rechenverfahren an, wobei grundsätzlich mit Frequenzbändern (z.B. aus Oktavanalysen) gerechnet werden sollte. Vereinfachend kann jedoch auch mit A-bewerteten Schalldruckpegeln gerechnet werden, wenn für die frequenzabhängigen Ausbreitungsdämpfungen die Werte für 500 Hz angesetzt werden.

Die Verknüpfung zwischen Schallquelle (Geräuschemission) und Empfänger (Geräuschimmission) liefert folgende Gleichung (s. auch Gl. 2.2.8):

$$L_W = L_p - K_0 - DI + D_s + D_L + D_{\text{BM}} + D_D + D_G + D_e \quad (2.2.27)$$

In Gl. (2.2.27) bedeuten:

L_W	Schalleistungspegel der Emission
L_p	Schalleistungspegel am Immissionsort
K_0	Raumwinkelmaß
DI	Richtwirkungsmaß
D_s	Abstandsmaß
D_L	Luftabsorptionsmaß
D_{BM}	Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß
D_D	Bewuchsdämpfungsmaß
D_G	Bebauungsdämpfungsmaß
D_e	Einfügungsdämpfung u. Schallschirmmaß.

Einige dieser Dämpfungsanteile sind frequenzabhängig, so daß ihre Größe nur nach Kenntnis des Frequenzspektrums der Schallquelle bestimmt werden kann; ihre Ermittlung ist in der VDI 2714 beschrieben.

$$K_0 = 10 \cdot \lg \left(\frac{4\pi}{\Omega} \right) \text{ dB}, \quad \Omega = \text{Raumwinkel der Abstrahlung}. \quad (2.2.28)$$

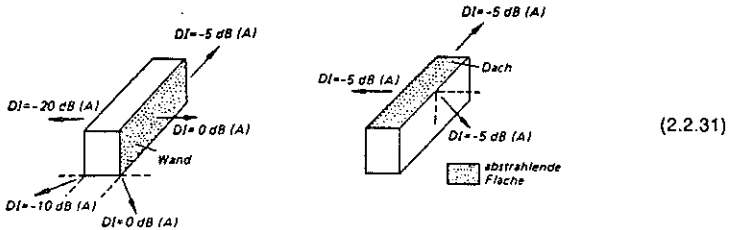
Abstrahlung	Ω	K_0	
Kugel	4π	0	bei schall-
Halbkugel	2π	3	harten Be-
Viertelkugel	π	6	begrenzungs-
Achtelkugel	$\pi/2$	9	flächen

(2.2.29)

$$D_s = 20 \cdot \lg \frac{S_m}{S_0} + 11 \text{ dB, abgeleitet von kugelförmiger Abstrahlung} \quad (2.2.30)$$

(s. auch Gl. (2.2.9)).

- **DI = Richtwirkungsmaß bei schallabstrahlenden Gebäudeflächen:**



Näherungswerte für die Richtwirkungsmaße von schallabstrahlenden Gebäudeflächen (Dach, Wand u.a.) entsprechend Richtlinie VDI 2571; anzuwenden für Rechnungen mit A-Schalldruckpegeln.

Die für DI angegebenen Werte gelten jeweils für die in Pfeilrichtung befindlichen Aufpunkte (Immissionsorte).

- **Erläuterung zu D_k :**

Die Betrachtungen und Formeln der VDI 2571 ("Schallabstrahlung von Industriebauten") beziehen sich auf reine Luftschallvorgänge. Neuere Messungen und Erfahrungen haben aber gezeigt, daß die Luftschallabstrahlung durch die Wand von Gebäuden oder Kapseln u.U. verstärkt wird durch Körperschallanregung der Verkleidung, besonders wenn diese dünnwandig ist (z.B. Alu-Trapezblech) und die Aggregate im Innern nicht Körperschallisoliert verlagert sind; d.h. der Körperschall aus den Aggregaten gelangt über Beton- und Stahlkonstruktion in die Bleche und regt diese zu zusätzlichen Schwingungen an. Da aber keine diesbezüglichen Richtlinien vorliegen, sollte eine Abschätzung der örtlichen Situation (Schalleistung der Schallquelle, Körperschallisolierung, Fortpflanzungsmöglichkeit des Körperschalls, Stärke und Befestigungsart des Verkleidungsblechs) zu einem Zuschlag D_k in Gl. (5.2.2) führen; Vorliegende Messungen zeigen eine mögliche Pegelerhöhung um bis zu 10 dB; liegt keine genauere Angabe vor, dann kann als Richtwert $D_k = 5 \text{ dB}$ angenommen werden.

2.3 Zusammenstellung der wichtigsten Formelzeichen

Zeichen	Bedeutung	Einheit
α	Absorptionsgrad	-
ρ	Dichte	kg / m ³
σ	Abstrahlgrad	-
$10 \cdot \lg \sigma$	Abstrahlmaß	dB
index a	außerhalb	-

A	Absorptionsfläche	m ²
A'	Innenfläche Raum/Kapsel	m ²
c	Schallgeschwindigkeit	m/s
d	Meßabstand zur Hüllfläche	m
DI	Richtwirkungsmaß	dB
D _k	Pegelerhöhung durch Körperschallanregung	dB
D _s	Abstandsmaß	dB
f	Frequenz	Hz
f _m	Mittelfrequenz	Hz
f ₀	obere Grenzfrequenz	Hz
f _u	untere Grenzfrequenz	Hz
Index i	innerhalb bzw. Zählindex	-
J	Schallintensität	W/m ²
K ₀	Raumwinkelmaß	dB
L	Länge einer Linienschallquelle	m
L _{AFTm}	Wirkpegel nach TA Lärm	dB
L _{eq}	energieäquiv. Dauerschallpegel	dB
L _{grenz}	Immissionsgrenzwert Schalldruckpegel	dB
L _J	Schallintensitätspegel	dB
L _{mi}	Mittelungs-Schalldruckpegel	dB
L _p	Schalldruckpegel, unbewertet	dB
D _{Lp}	Schalldruckpegel-Differenz	dB
L _{pA}	Schalldruckpegel, A-bewertet	dB
L _{pi}	Schalldruckpegel innen (Kapsel, Umhausung)	dB
L _{p(1m)}	Schalldruckpegel in 1 m Abstand, unbewertet	dB
L _{pA(1m)}	Schalldruckpegel in 1 m Abstand, A-bewertet	dB
L _{pzul}	zulässiger Schalldruckpegel	dB
\bar{L}_p	mittlerer Meßflächen-Schalldruckpegel, unbewertet	dB
L _s	Meßflächenmaß	dB
L _{s(1m)}	Meßflächenmaß in 1 m Abstand	dB
L _W	Schalleistungspegel, unbewertet	dB
D _{LW}	Schalleistungspegel-Differenz	dB
L _{WA}	Schalleistungspegel, A-bewertet	dB
L _{Wa}	Schalleistungspegel außen, unbewertet	dB
L _{WAa}	Schalleistungspegel außen, A-bewertet	dB
L _{W'}	L _W pro m Linienschallquelle, unbewertet	dB
L _{Wi}	Schalleistungspegel Innen, unbewertet	dB
L _{Wger}	gerechneter Schalleistungspegel	dB

