

## DIN EN 12354-5



ICS 91.120.20

**Bauakustik –  
Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den  
Bauteileigenschaften –  
Teil 5: Installationsgeräusche;  
Deutsche Fassung EN 12354-5:2009**

Building acoustics –  
Estimation of acoustic performance of building from the performance of elements –  
Part 5: Sounds levels due to the service equipment;  
German version EN 12354-5:2009

Acoustique de bâtiment –  
Calcul des performances acoustiques des bâtiments à partir des performances des  
éléments –  
Partie 5: Niveaux sonores dûs aux équipements de bâtiment;  
Version allemande EN 12354-5:2009

Gesamtumfang 80 Seiten

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN 12354-5:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen und von Gebäuden“ (Sekretariat: AFNOR, Frankreich) erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der NA 005-55-75 AA „Nachweisverfahren, Bauteilkatalog, Sicherheitskonzept“ im Normenausschuss Bauwesen (NABau).

---

ICS 91.120.20

**Deutsche Fassung**

**Bauakustik —  
Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden  
aus den Bauteileigenschaften —  
Teil 5: Installationsgeräusche**

Building acoustics —  
Estimation of acoustic performance of building from the  
performance of elements —  
Part 5: Sounds levels due to the  
service equipment

Acoustique du bâtiment —  
Calcul des performances acoustiques des bâtiments à partir  
des performances des éléments —  
Partie 5: Niveaux sonores dûs aux équipements  
de bâtiment

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 5. März 2009 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG  
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION  
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

**Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel**

# Inhalt

Seite

Vorwort .....	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich .....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Wichtige Größen .....	8
3.1 Größen zur Angabe der Gebäudeeigenschaften .....	8
3.2 Größen zur Angabe der Produkteigenschaften.....	9
4 Berechnungsmodelle .....	9
4.1 Allgemeine Grundlagen .....	9
4.2 Luftschallübertragung durch Rohre und Kanalsysteme .....	11
4.2.1 Allgemeines.....	11
4.2.2 Luftschallquellen .....	12
4.2.3 Luftschallübertragung.....	14
4.3 Luftschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion.....	16
4.3.1 Allgemeines.....	16
4.3.2 Luftschallquellen .....	18
4.3.3 Luftschallübertragung in einem Senderraum .....	18
4.3.4 Luftschallübertragung durch ein Gebäude.....	19
4.4 Körperschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion.....	19
4.4.1 Allgemeines.....	19
4.4.2 Körperschallquellen .....	21
4.4.3 Schallübertragung durch die Montage.....	21
4.4.4 Körperschallübertragung durch das Gebäude.....	22
5 Anwendung der Modelle .....	23
5.1 Anwendung auf Lüftungssysteme .....	23
5.1.1 Allgemeines.....	23
5.1.2 Leitlinien für die Anwendung .....	24
5.2 Anwendung auf Heizungsinstallationen.....	25
5.2.1 Allgemeines.....	25
5.2.2 Richtlinien.....	26
5.3 Anwendung auf Aufzugsinstallationen .....	26
5.3.1 Allgemeines.....	26
5.3.2 Richtlinien.....	27
5.4 Anwendung auf Wasserversorgungsanlagen .....	27
5.4.1 Allgemeines.....	27
5.4.2 Richtlinien.....	30
5.5 Anwendung auf Abwasseranlagen .....	33
5.5.1 Allgemeines.....	33
5.5.2 Richtlinien für die Anwendung.....	33
5.6 Anwendung auf verschiedene andere haustechnische Anlagen .....	34
5.6.1 Allgemeines.....	34
5.6.2 Richtlinien.....	34
6 Genauigkeit .....	34
Anhang A (normativ) Liste der Symbole.....	36
Anhang B (informativ) Luftschallquellen in Kanalsystemen .....	39
B.1 Schalleistungspegel für Gebläse .....	39
B.2 Schalleistungspegel von Durchflussschall .....	39
Anhang C (informativ) Luftschallquellen .....	40
C.1 Schallquellen.....	40

	Seite	
C.1.1	Haustechnische Einrichtungen, zum Beispiel Whirlwannen.....	40
C.1.2	Abwasseranlagen.....	40
C.1.3	Heizungssysteme.....	40
C.2	Schallübertragung im Senderraum.....	40
<b>Anhang D (informativ) Körperschallquellen.....</b>		<b>42</b>
D.1	Messung des charakteristischen Körperschalleistungspegels.....	42
D.1.1	Allgemeines.....	42
D.1.2	Haustechnische Anlagen mit hoher Quellen-Admittanz.....	43
D.1.3	Kraftquelle mit bekannter Quellen-Admittanz.....	47
D.1.4	Haustechnische Anlagen mit geringer Quellen-Admittanz.....	48
D.2	Montage mit elastischen Abstützungen.....	49
D.3	Berechnung von Daten für Quellenstärke, elastische Abstützungen und Quellen-Admittanz.....	50
<b>Anhang E (informativ) Schallübertragung durch Elemente des Kanals und des Rohrleitungssystems.....</b>		<b>51</b>
E.1	Einleitung.....	51
E.2	Schallübertragung durch die Kanalwand.....	51
E.3	Schallübertragung entlang eines geraden, nicht ausgekleideten Kanals.....	52
E.4	Schallübertragung entlang eines geraden, ausgekleideten Kanals/Schalldämpfers.....	52
E.5	Schallübertragung bei wechselnden Kanalquerschnitten.....	53
E.6	Schallübertragung an Abzweigungen.....	53
E.7	Schallübertragung an Luftdurchlässen und Kanalöffnungen.....	53
E.8	Schallübertragung durch Abstrahlung an Öffnungen.....	54
<b>Anhang F (informativ) Schallübertragung in Gebäuden.....</b>		<b>56</b>
F.1	Schallübertragung über die Verbindungsstellen.....	56
F.2	Anpassungs-Ausdruck.....	57
F.3	Admittanz der abstützenden Gebäudeelemente.....	58
F.3.1	Im Wesentlichen homogene Elemente.....	58
F.3.2	Elemente mit Balken.....	58
F.3.3	Anregung in der Nähe von Rändern und Ecken.....	59
F.4	Messung der Übertragung des Gesamtschalls.....	59
F.4.1	Luftschallübertragung.....	59
F.4.2	Körperschallübertragung.....	60
<b>Anhang G (informativ) Schallpegel bei niedrigen Frequenzen.....</b>		<b>62</b>
<b>Anhang H (informativ) Richtlinie für die Planung von Systemen für haustechnische Anlagen.....</b>		<b>64</b>
H.1	Allgemeines.....	64
H.2	Auswahl der Einrichtung.....	64
H.3	Lage des Raums für haustechnische Anlagen und Lage der Lüftungseinheit.....	64
H.4	Luftschalldämmung des Raums für die haustechnischen Anlagen.....	65
H.5	Körperschall- und Schwingungsdämmung.....	65
H.5.1	Schwere Konstruktionen.....	65
H.5.2	Leichtbau-Konstruktionen.....	65
H.6	Rohre und Kanalsystem.....	66
<b>Anhang I (informativ) Berechnungsbeispiele.....</b>		<b>67</b>
I.1	Beispiel für ein Lüftungssystem.....	67
I.2	Beispiel für eine Whirlwanne.....	70
I.3	Beispiel für ein Sanitärsystem.....	73
<b>Literaturhinweise.....</b>		<b>76</b>

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN 12354-5:2009) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Bauteilen und Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Oktober 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Oktober 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ist die erste Fassung einer Norm, die zu einer Normenreihe gehört, in der Berechnungsmodelle für die Bauakustik festgelegt werden:

- *Teil 1: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*
- *Teil 2: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen*
- *Teil 3: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 3: Luftschalldämmung gegen Außenlärm*
- *Teil 4: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie*
- *Teil 5: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 5: Installationsgeräusche*
- *Teil 6: Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus Bauteileigenschaften — Teil 6: Schallabsorption in Räumen*

Obwohl im vorliegenden Teil der Norm die gebräuchlichsten Arten von haustechnischen Einrichtungen und Installationen in Gebäuden abgehandelt werden, können nicht alle Arten und alle möglichen Situationen erfasst werden. Es wird eine Verfahrensweise festgelegt, die dazu geeignet ist, Erfahrungen zu sammeln, die zukünftige Verbesserungen und Entwicklungen des Prognosemodells ermöglichen.

Die Präzision des in dieser Norm beschriebenen Prognosemodells kann erst dann detailliert festgelegt werden, wenn umfassende Vergleiche mit Daten aus vor Ort durchgeführten Versuchen vorliegen, die allerdings nur nach längerer Erprobung des Prognosemodells erreicht werden können. Zwischenzeitlich werden den Anwendern lediglich Hinweise auf die mögliche Präzision gegeben, die auf früher durchgeführten Vergleichen mit ähnlichen Voraussagemodellen basieren. Der Anwender (d. h. eine Person, eine Organisation, eine Behörde) ist für die Benennung der Genauigkeit verantwortlich, die sich aus der allen Mess- und Voraussageverfahren zugehörigen Präzision ergeben, indem bestimmte Anforderungen an die Eingangsdaten gestellt und/oder Sicherheitsgrenzen oder andere Korrekturen auf die Ergebnisse angewendet werden.

Anhang A ist Bestandteil dieses Teils von EN 12354. Die Anhänge B, C, D, E, F, G und H dienen nur zur Information.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

## Einleitung

Die Berechnung von Schallpegeln, die durch haustechnische Anlagen in Gebäuden erzeugt werden, ist eine komplexe Aufgabe, und Körperschallquellen und Körperschallübertragung sind bislang noch nicht ausreichend untersucht. Außerdem gibt es große Schwankungen zwischen den unterschiedlichen haustechnischen Einrichtungen und Installationen, und häufig führt eine Installation sowohl zu Luft- als auch zu Körperschallquellen. Das vorliegende Dokument bietet einen Rahmen dafür, wie dieses Thema behandelt werden kann. Im Hauptteil (Abschnitt 4) werden für Kanalsysteme allgemeine Modelle für die Übertragung des von systemimmanenten Quellen erzeugten Luft- und Körperschalls durch Gebäude beschrieben. Dabei wird für die Übertragung von Luft- und Körperschall, wenn möglich, auf EN 12354-1 und EN 12354-2 zurückgegriffen.