L_r	Beurteilungspegel VDI 2058, DIN 45641	dB
L_{Wzul}	zulässiger Schalleistungspegel	dB
m	Masse	kg
p	Schalldruck	Pa
r_m	mittl. Radius der (Halb-)Kugel-Meßfläche	m
R	Schalldämm-Maß	dB
R'_W	bewertetes Schalldämm-Maß nach DIN 52210	dB
S	Meß-Fläche, abstrahlende Oberfläche	m ²
s_m	mittl. Abstand Schallquellenmitte zu Aufpunkt	m
T_B	Beurteilungszeit (100 %)	s
T_i	Zeitintervall mit L_{Wi}	s
T_N	Nachhallzeit	s
v	Schallschnelle	m/s
V	Hallraumvolumen	m ³
W	Schalleistung	Watt

2.4 Zusammenstellung der wichtigsten benutzten Formeln:

$$L_W = L_p + L_s \text{ dB}; \quad L_s = 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) \text{ dB} \quad (2.2.8)$$

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg 4 \cdot \pi \frac{r_m^2}{r_0^2} \text{ dB} \quad (\text{Schallausbr. kugelf.}) \quad (2.2.9)$$

$$L_W = L_p + 10 \cdot \lg 2 \cdot \pi \frac{r_m^2}{r_0^2} \text{ dB} \quad (\text{Schallausbr. halbkf.}) \quad (2.2.10)$$

$$L_{W'} = L_p + 10 \cdot \lg 2 \cdot r_m / r_0 \text{ dB} \quad (2.2.12)$$

$$L_W = L_{W'} + 10 \cdot \lg L / 1 \text{ m} \text{ dB} \quad (2.2.13)$$

$$\bar{L} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{ dB}, \quad n = \text{Anzahl der Werte } L_i \quad (2.2.18)$$

$$L_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_M} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{ dB} \quad (2.2.19)$$

$$L_r = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_B} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{eq,i} + K_{II} + K_{III})} \right) \text{ dB} \quad (2.2.21)$$

$$L_{r\text{Tag}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{16} (12 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r1}} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r2+6}}) \right) \text{ dB} \quad (2.2.23)$$

$$L_{r\text{Nacht}} = L_{r3} \text{ (bzw. } L_{r4}) \quad (2.2.24)$$

$$L_{pzul} = 10 \cdot \lg (10^{0,1 \cdot L_{\text{grenz}}} - 10^{0,1 \cdot L_r}) \text{ dB} \quad (4.3.1)$$

$$L_{Wzul} = L_{pzul} - 3 + 20 \cdot \lg \frac{s_m}{s_0} + 11 \text{ dB} \quad (4.4.2)$$

$$L_{Wzul} = L_{pzul} + 20 \cdot \lg \frac{s_m}{s_0} + 11 \text{ dB} \quad (4.4.3)$$

$$L_{pi} = L_{Wi} + 10 \cdot \lg \frac{4}{A} \text{ dB}; \quad A = A' \cdot \alpha \quad (5.2.1)$$

$$L_{Wa} = L_{pi} - R'_W - 4 + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} + D_k \text{ dB} \quad (5.2.2)$$

$$L_{Wger} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Wi}} \right) \text{ dB}, \quad n = \text{Anzahl der Schallquellen} \quad (5.3.1)$$

$$\bar{L}_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{pi}} \right) \text{ dB}, \quad n = \text{Anzahl der Meßpunkte} \quad (6.1)$$

$$L_{Wvorh} = \bar{L}_p + L_s \text{ dB}; \quad L_s \text{ nach Gl. (2.2.8) ff.} \quad (6.2)$$

3. Vorgehensweise

Bei der schalltechnischen Auslegung einer geplanten oder zu verbessernden fördertechnischen Einrichtung durch den Betreiber oder ein von ihm beauftragtes schalltechn. Beratungsbüro empfiehlt sich die Einhaltung folgender Verfahrensschritte:

1. Bestimmung des am nächsten relevanten Immissionsort zulässigen Immissionspegels nach den gültigen Vorschriften, in Absprache mit der genehmigenden Behörde.
2. Ermittlung des bestehenden Immissionspegels bereits vorhandener Schallquellen (z.B. Krane, Industrieanlagen, Straßenverkehr).
3. Berechnung des für die Einrichtung zulässigen Immissionspegels, wobei geplante weitere Schallquellen mit eingerechnet werden sollten. Dies ergibt im ungünstigsten Fall einen

zulässigen Teil-Immissionspegel, der mindestens um 10 dB niedriger liegt als der Gesamtpegel. Gleichzeitig wird mit der Abnahme-Behörde das Abnahme-Meßverfahren vereinbart (s. Kap. 7).

4. Hochrechnung der für die Einrichtung zulässigen Gesamt-Schalleistung. Ggf. Aufteilung dieser Schalleistung in Anteile für Antriebe und Aggregate und betriebsbedingte Geräusche durch Lastaufnahme-Einrichtungen und Lasten.
Außerdem ist ggf. der Einfluß der Warneinrichtungen zu berücksichtigen und ihre Behandlung mit der Genehmigungsbehörde abzustimmen. Die Durchführungsbestimmungen zur UVV Lärm verlangen, daß akustische Warnsignale sich um mind. 10 dB aus dem Oktavspektrum des Betriebsgeräusches herausheben müssen.
5. Prognostizieren der nach dem gewählten technischen Konzept zu erwartenden Schallemission der oben genannten Anteile (als Schalleistung).
6. Vergleich der prognostizierten mit den zulässigen Schalleistungen.
7. Bei Überschreitung der zulässigen Werte:
Überarbeiten der Technik (Schallschutz), Ansatz neuer Prognosewerte und erneuter Vergleich der Schalleistungen.
8. Nach Fertigstellung der fördertechn. Einrichtung messen der wahren Schalleistung mit evtl. schalltechn. Nachbesserung und mit Abnahme durch den Auftraggeber bzw. die Abnahme-Behörde.

4. Einzuhaltende Grenzwerte:

4.1 Bestimmung des zulässigen Gesamt-Immissionspegels:

Die Geräuschemission der fördertechn. Einrichtungen im Hafenbetrieb ist zu begrenzen, soweit es der Immissionsschutz erfordert.