Abschnitt 5 behandelt die Anwendung dieser Modelle auf verschiedene Arten von haustechnischen Anlagen, wobei sowohl die bereits bekannten und verfügbaren Daten als auch die noch fehlenden Daten festgelegt werden. Die informativen Anhänge bieten unter verschiedenen Gesichtspunkten weitere Angaben zu den Schallquellen und dem von ihnen erzeugten Schall sowie spezifische Gesichtspunkte zur Schallübertragung durch Gebäude. Wo möglich, wird auf vorhandene Handbücher, Literatur oder laufende Normungsaktivitäten verwiesen. Wenn im Laufe der Zeit entsprechende Normen zur Verfügung stehen, können einige der Anhänge vollständig oder teilweise gelöscht werden, vor allem die Teile, die sich auf die Schallerzeugung durch die jeweiligen Quellen beziehen.

Für die Übertragung von Schall durch Kanalsysteme sind genormte Verfahren zur Bestimmung des Schallleistungspegels der Schallquellen oder des Übertragungsverlusts der Elemente verfügbar. Die Berechnungen werden in mehreren Handbüchern beschrieben.

Für die Übertragung von Luftschall durch Gebäude gibt es bereits Angaben zu den Schallquellen und zur Schallübertragung, einige für haustechnische Anlagen besonders wichtige Aspekte sind jedoch weniger bekannt, z. B. die Wirkung akustischer Nahfelder, nicht diffuser Räume sowie Schallanregung und Schallübertragung bei niedrigen Frequenzen. Es werden Hinweise zur Behandlung dieser Aspekte angegeben, die auch als Anregung für die Richtung weiterer Untersuchungen und zukünftiger Verbesserungen der Modelle anzusehen sind.

Für die Übertragung von Körperschall gibt es ähnliche Lösungen und Probleme wie bei der Luftschallübertragung. Geeignete Verfahren, mit deren Hilfe die Anregung von Quellen zur Emission von Körperschall zu charakterisieren ist, werden derzeit jedoch erst entwickelt, größtenteils durch Normungsarbeiten innerhalb des CEN (TC 126/WG 7). In diesem Dokument wurde daher eine Größe ausgewählt, die generell in den Prognosemodellen anzuwenden ist und als „charakteristischer Körperschallleistungspegel“ der Schallquellen bezeichnet wird, auch wenn gegenwärtig noch kein praktisches Messverfahren für diese Größe vorliegt. Mit Hilfe dieser Größe ist es möglich, die Prognosemodelle in eine allgemeine Form zu bringen, die weiter entwickelt und verbessert werden könnte. Für einige Arten von haustechnischen Anlagen werden in informativen Anhängen Hinweise zur Ableitung oder Berechnung dieser Größe mit Hilfe bekannter und gebräuchlicher Messverfahren angegeben, z. B. nach Verfahren, die vom CEN entwickelt wurden.

Das Ziel dieses Dokuments besteht darin, eine allgemeine Grundlage für die praktische Vorgehensweise bei der Berechnung der durch haustechnische Anlagen erzeugten Schallpegel zu bieten. Außerdem wird die Notwendigkeit einer besseren Charakterisierung von Schallquellen unter Hinweis auf die Themen erläutert, die weiter zu erforschen sind.

## **1 Anwendungsbereich**

Dieses Dokument beschreibt Berechnungsmodelle für die durch haustechnische Anlagen in Gebäuden erzeugten Schalldruckpegel. Wie in dem Dokument zur Vor-Ort-Messung der Schallpegel (EN ISO 16032) werden Sanitärinstallationen, mechanische Lüftungssysteme, Heizung und Kühlung, haustechnische Anlagen, Aufzüge, Müllrutschen, Heizkessel, Gebläse, Pumpen und anderes Zubehör zu haustechnischen Anlagen sowie Garagentüren mit Motorantrieb erfasst, das Dokument kann aber auch auf andere Ausrüstungsgegenstände angewendet werden, die in Gebäuden angebracht oder installiert sind. Die Berechnung basiert vorrangig auf Messdaten, die sowohl die Schallquellen als auch die Gebäudekonstruktionen kennzeichnen. Die angegebenen Modelle sind für Berechnungen in Frequenzbändern anwendbar.

Das vorliegende Dokument beschreibt die Grundlagen der Berechnungsmodelle, führt die entsprechenden Größen auf und legt ihre Anwendung sowie geltende Einschränkungen fest. Das Dokument bietet Akustik-Fachleuten einen Rahmen zur Erstellung von Anwendungsdokumenten und Hilfsmitteln, die von anderen Anwendern im Bereich Bauausführung unter Berücksichtigung der örtlichen Gegebenheiten genutzt werden.

Die Berechnungsmodelle beschreiben die Anwendung der für technische Zwecke gebräuchlichsten Methode unter Verweis auf messbare Größen, die der Festlegung der Eigenschaften von Bauteilen und Ausrüstungsgegenständen dienen. In diesem Dokument werden auch die bekannten Grenzen dieser Berechnungsmodelle angegeben. Die Anwender sollten jedoch bedenken, dass es auch andere Berechnungsmodelle gibt, von denen jedes für bestimmte Bereiche gut und für andere Bereiche nur eingeschränkt anwendbar ist.