Die Grundlage dazu bildet das Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) von 1974. Es verlangt z.B., daß die Emissionen von Anlagen oder serienmäßig hergestellten Teilen bestimmte Werte nicht überschreiten dürfen und diese Anlagen und Teile bestimmten technischen Anforderungen zur Begrenzung der Emissionen entsprechen müssen (§ 32).

Immissions- und Emissionswerte, die nach dem Stand der Technik eingehalten werden können, und das Verfahren zur Ermittlung dieser Werte sollen festgelegt werden (§ 48).

Bis zum Erscheinen der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift ist die Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm (TA-LÄRM) maßgebend.

Die TA-LÄRM, die VDI 2058 und die DIN 18005 enthalten für die verschiedenen Immissions-Bereiche vorgeschriebene Immissionsgrenzwerte bzw. Orientierungswerte.

Diese Werte in dB, A-bewertet, sind in untenstehender Tabelle zum Vergleich zusammengefaßt:

Gebiete		Krankhs. Kurgeb.	reine Wohng.	allg. Wohng.	Misch- Gebiete.	Gewerbe- Gebiete	Industr. Gebiete
Norm							
1)	Tag	45	50	55	60	65	70
	Nacht	35	35	40	45	50	70
2)	Tag	45	50	55	60	65	70
	Nacht	35	35	40	45	50	70
3)	Tag	–	50	55	60	65	–
	Nacht	–	35	40	45	50	–

1) TA-LÄRM, 1968

2) VDI 2058, Beurteilung von Arbeitslärm, 1985

3) DIN 18005, Schallschutz im Städtebau.

Obige Tabelle zeigt, daß die Werte nach TA LÄRM, VDI 2058 und DIN 18005 identisch sind.

In Absprache mit der Genehmigungsbehörde muß aus dieser Tabelle der zulässige Immissionspegel L_{grenz} festgelegt werden.

4.2 Ermittlung des bestehenden Beurteilungspegels:

Da i.A. am relevanten Immissionsort außer der geplanten Einrichtung schon andere Schallquellen einwirken, müssen diese meßtechnisch erfaßt und zu einem Einzahlwert zum Vergleich mit dem nach Kap. 4.1 bestimmten Gesamtpegel zusammengefaßt werden.

Dieser Einzahlwert zur Beurteilung der Langzeitbelastung von Personen durch Schallvorgänge wird nach VDI 2058 (nach TA Lärm sinngemäß) ermittelt (s. Kap. 2.2):

– Mittelungspegel L_m nach Gl. (2.2.19):

$$L_m = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_M} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \right) \text{ dB} \quad (4.2.1)$$

– Daraus L_{eq} mit A- und F-Bewertung nach Gl. (2.2.20);

– Daraus der Beurteilungspegel L_r nach Gl. (2.2.21):

$$L_T = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_B} \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot (L_{\text{eq},i} + K_{\text{II}} + K_{\text{T}})} \right) \text{ dB.} \quad (4.2.2)$$

Die Faktoren K_{J} , K_{T} siehe unter Kap. 2.2!

Nun muß der der geplanten Geräteeinsatzzeit (z.B. nur Tag) entsprechende Bezugszeitraum T_B ausgewählt werden; bei Überschneidung wird mit dem ungünstigeren weitergerechnet (s. Kap. 2.2).

Daraus sich ergebende Beurteilungspegel (s. Gln. (2.2.23) bzw. (2.2.24)):

a) für Tag (06 bis 22 Uhr):

$$L_{\text{TTag}} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{16} (12 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r1}} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot L_{r2+6}}) \right) \text{ dB} \quad (4.2.3)$$

Anmerkung: +6 dB für erhöhtes Schutzbedürfnis in T_{B2} !

b) für Nacht (22 bis 06 Uhr):

$$\begin{aligned} L_{\text{rNacht}} &= L_{r3}, \\ L_{\text{rNacht}} &= L_{r4}, \text{ nur wenn } L_{r4} \text{ um mind. 4 dB größer als } L_{r3}. \end{aligned} \quad (4.2.4)$$

4.3 Berechnung des zul. Immissionspegels der geplanten Einrichtung:

Der für die zu beurteilende fördertechn. Einrichtung mit begleitenden Betriebsgeräuschen zulässige Immissionspegel L_{pzul} ergibt sich aus der Differenz zwischen dem nach Kap. 4.1 ermittelten zulässigen Gesamtpegel L_{grenz} am Aufpunkt (Immissionsort) und dem nach Kap. 4.2 ermittelten Beurteilungspegel L_r der bereits vorhandenen Schallquellen:

$$L_{\text{pzul}} = 10 \cdot \lg (10^{0,1 \cdot L_{\text{grenz}}} - 10^{0,1 \cdot L_r}) \text{ dB.} \quad (4.3.1)$$

4.4 Umrechnung auf zulässigen Emissionspegel (Schalleistung):

Aus dem nach Kap. 4.3 gefundenen Schalldruckpegel L_{pzul} am Aufpunkt ist der maximal zulässige Schalleistungspegel L_{Wzul} der fördertechn. Einrichtung (Emissionsort) nach Gleichung (2.2.27) zu berechnen.

Für die hier aufgeführte Prognoserechnung werden die Größen D_L , D_{BM} , D_D , D_G und D_e in Gl. (2.2.27) vernachlässigt; da sie den Wert von L_{Wzul} anheben würden, ist man mit dieser Vereinfachung auf der sicheren Seite.

So ergibt sich die vereinfachte Formel:

$$L_{\text{Wzul}} = L_{\text{pzul}} - K_0 - D_I + D_s \text{ dB.} \quad (4.4.1)$$

Daher gilt für die meisten Schallquellen im hafentechn. Bereich unter den Annahmen, daß sich die

Schallquelle punktförmig in Bodennähe befindet und ungerichtet in den Halbraum strahlt, der Boden schallhart ist und die Pegelverteilung über den Frequenzbereich des Gesamtgeräusches einigermaßen ausgeglichen ist (ohne herausragende Einzeltöne und damit Zuschläge) eine vereinfachte Gleichung:

$$L_{Wzul} = L_{pzul} - 3 + 20 \cdot \lg \frac{s_m}{s_0} + 11 \text{ dB} \quad (4.4.2)$$

s_m ist der Abstand zwischen Schallquellenmitte und Aufpunkt,

s_0 ist der Bezugsabstand 1 in der Längeneinheit von s_m .

Anm.: D_1 wurde mit 0 eingesetzt wegen ungerichteter Kugelabstrahlung;

K_0 nach Tab. (2.2.29) für $\Omega = 2\pi$.

Bei hoch- und freiliegenden Schallquellen kann für D_s auch kugelförmige Ausbreitung angenommen werden:

$$L_{Wzul} = L_{pzul} + 20 \cdot \lg \frac{s_m}{s_0} + 11 \text{ dB} \quad (4.4.3)$$

mit K_0 nach Tab. (2.2.29) für $\Omega = 4\pi$.