Die Modelle berufen sich auf die Erfahrungen, die bei Voraussagen für Wohnungen und Büroräume gewonnen wurden; sie können auf andere Gebäudearten unter der Voraussetzung übertragen werden, dass die Baumaße ähnlich denen von Wohnungen sind.

## **2 Normative Verweisungen**

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 12354-1:2000, *Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*

EN 12354-2, *Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 2: Trittschalldämmung zwischen Räumen*

EN 13141-1, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 1: Außenwand- und Überströmungsdurchlässe*

EN 13141-2, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 2: Abluft- und Zuluftdurchlässe*

EN ISO 3740, *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen — Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen (ISO 3740:2000)*

EN ISO 3741, *Akustik — Ermittlung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen durch Schalldruckmessungen — Hallraumverfahren der Genauigkeitsklasse 1 (ISO 3741:1999)*

EN ISO 3743 (alle Teile), *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen — Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 für kleine, transportable Quellen in Hallfeldern — Teil 1: Vergleichsverfahren in Prüfräumen mit schallharten Wänden (ISO 3743-1:1995 und ISO 3743-2:1996)*

EN ISO 3744, *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 2 für ein im wesentlichen freies Schallfeld über einer reflektierenden Ebene (ISO 3744:1994)*

EN ISO 3745, *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Verfahren der Genauigkeitsklasse 1 für reflexionsarme Räume und Halbräume (ISO 3745:2003)*

EN ISO 3746, *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Hüllflächenverfahren der Genauigkeitsklasse 3 über einer reflektierenden Ebene (ISO 3746:1995)*

EN ISO 3747, *Akustik — Bestimmung der Schalleistungspegel von Geräuschquellen aus Schalldruckmessungen — Vergleichsverfahren zur Verwendung unter Einsatzbedingungen (ISO 3747:2000)*

EN ISO 3822-1, *Akustik — Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium — Teil 1: Messverfahren (ISO 3822-1:1999)*

EN ISO 3822-2, *Akustik — Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium — Teil 2: Anschluss- und Betriebsbedingungen für Auslaufarmaturen und für Mischbatterien (ISO 3822-2:1995)*

EN ISO 3822-3, *Akustik — Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium — Teil 3: Anschluss- und Betriebsbedingungen für Durchgangsarmaturen*

EN ISO 3822-4, *Akustik — Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium — Teil 4: Anschluss und Betriebsbedingungen für Sonderarmaturen*

EN ISO 7235, *Akustik — Labormessungen an Schalldämpfern in Kanälen — Einfügungsdämpfung, Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust (ISO 7235:2003)*

EN ISO 10846-1, *Akustik und Schwingungstechnik — Laborverfahren zur Messung der vibro-akustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente — Teil 1: Grundlagen und Übersicht (ISO 10846-1:2008)*

EN ISO 10846-2, *Akustik und Schwingungstechnik — Laborverfahren zur Messung der vibro-akustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente — Teil 2: Direktes Verfahren zur Ermittlung der dynamischen Steifigkeit elastischer Stützelemente bei Anregung in translatorischer Richtung (ISO 10846-2:2008)*

EN ISO 10846-3, *Akustik und Schwingungstechnik — Laborverfahren zur Messung der vibro-akustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente — Teil 3: Indirektes Verfahren für die Bestimmung der dynamischen Steifigkeit elastischer Elemente für translatorische Schwingungen (ISO 10846-3:2002)*

EN ISO 10846-4, *Akustik und Schwingungstechnik — Laborverfahren zur Messung der vibro-akustischen Transfereigenschaften elastischer Elemente — Teil 4: Bestimmung der dynamischen Transfersteifigkeit von elastischen Elementen mit Ausnahme elastischer Stützelemente für translatorische Schwingungen (ISO 10846-4:2003)*

EN ISO 11691, *Akustik — Messungen an Schalldämpfern in Kanälen ohne Strömung — Laborverfahren der Genauigkeitsklasse 3 (ISO 11691:1995)*

### 3 Wichtige Größen

#### 3.1 Größen zur Angabe der Gebäudeeigenschaften

Der Schutz gegen den von Einrichtungen und Maschinen ausgehenden Lärm kann nach EN ISO 16032 in Form von Schalldruckpegeln auf verschiedene Weise angegeben werden. Diese Größen werden in Oktavbändern als maximale Schallpegel unter Anwendung einer Zeit-Bewertung „S“ oder einer Zeitbewertung „F“ oder als äquivalente Pegel bestimmt; in allen Fällen kann eine Normierung (ein Abgleich) auf eine äquivalente Absorptionsfläche als Bezugsfläche oder eine Standardisierung (eine Normung) auf eine Bezugs-Nachhallzeit angewendet werden. Die Gebäudeeigenschaften werden üblicherweise als A- oder C-bewertete Schalldruckpegel angegeben, die aus den in Oktavbändern bestimmten Pegeln zu berechnen sind.

**ANMERKUNG** Die Oktavband-Pegel dienen auch zur Bestimmung der so genannten NC-, NR- oder RC-Kenndaten, die in vielen Literaturstellen beschrieben werden. Sie werden besonders für Gebäude wie Büros, Geschäftsgebäude, Schulen und Veranstaltungsräume angewendet.

**3.1.1 A-bewerteter maximaler Schalldruckpegel  $L_{A \max}$ :** Der A-bewertete maximale Schalldruckpegel in einem Raum, der auf den von haustechnischen Anlagen oder Maschinen im Gebäude erzeugten Schall zurückzuführen ist.

**ANMERKUNG** Dieser Schalldruckpegel wird aus dem maximalen Schalldruckpegel in Oktavbändern von 63 Hz bis 8 kHz unter Anwendung der Zeit-Bewertung „S“ ( $L_{AS \max}$ ) oder der Zeit-Bewertung „F“ ( $L_{AF \max}$ ) bestimmt. Die Schalldruckpegel in Oktavbändern können auch normiert/abgeglichen ( $L_{AS \max, n}$ ,  $L_{AF \max, n}$ ) oder genormt ( $L_{AS \max, nT}$ ,  $L_{AF \max, nT}$ ) werden.

**3.1.2 A-bewerteter äquivalenter kontinuierlicher Schalldruckpegel  $L_{Aeq}$ :** Der äquivalente A-bewertete Schalldruckpegel in einem Raum, der auf den von haustechnischen Anlagen oder Maschinen im Gebäude erzeugten Schall zurückzuführen ist.

**ANMERKUNG** Dieser Schalldruckpegel wird aus dem äquivalenten Schalldruckpegel in Oktavbändern von 63 Hz bis 8 kHz bestimmt. Die Schalldruckpegel in Oktavbändern können auch normiert/abgeglichen ( $L_{Aeq, n}$ ) oder genormt ( $L_{Aeq, nT}$ ) werden.

**3.1.3 C-bewerteter maximaler Schalldruckpegel  $L_{C \max}$ :** Der C-bewertete maximale Schalldruckpegel in einem Raum, der auf den von haustechnischen Anlagen oder Maschinen im Gebäude erzeugten Schall zurückzuführen ist.

**ANMERKUNG** Dieser Schalldruckpegel wird aus dem maximalen Schalldruckpegel in Oktavbändern von 31,5 Hz bis 8 kHz unter Anwendung der Zeit-Bewertung „S“ ( $L_{CS \max}$ ) oder der Zeit-Bewertung „F“ ( $L_{CF \max}$ ) bestimmt. Die Schalldruckpegel in Oktavbändern können auch normiert/abgeglichen ( $L_{CS \max, n}$ ,  $L_{CF \max, n}$ ) oder genormt ( $L_{CS \max, nT}$ ,  $L_{CF \max, nT}$ ) werden.

**3.1.4 C-bewerteter äquivalenter Schalldruckpegel  $L_{Ceq}$ :** Der äquivalente C-bewertete Schalldruckpegel in einem Raum, der auf den von haustechnischen Anlagen oder Maschinen im Gebäude erzeugten Schall zurückzuführen ist.

**ANMERKUNG** Dieser Schalldruckpegel wird aus dem äquivalenten Schalldruckpegel in Oktavbändern von 31,5 Hz bis 8 kHz bestimmt. Die Schalldruckpegel in Oktavbändern können auch normiert/abgeglichen ( $L_{Ceq, n}$ ) oder genormt ( $L_{Ceq, nT}$ ) werden.

#### 3.1.5 Beziehung zwischen den Größen

Alle A-bewerteten und C-bewerteten Größen werden aus den in Oktavbändern bestimmten Schalldruckpegeln ermittelt.

Diese Schalldruckpegel ( $L$ ) hängen von der verwendeten Zeitbewertung ab, d. h. „S“, „F“, oder es wird eine Integration über einen Zyklus durchgeführt (äquivalente Schalldruckpegel). Ein Pegel mit einer dieser verschiedenen Zeitbewertungen hängt von der Art des Schalls ab und kann im Allgemeinen nicht aus einem anderen Pegel abgeleitet werden. Daher müssen sich im Oktavband bestimmte Pegel und die festgelegte Größe auf die gleiche Zeitbewertung beziehen.

In allen Fällen gibt es eine direkte Beziehung zwischen dem Schalldruckpegel ( $L$ ), dem abgeglichenen (normierten) Schalldruckpegel ( $L_n$ ) und dem genormten Schalldruckpegel ( $L_{nT}$ ) in den Oktavbändern. Diese Beziehungen werden durch folgende Gleichungen angegeben:

$$L = L_n + 10 \lg \frac{A_{\text{ref}}}{A} \quad \text{dB} \quad (1a)$$

$$L_{nT} = L_n + 10 \lg \frac{A_{\text{ref}} T_{\text{ref}}}{0,16 V} \quad \text{dB} \quad (1b)$$

Dabei ist

- $A$  die äquivalente Absorptionsfläche im Raum, in Quadratmeter;
- $A_{\text{ref}}$  die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche ( $A_{\text{ref}} = 10 \text{ m}^2$ ), in Quadratmeter;
- $T_{\text{ref}}$  die Bezugs-Nachhallzeit ( $T_{\text{ref}} = 0,5 \text{ s}$ ), in Sekunden;
- $V$  das Volumen des Raums, in Kubikmeter.

In diesem Dokument wird der in Oktavbändern bestimmte abgeglichene Schalldruckpegel  $L_n$  mit der entsprechenden Mittelwertbildung und Zeitbewertung als Hauptgröße für die Voraussage ausgewählt. Aus ihm können die übrigen Größen direkt ermittelt werden.