(Siehe hierzu auch DIN 45635 mit Folgeblättern!)

Die nach Gleichung (4.4.2 bzw. 4.4.3) ermittelte zulässige Schalleistung steht nun zum Vergleich mit der nach dem folgenden Abschnitt zu ermittelnden rechnerischen Schalleistung der geplanten fördertechn. Einrichtung zur Verfügung.

Sie muß ggf. aufgeteilt werden auf Anteile für Antriebe und Aggregate und auf betriebsbedingte Geräusche durch Lastaufnahmemittel und Lasten; außerdem ist ggf. der Einfluß der Warneinrichtungen zu berücksichtigen.

5. Berechnung der zu erwartenden Schalleistung der geplanten fördertechn. Einrichtung

Da eine fördertechn. Einrichtung, z.B. ein Umschlaggerät im Hafenbetrieb, i.d.R. aus mehreren Aggregaten und damit Schallquellen zusammengesetzt ist (z.B. Hubwerk, Katzfahrwerk, Kranfahrwerk), die räumlich über das Gerät verteilt und zu unterschiedlichen Zeiten eingeschaltet sind, wird bei Prognose und Messung jedes einzelne Triebwerk gesondert behandelt und durch energetische Addition und zeitliche Mittelung nach DIN 45641 und DIN 45645 der resultierende Beurteilungspegel ermittelt.

Die Prognose der zu erwartenden Schalleistung ist nur möglich unter Zuhilfenahme von Meßwerten vergleichbarer Schallquellen, d.h. je besser die Datensammlung, desto genauer die Prognose; dabei sei hier schon der Hinweis erlaubt, daß, wo immer möglich, körper-schallunterbrechende Lagerungen von Aggregaten vorzusehen sind, da reine Luftschallemissionen i.A. leichter berechenbar und reduzierbar sind.

5.1 Festlegung der Einzel-Schallquellen:

Zunächst muß die betrachtete Einrichtung in alle Einzelschallquellen zerlegt werden, einschließlich betriebsbedingter Schallquellen und Warneinrichtungen. Dies geschieht z.B. in einer Übersichtszeichnung der Einrichtung, in der die Schallquellen positioniert und mit ihren charakteristischen Größen wie Leistung, Drehzahl, Getriebetyp, u.ä. festgehalten werden.

5.2 Ermittlung der Einzel-Schalleistungen der Schallquellen:

(evtl. mit Einhausungen, Zeltbewertungen, usw.)

Für die unter 5.1 festgelegten Schallquellen werden Meßwerte vergleichbarer Aggregate, z.B. aus VDI 2159 (Getriebegeräusche), Herstellerangaben, eigene Messungen, u.ä., ausgesucht; dabei ist im Zweifelsfall der höhere Wert zu nehmen.

Folgendes ist zu beachten:

- für den ersten Rechengang ist die Annahme von mittleren, A-bewerteten Pegeln ausreichend genau;
- Einzelquellen, die z.B. in einem Maschinenhaus zusammensitzen, werden zusammengefaßt und die Gesamtschalleistung des Hauses wird ermittelt nach VDI 2571 wie folgt:

Energetische Addition der Schalleistungspegel der Schallquellen nach Gl. (5.3.1) ergibt den Gesamtschalleistungspegel innen, L_{Wi} :

Daraus der Schalldruckpegel innen, L_{pi} :

$$L_{pi} = L_{Wi} + 10 \cdot \lg \frac{4}{A} \text{ dB}; \quad A = A' \cdot \alpha. \quad (5.2.1)$$

Es bedeuten: A = Absorptionsfläche
 A' = Innenfläche des Raumes
 α = Absorptionsgrad, vereinfachend angenommen
mit:
 α = 0,1 für Stahl u.ä. (schallhart)
= 0,4 für schallabsorbierende Fläche

Aus dem Innenpegel errechnet sich der außen abgestrahlte Schalleistungspegel nach:

$$L_{Wa} = L_{pi} - R'_W - 4 + 10 \cdot \lg \frac{S}{S_0} + D_k \text{ dB.} \quad (5.2.2)$$

Es bedeuten: R'_W = bewertetes Schalldämmmaß nach DIN 52210
= 15 dB für einschaliges Blech
= 30 dB für zweischalige, absorbierende Wand

S = abstrahlende Oberfläche (m^2)

D_k = Zuschlag für Pegelerhöhung durch körperschallangeregte Blechverkleidung (s. Kap. 2.2).

- Für Aggregate, die nur zeitweise im Einsatz sind, berechnen sich nach DIN 45641 reduzierte Pegel (s. auch Gl. (2.2.21)):

$$L_r = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{T_B} \cdot \sum_{i=1}^n T_i \cdot 10^{0,1 \cdot L_{mi}} \right) \text{ dB.} \quad (5.2.3)$$

Es bedeuten: L_r = Beurteilungspegel
 L_{mi} = Mittelungspegel nach Gl. (2.2.19)
 T_B = Beurteilungszeit (100 %)
 T_i = Zeitintervall mit L_{mi}

Auf Zuschläge für Impuls- und Tonhaltigkeit wird verzichtet wegen der Annahme von konstanten Geräuschen im Zeitintervall T_i :

$$K_i = 0, \quad K_T = 0.$$

- Schalldruckpegel (Meßwerte) werden in Schalleistung umgerechnet nach Gl. (2.2.8):

$$L_W = L_p + L_s; \quad L_s = 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) \quad (5.2.4)$$

näheres unter Kap. 6, Gln. (6.2) und (6.3);

siehe auch Kap. 2.2, Gln. (2.2.8) bis (2.2.14)!

5.3 Energetische Addition der Einzel-Schalleistungen:

Nachdem gemäß Kap. 5.2 alle Einzelschallquellen der Einrichtung mit ihren Schalleistungspegeln erfaßt sind, werden diese energetisch addiert zum Gesamtschalleistungspegel, L_{Wger} :

$$L_{Wger} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Wi}} \right) \text{ dB, } n = \text{Anzahl Schallquellen.} \quad (5.3.1)$$

5.4 Schalleistungs-Vergleich L_{Wger} mit L_{Wzul} und Beurteilung:

Der nach Kap. 5.3 errechnete Schalleistungspegel wird mit dem in Kap. 4.4 ermittelten zulässigen Schalleistungspegel verglichen.

Idealfall: L_{Wger} kleiner L_{Wzul} .

Die im Vorstehenden beschriebene Berechnung ergibt nur einen ersten Anhaltswert über die zu erwartenden Schallemissionswerte der zu beurteilenden fördertechnischen Einrichtung.