### 3.2 Größen zur Angabe der Produkteigenschaften

Die Größen zur Angabe der Eigenschaften der Produkte beziehen sich einerseits auf die Schallquellen und andererseits auf die Schallübertragung. Im Allgemeinen handelt es sich sowohl um Luft- als auch um Körperschall.

Die relevanten Schallquellen unterscheiden sich für verschiedene untersuchte Ausrüstungsgegenstände und Installationen. Deshalb werden die zur Angabe der Eigenschaften von Schallquellen relevanten Größen in den jeweiligen Abschnitten behandelt. Die Größen zur Charakterisierung der Schallquellen müssen sich jedoch in allen Fällen auf die gleiche Zeitbewertung beziehen wie die Größe, die für die Gebäudeeigenschaften zu berechnen ist.

Die für die Schallübertragung relevanten Elemente sind teilweise aus anderen Dokumenten dieser Normenreihe übernommen worden, z. B. aus den Normen EN 12354-1 und EN 12354-2, in denen die zugehörigen Größen festgelegt werden, und teilweise für die jeweils untersuchte haustechnische Anlage spezifisch sind. Deswegen werden die relevanten Größen auch in den jeweiligen Abschnitten angegeben.

## 4 Berechnungsmodelle

### 4.1 Allgemeine Grundlagen

Im Allgemeinen wird der in einem Raum vorhandene Schallpegel, der auf die haustechnischen Anlagen zurückzuführen ist, durch eine Kombination aus Luft- und Körperschallübertragung hervorgerufen. Welche Art der Schallübertragung vorherrscht, hängt von der Art der Einrichtung und der Installation sowie von der Art der Gebäudekonstruktion ab. Außerdem bestehen haustechnische Anlagen und Installationen häufig aus verschiedenen Schallquellen und verschiedenen Verbindungspunkten zwischen Installation und Gebäudekonstruktion. Dadurch wird ein allgemeines Voraussageverfahren ziemlich kompliziert.

ANMERKUNG Ein weiteres Problem besteht darin, dass nur wenige ausreichend festgelegte Messverfahren zur Quantifizierung der Schallstärke des jeweiligen Ausrüstungsgegenstands existieren. Besonders bezüglich des Körperschalls fehlen diese Verfahren und Größen, obwohl inzwischen CEN/TC 126/WG 7 mit entsprechenden Arbeiten begonnen hat. Hinweise werden in den Anhängen B, C und D gegeben.

Es wird vorausgesetzt, dass eine komplette Installation in mehrere Luft- und/oder Körperschallquellen unterteilt werden kann, die unabhängig voneinander betrachtet werden können. Eine derartige Schallquelle kann in Abhängigkeit von der untersuchten haustechnischen Anlage oder Installation ein physikalischer Gegenstand sein, eine partielle Quelle oder eine Kombination mehrerer partieller Quellen oder Kontaktpunkte. Bei der Modell-Methode ist eine dieser Quellen zu einem bestimmten Zeitpunkt zu betrachten, und es ist ein eindimensionales Modell anzuwenden, wobei das für die untersuchte Schallquelle am ehesten relevante Modell ausgewählt wird. Der sich für einen Raum ergebende Schalldruckpegel beruht auf der Addition der einzelnen Beiträge der betrachteten Quellen.

Im Allgemeinen werden drei unterschiedliche Situationen der Schallübertragung untersucht:

- Luftschallübertragung durch Rohre und/oder Kanäle;
- Luftschallübertragung durch eine Gebäudekonstruktion;
- Körperschallübertragung durch eine Gebäudekonstruktion.

Für jeden dieser Fälle ist nachfolgend eine allgemeine Vorgehensweise beschrieben. Für verschiedene Arten von haustechnischen Anlagen und Installationen werden die geeignetsten Anwendungen für diese allgemeinen Modelle in Abschnitt 5 festgelegt.

Der bei der Bestimmung in Oktavbändern für einen Raum erhaltene abgeglichene Schalldruckpegel  $L_n$  ergibt sich aus der Addition des von allen relevanten Quellen übertragenen Schalls und aus den zutreffenden Übertragungssituationen für die jeweils betrachtete Installation oder haustechnische Anlage:

$$L_n = 10 \lg \left[ \sum_{i=1}^m 10^{L_{n,d,i}/10} + \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,a,j}/10} + \sum_{k=1}^o 10^{L_{n,s,k}/10} \right] \quad (2)$$

Dabei ist

- $L_n$  der abgeglichene Gesamt-Schalldruckpegel in einem Raum, der auf die Schallquellen  $i$ ,  $j$  und  $k$  zurückzuführen ist, in Dezibel;
- $L_{n,d,i}$  der abgeglichene Schalldruckpegel, der auf die Schallübertragung durch ein Rohr oder einen Kanal für die Quelle  $i$  zurückzuführen ist, in Dezibel;
- $L_{n,a,j}$  der abgeglichene Schalldruckpegel, der auf die Luftschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion für die Quelle  $j$  zurückzuführen ist, in Dezibel;
- $L_{n,s,k}$  der abgeglichene Schalldruckpegel, der auf die Körperschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion für die Quelle  $k$  zurückzuführen ist, in Dezibel;
- $m$  die Anzahl der Schallquellen, die sich auf die Übertragung mittels eines Kanals beziehen;
- $n$  die Anzahl der Luftschallquellen;
- $o$  die Anzahl der Körperschallquellen.