Haben sich mit diesem vereinfachten Verfahren Werte ergeben, die die zulässigen Grenzwerte nicht oder nur mit großem Aufwand einhalten, dann ist das Verfahren mit genaueren Werten zu wiederholen; sind die zulässigen Werte dann immer noch nicht einzuhalten, müssen schalltechnische Maßnahmen, bei der lautesten Einzel-Schallquelle beginnend und dann ggf. abwärts, vorgesehen und mit ihrer Wirkung neu gerechnet werden.

6. Ermittlung der wahren Schalleistung

(Messverfahren zur Kontrollmessung)

Die Ermittlung des Schalleistungspegels erfolgt nach dem Hüllflächenverfahren, das in der DIN 45635 (Teil 1 - Allgemein -, Teil 61 - Krane -) beschrieben ist.

Da bei der Durchführung der Messung etliche Punkte zu beachten sind, wird die Lektüre dieser Richtlinie dringend empfohlen.

Deshalb wird im Folgenden nur ein grober Überblick über das Meßverfahren gegeben.

In ca. 70 Blättern enthält DIN 45635 für verschiedene Geräuscherzeuger Angaben über eine zweckmäßige Wahl der Meßflächen und die Anordnung sowie die Anzahl der Meßpunkte, die zur Ermittlung der Schalleistung notwendig sind.

Bei fördertechnischen Einrichtungen, die am Boden stehen, werden kubische oder halbkugelförmige Meßflächen festgelegt, an denen auf bestimmten Meßpfaden und -punkten, von deren Anzahl die Genauigkeitsklasse u.a. abhängt, der Schalldruckpegel gemessen wird.

Aus den einzelnen Meßwerten berechnet man den energetischen Mittelwert des Schalldruckpegels, \bar{L}_p :

$$\bar{L}_p = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{pi}} \right) \text{ dB}, \quad n = \text{Anzahl Meßpunkte.} \quad (6.1)$$

Hierbei sind mögliche Korrektur-Faktoren (K_0, K_1, K_2) nach DIN 45635 vernachlässigt.

Der Schalleistungspegel $L_{W\text{vorh}}$ ist Summe aus dem mittleren Schalldruckpegel \bar{L}_p auf der Meßfläche und dem Meßflächenmaß L_s :

$$L_{W\text{vorh}} = \bar{L}_p + L_s \text{ dB.} \quad (6.2)$$

Das Meßflächenmaß L_s erhält man aus der Gleichung (2.2.8) ff:

$$L_s = 10 \cdot \lg \left(\frac{S}{S_0} \right) \text{ dB.} \quad (6.3)$$

Darin bedeuten: S = Meßfläche (in m^2) nach DIN 45635
als Quader- oder Halb-Kugel
 S_0 = Bezugsfläche (1 m^2).

Der über die Messung gewonnene Schalleistungspegel $L_{W\text{vorh}}$ wird ebenfalls mit dem zulässigen Schalleistungspegel $L_{W\text{zul}}$ verglichen;

Idealfall: $L_{W\text{vorh}}$ kleiner $L_{W\text{zul}}$.

Wird der zulässige Pegel überschritten, müssen schalltechnische Maßnahmen gemäß Kap. 5.4 ergriffen werden.

7. Vereinbarung der Modalitäten

(Meßverfahren, Toleranzen, u.ä.)

Bei der in Kap. 2 beschriebenen Vorgehensweise sind verschiedene Messungen vorgesehen, z.B. Immissions- und Emissionsmessungen, deren Rahmenbedingungen in die Gesamtbearbeitung einfließen müssen. Außerdem empfiehlt es sich, frühzeitig mit den Behörden zu klären, welche Meßverfahren angewandt werden.

Deshalb wird hier auf einige kritische Punkte hingewiesen.

zu Schritt 1:

Bei der Bestimmung des zulässigen Immissionspegels sind bei der Absprache mit der Genehmigungsbehörde unterschiedliche Auffassungen möglich.

Deshalb sei hier auf den im Anhang genannten Bericht vom Büro Schwetzké/Bauer verwiesen, in dem die möglicherweise unterschiedliche Auswirkungen von TA Lärm und VDI 2058 bei der Ermittlung von Immissionswerten aufgezeigt werden.

Als wesentliches Ergebnis ist festzustellen, daß die Beurteilung einer Lärmquelle nach VDI 2058 zu schärferen Maßnahmen führt, da hierbei keine Korrektur für Meßunsicherheit (3 dB) zulässig ist.

zu Schritt 2:

Im einfachsten Fall, d.h. der Umgebungspegel am Immissionsort ist entsprechend niedrig, kann die Lärmimmission der neuen Einrichtung am Immissionsort direkt gemessen und damit die Grenzwerteinhalten überprüft werden.

Dieser Nachweis ist aber i.A. wegen zu hoher Fremdgeräuschpegel nicht möglich, so daß nur die Emissionsermittlung an der Einrichtung selbst mit Umrechnung zum Immissionsort bleibt.

Diese Abnahmemessung erfolgt nach den einschlägigen Richtlinien und Normen (z.B. DIN 45635 ff, DIN 45641, DIN 45645); dazu ist festzulegen, mit welcher Genauigkeit sie erfolgt, ob die Meßunsicherheit im zulässigen Pegel eingeschlossen ist und mit welchen Faktoren die Umrechnung vom Emissions- zum Immissionsort erfolgt (z.B. VDI 2058, VDI 2714 u.Ä.).

zu Schritt 3:

Hier ist mit der Genehmigungsbehörde festzulegen, ob evtl. außer den Betriebsgeräuschen auch Prozeßgeräusche und akustische Warnsignale in den Nachweis einfließen.

zu Schritt 7:

Das bei fördertechnischen Einrichtungen im Hafen i.d.R. anzuwendende Meßverfahren ist in der DIN 45635 mit Folgeblättern beschrieben.

Die Messungen werden mind. als Oktavanalysen mit Genauigkeitsklasse 2 durchgeführt. Es müssen ggf. Korrekturen für Fremdgeräusch und Raumeinfluß vereinbart werden. Auch sollten Toleranzen aus Meßverfahren und Meßgerät bei der Festlegung zulässiger Werte eingearbeitet sein.

Die vorgenannten Vereinbarungen hinsichtlich der Meßverfahren und Rechengänge müssen auf allen Vertragsebenen getroffen werden, also zwischen Betreiber und Abnahme-Behörde, zwischen Betreiber und Lieferant der Einrichtung und zwischen diesem und seinen Unterlieferanten, da die zulässigen Werte als Garantiewerte zur Gewährleistungspflicht gehören; daraus folgt, daß jeder Vertragspartner als Garantiewerte nur Grenzwerte nennen sollte, die er einschließlich aller Toleranzen und Umgebungsbedingungen einhalten kann.

Deshalb muß der Lieferant über die Einbausituation seiner Lieferung informiert sein.

Mit heute üblichen Meßverfahren, z.B. Intensitätsmessung, ist es möglich, auch aus Aggregatekombinationen, z.B. Antriebseinheiten Motor und Getriebe, ein Einzelaggregat im Betrieb herauszumessen und auf die Einhaltung der Garantiewerte zu überprüfen.

8. Rechenbeispiele

Beispiel 1:

Nach der TA LÄRM betrage der zulässige Beurteilungspegel am Aufpunkt in der Nachbarschaft $L_{\text{grenzA}} = 45$ dB. Die bereits vorhandenen Anlagen verursachen einen Pegel $L_{\text{rA}} = 41$ dB.

Gl. (4.3.1) ergibt einen zulässigen zusätzlichen Schalldruckpegel von $L_{\text{pzuA}} = 43$ dB, mit dem der Grenzwert von 45 dB noch eingehalten wird.

Probe:
$$L_{\text{grenzA}} = 10 \cdot \lg (10^{0,1 \cdot 41} + 10^{0,1 \cdot 43}) = 45 \text{ dB.}$$

Beispiel 2:

Es ist der Schalleistungspegel der zusätzlichen Schallquellen aus Beispiel 1 zu ermitteln, der am Aufpunkt den eben noch zulässigen Schalldruckpegel von 43 dB ergibt.

Die mittlere Entfernung der Schallquelle vom Aufpunkt betrage 1.400 m. Nach Gl. (4.4.2) beträgt der zulässige Schalleistungspegel

$$L_{\text{WzulA}} = 43 - 3 + 20 \cdot \lg \frac{1400}{1} + 11 = 114 \text{ dB.}$$

Beispiel 3:

Es wird angenommen, daß es sich bei den in den Beispielen 1 und 2 ermittelten zusätzlichen Schallquellen um einen Portalstapler handelt und es interessiert, welcher mittlerer Schalldruckpegel im Abstand von 10 m dem Schalleistungspegel von 114 dB entspricht.

Die Abmessungen des Gerätes sind:
$$\begin{aligned} \text{Länge } L &= 9 \text{ m} \\ \text{Breite } B &= 5 \text{ m} \\ \text{Höhe } H &= 12 \text{ m.} \end{aligned}$$

Damit beträgt die Meßfläche in 10 m Abstand:
(Quader mit Kantenlängen $(L+2 \cdot 10) \cdot (B+2 \cdot 10) \cdot (H+10)$)

$$\begin{aligned} S &= (2 \cdot (L+2 \cdot 10) + 2 \cdot (B+2 \cdot 10)) \cdot H+10 + (L+2 \cdot 10) \cdot (B+2 \cdot 10) \\ S &= 3.101 \text{ m}^2. \end{aligned}$$

Das Meßflächenmaß nach Gl. (5.2.4) ist dann:

$$L_s = 10 \cdot \lg 3.101 = 35 \text{ dB}$$

und der mittlere Schalldruckpegel \bar{L}_p aus Gl. (5.2.4):

$$\bar{L}_p = L_{\text{WzulA}} - L_s = 114 - 35 = 79 \text{ dB.}$$

Beispiel 4:

Es wird angenommen, daß eine geplante zusätzliche Schallquelle ein Doppellenker-Wipppendel sein soll, dessen Schallemission zu prognostizieren ist.

Er sei zur Schüttgutentladung vorgesehen mit Hub-, Dreh-, Wippwerk, Bunkerräumrad, Zwischenförderer mit Bandantrieb und Kranfahrwerk.

Nach Kap. 5.1 werden die Einzelschallquellen festgestellt:

- | | | | | |
|----|---|-----------------------------------|---------------------|---------------------|
| 1. | 2 | Stirnradgetriebe Hubwerk | (je | 45 kW, 1500 rpm), |
| 2. | | Stirnradgetriebe Wippwerk | (20 kW, 1500 rpm), | |
| 3. | 2 | Planetengetriebe Drehwerk | (je | 14,5 kW, 1500 rpm), |
| 4. | 2 | Antriebe Räumrad | (je | 7,5 kW, 1500 rpm), |
| 5. | | Kegelstirnradgetriebe Bandantrieb | (7,5 kW, 1500 rpm), | |
| 6. | 4 | Stirnradgetriebe Kranfahrwerk | (je | 15 kW, 1500 rpm). |

Nach Kap. 5.2 werden die Einzel-Schalleistungen ermittelt.

Dazu wird wegen der möglichen Zeitbewertung das Arbeitsspiel analysiert mit folgendem Ergebnis: Heben/Senken 80 %, Drehen 30 %, Wippen 40 %, für Räumrad und Bandantrieb 100 % Einschaltdauer.

Kranfahren wurde vernachlässigt.

Es wird angenommen, daß die Getriebegeräusche dominieren.

Dann werden die Prognosewerte zusammengestellt bzw. berechnet (eingesetzte Schalleistungswerte aus Richtlinien bzw. Messungen, alle Pegelangaben A-bewertet):

- | | | | |
|----|--|----------------------|------------------|
| 1. | Hubwerk: | 2 x 98 ergibt 101 dB | |
| | bei 80 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu | | 100 dB |
| 2. | Wippwerk: | 93 dB | |
| | bei 40 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu | | 89 dB |
| 3. | Drehwerk: | 2 x 93 ergibt 96 dB | |
| | bei 30 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu | | 91 dB |
| 4. | Räumrad: | | 85 dB |
| 5. | Bandantrieb: | | 87 dB |
| 6. | Kranfahrerantriebe: | | (vernachlässigt) |

Nach Kap. 5.3 und Gl. (5.3.1) ergibt die energetische Addition der Schallquellen 1, 2, 3, 4, und 5 einen Gesamtschalleistungspegel für den Kran:

$$L_{Wger} = 101 \text{ dB} \text{ ('ger' für 'gerechnet' bzw. prognostiziert).}$$

Nach Kap. 5.4 wird nun die gerechnete Schalleistung L_{Wger} mit der nach Kap. 4.4 ermittelten zulässigen Schalleistung L_{Wzul} verglichen.

L_{Wzul} sei 114 dB(A) aus Rechenbeispiel 2; der Vergleich ergibt, daß die zu erwartende Schalleistung des DL-Krans bei 13 dB Differenz deutlich unter dem zulässigen Grenzwert liegt und damit das geplante technische Konzept ausgeführt werden kann.

Diese Rechnung gilt für den maschinentechn. Teil des Gerätes; evtl. können Prozeßgeräusche lauter als die zulässigen Werte sein.

Beispiel 5 (als Fortführung von Beispiel 4):

Es wird angenommen, daß der nach Punkt 4.4 ermittelte Schalleistungspegel L_{Wzul} bei 96 dB liegt. Dann ergibt der Vergleich mit L_{Wger} aus Beispiel 4 eine um 5 dB zu hohe zu erwartende Schallemission.