Wenn die Eigenschaften des Gebäudes als der maximale Pegel anzugeben sind, besonders für die Zeitbewertung „F“, können die Ergebnisse aus Gleichung (2) als oberer Grenzwert angesehen werden. Eine Berechnung des unteren Grenzwerts würde dann den Höchstwert für alle gesondert betrachteten Quellen ergeben.

Die Modelle können zur Berechnung der Gebäudeeigenschaften in Oktavbändern auf der Basis akustischer Daten für Schallquellen und Bauteile in Oktavbändern verwendet werden. Berechnungen sind für Oktavbänder von 63 Hz bis 4 000 Hz durchzuführen, sofern für die untersuchte haustechnische Anlage nicht ein stärker eingegrenzter Bereich ausreichend ist. Aus diesen Daten kann analog zu den Messergebnissen nach EN ISO 16032 die Einzahlangabe für die Gebäudeeigenschaften (A- oder C-Bewertung) abgeleitet werden.

**ANMERKUNG** Die Berechnungen können auf höhere oder niedrigere Frequenzen erweitert werden, wenn akustische Daten für diesen breiteren Frequenzbereich verfügbar sind. Besonders für niedrigere Frequenzen sind gegenwärtig jedoch keine Angaben zur Präzision der Berechnungen verfügbar (siehe auch Anhang G).

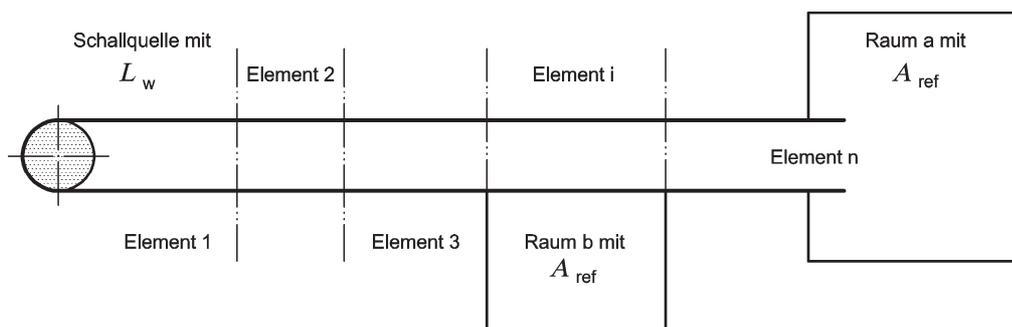
Die Modelle setzen ein diffuses Schallfeld im Empfangsraum voraus. Obwohl dies häufig eine ausreichend realistische Annahme ist, können bei niedrigen Frequenzen große Abweichungen auftreten. Da der von einigen haustechnischen Anlagen emittierte Schall durch niedrige Frequenzen dominiert ist, können diese Abweichungen nicht vernachlässigt werden. Besonders zu beachten ist dieser Aspekt bei der Anwendung der Modelle auf bestimmte haustechnische Anlagen und Installationen. Allgemeine Angaben zu diesem Aspekt sind in Anhang G enthalten.

## 4.2 Luftschallübertragung durch Rohre und Kanalsysteme

### 4.2.1 Allgemeines

Jedes Element eines Kanalsystems kann ebenso ein Übertragungselement wie eine Schallquelle sein. Bei den Voraussagen wird jede Schallquelle gesondert betrachtet, und es wird davon ausgegangen, dass die Quellen und die Elemente unabhängig voneinander sind, so dass Beeinträchtigungen zwischen Elementen, Modaleffekte und Resonanzen zu vernachlässigen sind.

Die übliche Größe zur Angabe der Schallstärke einer Quelle ist der Luftschalleistungspegel  $L_W$ , der in den Kanal übertragen wird. Die Schallübertragung durch den Kanal wird durch die Verringerung des Schalleistungspegels  $\Delta L_W$  beschrieben, die in allen unterscheidbaren Elementen des Kanals auftritt. Der in einem Empfangsraum entstehende Schalldruck wird entweder durch Schall verursacht, der an der Öffnung des Kanals (Raum a) abgestrahlt wird oder durch Schall, der durch den Kanal selbst abgestrahlt wird (Raum b). Der resultierende Schalldruckpegel hängt von der Absorption in diesem Raum ab, der auf  $A_{\text{ref}} = 10 \text{ m}^2$  bezogen wird.



**Bild 1 — Rohrsystem, mit einer Schallquelle, Übertragungselementen und Empfangsräumen (a und b)**

Der in einem Raum erzeugte abgeglichene Schalldruckpegel  $L_{n,d}$ , der auf eine Schallquelle in einem Kanal zurückzuführen ist, ergibt sich aus der folgenden Gleichung:

$$L_{n,d} = L_W - \sum_{i=1}^e \Delta L_{W,i} + 10 \lg \frac{4}{A_{\text{ref}}} \quad \text{dB} \quad (3a)$$

Dabei ist

- $L_W$  der Schalleistungspegel der Quelle, in Dezibel;
- $\Delta L_{W,i}$  die Verringerung des Schalleistungspegels durch das Element  $i$ , in Dezibel;
- $e$  die Anzahl der Elemente zwischen Sende- und Empfangsraum;
- $A_{\text{ref}}$  die Bezugs-Absorptionsfläche (= 10 m<sup>2</sup>), in Quadratmeter.