Als schalltechnische Maßnahme wird um die stärksten Schallquellen, Hubwerk und Drehwerk, ein Maschinenhaus gebaut mit 2-schaliger Wand, außen und innen Glattblech, dazwischen Dämmmaterial.

Die sich ergebende Rechnung:

- | | | |
|--------------|--|--------|
| 1. Hubwerk: | 2 x 98 ergibt 101 dB | |
| | bei 80 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu | 100 dB |
| 3. Drehwerk: | 2 x 93 ergibt 96 dB | |
| | bei 30 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu | 91 dB |

Die Schallquellen 1. und 3. (Hub- und Drehwerk) ergeben gemeinsam im Maschinenhaus einen Schalleistungspegel $L_{Wi} = 101$ dB

7. Das Maschinenhaus ist nach außen eine Schallquelle:
Zuerst wird nach Gl. (5.2.1) der Innenpegel bestimmt; dabei sei:

$$\text{Maschinenhaus-Abmessungen } l \cdot b \cdot h = 7,5 \cdot 4,0 \cdot 3,0$$

$$A' = 2 \cdot ((l+b) \cdot h + l \cdot b)$$

$$A' = 130 \text{ m}^2; \quad \alpha = 0,1 \text{ wegen Glattblech innen;}$$

$$L_{Wi} = 101 \text{ dB .}$$

Die Rechnung ergibt: $L_{pi} = 96$ dB

Dann wird nach Gl. (5.2.2) die vom Maschinenhaus nach außen abgestrahlte Schalleistung ermittelt; dabei sei:

$$R'_{W} = 35 \text{ dB für zweischalige, nicht absorbierende Wand;}$$

$$S = 130 \text{ m}^2; \quad D_k = 5 \text{ dB (s. Kap. 5.3);}$$

Die Rechnung ergibt: $L_{Wa} = 83$ dB

2. Wippwerk:	93 dB	
bei 40 % Betriebszeit ergibt sich der äquivalente Dauerpegel nach Gl. (5.2.3) zu		89 dB
4. Räumrad:		85 dB
5. Bandantrieb:		87 dB

Nach Kap. 5.3 und Gl. (5.3.1) ergibt die energetische Addition der Schallquellen 7, 2, 4 und 5 einen Gesamtschalleistungspegel:

$$L_{Wger} = 93 \text{ dB}, \quad \text{d.h. } L_{Wzul} \text{ ist um 3 dB unterschritten.}$$

Dabei sind Prozeßgeräusche nicht berücksichtigt!

Beispiel 6 (als Fortführung von Beispiel 4 und 5):

Im Beispiel 5 ergab die Einhausung von Hub- und Drehwerk einen hohen Innenpegel von 96 dB(A).

Der Innenpegel soll reduziert werden; dazu werden als schalltechnische Maßnahmen die Innenwand und -decke mit Lochblech versehen; der Boden bleibt aus konstruktiven Gründen glatt, d.h. schallhart.

Die Berechnung der Schalleistung der Schallquelle 7 (Maschinenhaus):

Zuerst wird nach Gl. (5.2.1) der Innenpegel bestimmt; dabei sei:

$$A'_1 = l \cdot b \quad (\text{glatt})$$

$$A'_2 = 2 \cdot (l+b) \cdot h+l \cdot b \quad (\text{gelocht})$$

$$A = A'_1 \cdot \alpha_1 \quad (\text{glatt}) + A'_2 \cdot \alpha_2 \quad (\text{gelocht})$$

$$= \text{mit } \alpha_1 \quad (\text{glatt}) = 0,1 \quad \text{und } \alpha_2 \quad (\text{gelocht}) = 0,4$$

Die Rechnung ergibt:

$$L_i = 90 \text{ dB}$$

Zur Berechnung der abgestrahlten Schalleistung nach Gl. (5.2.2) sei:

$$R'_{W1} = 35 \text{ dB für zweischalige, nicht absorbierende Wand}$$

$$R'_{W2} = 30 \text{ dB für zweischalige, absorbierende Wand}$$

$$S_1 = l \cdot b \quad (\text{glatt})$$

$$S_2 = 2 \cdot (l+b) \cdot h+l \cdot b \quad (\text{gelocht}).$$

Es ergeben sich die Teilschalleistung $L_{W1} = 72 \text{ dB}$
 und die Teilschalleistung $L_{W2} = 82 \text{ dB}$

Daraus energetisch addiert die Schalleistung $L_W = 83 \text{ dB}$.

Nach Kap. 5.3 und Gl. (5.3.1) ergibt die energetische Addition der Schallquellen 7, 2, 4 und 5 einen Gesamtschalleistungspegel:

$$L_{Wger} = 93 \text{ dB},$$

d.h. die Gesamtemission ist die gleiche wie in Beispiel 5, jedoch der Innenpegel im Maschinenhaus um 6 dB reduziert.

Erklärung:

Die Erhöhung des Absorptionsgrades durch den Austausch von Glatt- gegen Lochblech reduzierte den Innenpegel, gleichzeitig ging aber auch die Dämmeigenschaft der Wand (R'_W) zurück.

9. Ausführungsbeispiele zur Lärminderung, konstruktive Hinweise

Diese in ungeordneter Abfolge zusammengestellten Maßnahmen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit; sie sollen jedoch dem Konstrukteur Denkanstöße zur schalltechnischen Optimierung seiner Konstruktion liefern.

Folgende Maßnahmen mindern die Schallentstehung bzw. -ausbreitung:

A) primäre Maßnahmen bei Antrieben allg.:

- stufenlose Regelung von Antrieben anstelle von Schaltstufen;
- niedrige Eingangsdrehzahlen von Getrieben durch niedrige Drehzahl des Motors;
- Schnecken- und Planetengetriebe statt Stirnradgetriebe;
- elektrische Antriebe anstelle von Hydraulik;
- Spindelumpen anstelle von Flügelrad-, Axialkolben- oder Zahnradumpen bei Hydraulikantrieben;
- Riementrieb anstelle von Kettentrieb;
- E-Motore mit Nutenschrägung;
- Fahrtriebe über Gelenkwellen und Aufsteckgetriebe mit den Laufrädern verbinden, alles körperschallsoliert verlagert;
- Fahr- und Hubgeschwindigkeiten reduzieren;

B) primäre Maßnahmen bei Getrieben:

- Schrägverzahnung von Zahnrädern, Zähne leicht ballig bearbeiten;
- Zahnformkorrektur zugunsten der Zahnfußbreite nicht übertreiben;

- möglichst hohe Fertigungsgenauigkeit von Zahnradpaaren;
- Zahnflanken schleifen, auch nach dem Härten (Geometrie);
- in schnelllaufenden Stufen zur größeren Überdeckung kleineren Modul;
- größere ungeteilte Gußgehäuse statt kleineren geteilten Stahlgehäuse;
- wenn möglich, zäheres Öl verwenden;

C) primäre Maßnahmen im Maschinenbau:

- Einsatz von Kunststoffrädern, z.B. für Kabelwagen;
- Gleitlager anstelle von Wälzlager (andere Nachteile berücksichtigen);
- Verminderung von Umfangsgeschwindigkeiten;
- Vermeiden von Unwuchten;
- Verminderung von freiem Spiel in Führungen und bei gegenläufigen Bewegungen;
- Abfedern kurzzeitiger Stoßvorgänge;
- freie An- und Ausströmquerschnitte an Ventilatoren;
- Laufräder ohne Spurkränze, dafür mit seitlichen Führungsrollen;
- Schmierung von Spurkränzen;
- Isolierte, berührungsgeschützte Einzelschleifleitungen;

D) primäre Maßnahmen im Stahlbau:

- exakte Ausrichtung von Kranbahnen;
- Schienenstöße schräg und nicht rechtwinklig;
- resonanzfähige Blechkonstruktionen vermeiden;

E) sekundäre Maßnahmen

- Schallschutzkapseln oder -hauben für Antriebe;
- schallabsorbierende Wände für Maschinen- und E-Häuser;
- Mindern der Körperschallanregung von Blechen der Wandverkleidung;
- Schienen mit Dämpfungsplatten unterlegt und mit beschichteten Klemmen aufgeklemt;
- Hubwerke auf Zwischenrahmen setzen, diesen körperschallisoliert verlagern;
- Isolation der Schallquelle durch Zwischenschaltung von Feder-Dämpfer-Elementen (Körperschall-Isolierung);
- Dämpfung des Luftschalls durch Verbundkonstruktion oder Entdröhnbeläge;
- Dämpfung des Luftschalls durch Schallschluckwerkstoffe oder Schalldämpfer (Aufblasöffnungen, Ventilatoren, schallschluckende Wände, u.Ä.).

10. Literaturhinweise

VDI 2058 BL.1	Beurteilung von Arbeitslärm i.d. Nachbarschaft,	85
VDI 2058 BL.2	Beurteilung von Arbeitslärm am Arbeitsplatz,	70
VDI 2058 BL.3	Beurteilung von Lärm u. Anforderungen des Arbeitsplatzes,	81
VDI 2062 BL.1	Schwingungsisolierung; Begriffe u. Methoden,	76
VDI 2062 BL.2	Schwingungsisolierung; Isolierelemente,	76
VDI 2159	Getriebegeräusche; Meßverfahren, Beurteilung, Auswertung, Beispiele,	85
VDI 2567	Schallschutz durch Schalldämpfer,	71
VDI 2571	Schallabstrahlung von Industriebauten,	76
VDI 2711	Schallschutz durch Kapselung,	78
VDI 2713	Lärminderung bei Wärmekraftanlagen,	74
VDI 2714	Schallausbreitung im Freien,	E 86
VDI 2720 BL.1	Schallschutz durch Abschirmung im Freien,	E 86
VDI 3720 BL.1	Lärmarm konstruieren; Allg. Grundlagen,	80
VDI 3720 BL.2	Lärmarm konstruieren; Beispielsammlung,	82
VDI 3720 BL.3	Lärmarm konstruieren; systematisches Vorgehen,	78
VDI 3720 BL.4	Lärmarm konstruieren; rotierende Bauteile,	84
VDI 3720 BL.5	Lärmarm konstruieren, Hydro-Komponenten,	84
VDI 3727 BL.1	Schallschutz durch Körperschall-Dämpfung; Grundlagen,	84
VDI 3727 BL.2	Schallschutz durch Körperschall-Dämpfung; Anwendung,	E 82
VDI 3733	Geräusche bei Rohrleitungen,	E 83
VDI IEC 651	Schallpegelmesser	81
DIN 1320	Akustische Grundbegriffe,	69
DIN 4150	Erschütterungen im Bauwesen,	75
DIN 18005	Schallschutz im Städtebau,	87
DIN 45630 BL.1	Grundl. d. Schallmessung; physik. u. subjekt. Größen,	71
DIN 45630 BL.2	Grundl. d. Schallmessung; Normalkurven gl. Lautstärke,	67
DIN 45635 T. 1	Geräuschmessung an Maschinen; Hüllflächen-Verfahren,	84
DIN 45635 T. 8	Geräuschmessung an Maschinen; Körperschallmessung,	85
DIN 45635 T.10	Geräuschmessung an Maschinen; rot. elektr. Masch.,	74
DIN 45635 T.11	Geräuschmessung an Maschinen; Verbrennungsmotore,	87
DIN 45635 T.45	Geräuschmessung an Maschinen; Stetigförderer,	82
DIN 45635 T.61	Geräuschmessung an Maschinen; Krane,	87
DIN 45641	Mittelungs- und Beurteilungspegel,	E 87
DIN 45645 T. 1	Beurteilungspegel für Geräuschimmissionen,	77
DIN 45645 T. 2	Beurteilungspegel für Geräuschimmissionen am Arbeitsplatz,	80
DIN 45651	Oktav-Filter für elektroakustische Messungen,	64
DIN 45652	Terz-Filter für elektroakustische Messungen,	64
DIN 52210 T. 1	Luft- und Trittschalldämmung; Meßverfahren,	84
DIN 52212	Bestimmung des Schallabsorptionsgrades im Hallraum.	61

SEB 905002-65	Planung Lärmarmen Maschinen und Anlagen,	
TA Lärm	Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm,	79
UVV Lärm	Unfallverhütende Vorschrift Lärm (VBG 121),	84
ASV Lärm	Arbeitsst. Verordnung, § 15 Schutz gegen Lärm,	82
BImSchG	Bundes-Immissionschutzgesetz,	
B.A.	Schutz gegen Baulärm, Geräuschimmissionen;	70
B.A.	Geräuschemission von Baumaschinen und -geräten,	80
B.A.U.	Lärmarm konstruieren; Bestandsaufnahme; Forschungsbericht 135,	
B.A.U.	Lärmarm konstruieren; Praxis-Beispiele; Forschungsbericht 129,	
U.B.A.	Handbuch Lärmschutz; Umwelt-Bundes-Amt,	80
M.A.G.S.	Lärmschutz bei Kraftwerken; TÜV und VGB,	81
F.V.A.	Getriebegeräusche; Forschungsvorhaben Nr. 55,	
Schwetcke, U.	Vergleich VDI 2058 u. TA Lärm, Dortmund,	86
Vierling/Wdemn.	Akustisches Verhalten von Förderanlagen, f-u-h 34 Nr. 5,	84
Aumund	Schallgedämpfter Portalkran, f-u-h 32 Nr. 9,	82
Müller/Föllner	Lärmarme Konstruktion, Regeln, TH Darmstadt, Konstruktn. 28,	76

Herausgegeben im März 1989