ANMERKUNG 1 Diese Beziehung setzt ein diffuses Schallfeld im Raum voraus. Dies ist jedoch oft nicht der Fall. In EN 12354-6 werden Hinweise zum Einfluss nicht diffuser Räume auf die entstehenden Schallpegel gegeben. Diese Hinweise können zur Korrektur des im Raum ermittelten Schalldruckpegels angewendet werden.

ANMERKUNG 2 Falls nicht der Mittelwert für den Raum von Interesse ist, sondern der Schalldruckpegel an einer bestimmten Stelle im Raum, kann dieser Pegel durch direkte Schallabstrahlung des jeweiligen Elements in den Raum beeinflusst oder sogar dominiert werden. Für eine Position im Abstand  $r$  von diesem Element mit einem Richtfaktor  $Q$  kann der letzte Ausdruck in Gleichung (3a) durch den folgenden Ausdruck ersetzt werden durch:

$$10 \lg \left[ \frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{A_{\text{ref}}} \right] \quad (3b)$$

Die in einen Raum abgestrahlte Schalleistung wird durch die Position des abstrahlenden Elements im Raum (letztes von mehreren Elementen,  $i = e$ ) hinsichtlich der Raumgrenzen beeinflusst. Dieser Einfluss muss in die Verringerung des Schalleistungspegels des letzten abstrahlenden Elements einbezogen werden. Für einige Elemente wird dieser Einfluss der Position des abstrahlenden Elements bereits durch das angewendete Messverfahren berücksichtigt; ist das nicht der Fall, muss zur Verringerung des Schalleistungspegels des abstrahlenden Elements ein entsprechender Beitrag addiert werden; siehe Anhang E.

Falls die betrachtete Quelle das Schallfeld in einem Raum ist, können die Eigenschaften des Kanalsystems auch als die abgeglichene Pegeldifferenz des Übertragungssystems  $D_{n,s}$  angegeben werden, siehe EN 12354-1. Diese Pegeldifferenz ergibt sich aus folgender Gleichung:

$$D_{n,s} = \sum_{i=1}^e \Delta L_{W,i} + 10 \lg \frac{A_{\text{ref}}}{S_1} \quad (4)$$

Dabei ist

- $D_{n,s}$  die abgeglichene Schallpegeldifferenz für die indirekte Übertragung durch ein System  $s$ , in Dezibel;
- $S_1$  die Fläche des ersten Elements ( $i = 1$ ) des Übertragungssystems im Senderraum, d. h. eine Öffnung, der Kanalquerschnitt oder ein Luftdurchlass, in Quadratmeter.

ANMERKUNG 3 Für Überströmungsdurchlässe oder paarweise Luftdurchlässe in einfachen Lüftungssystemen für Wohnungen wird diese Größe auch direkt gemessen und als  $D_{n,e}$  angegeben, siehe EN 13141-1 und EN 13141-2. Gleichung (4) kann dann auch angewendet werden, um die Verringerung des Schalleistungspegels für diese Elemente (oder Kombinationen dieser Elemente) abzuleiten.

#### 4.2.2 Luftschallquellen

Quellen können Elemente des Systems sein, die Schall erzeugen, z. B. Lüftungsgeräte oder Brenner; ferner kann Schall an den Elementen des Systems oder in ihrer Nähe erzeugt werden, wie z. B. Schall, der durch den Durchfluss durch Gitter, Rohrbogen und Schalldämpfer erzeugt wird (Durchflussschall) oder Schall, der von außen in den Kanal übertragen wird.

In allen Fällen wird die Stärke dieser Luftschallquellen durch den Schalleistungspegel  $L_W$  angegeben, wenn er sich in den Kanal in einer Richtung ausbreitet oder wenn er direkt in den umgebenden Raum abgestrahlt wird. Der Schalleistungspegel sollte sich auf die für das jeweilige System geeigneten Betriebsbedingungen beziehen. Der Schalleistungspegel der Quellen basiert primär auf Ergebnissen genormter Messverfahren.

#### 4.2.2.1 Lüftungsgerät

Für ein Lüftungsgerät im Kanal wird üblicherweise zwischen dem Eintrittsschalleistungspegel,  $L_{W,in}$ , dem Austrittsschalleistungspegel,  $L_{W,out}$  und dem Schalleistungspegel der Baueinheit,  $L_{W,unit}$  unterschieden, wobei sich die Indizes „Eintritt“ und „Austritt“ auf die Durchflussrichtung und „Baueinheit“ auf den vom Lüftungsgerät abgestrahlten Körperschall beziehen. Der Schalleistungspegel dieser Quellen beruht primär auf standardisierten Messungen; siehe auch Anhang B.

#### 4.2.2.2 Durchflussschall

Für Schallquellen, bei denen der Schall z. B. durch den Durchfluss durch Gitter, Rohrbogen, Durchflussregler, Feuerschutzklappen, Lamellen-Drosselklappen und Schalldämpfer erzeugt wird, kann der Schalleistungspegel direkt gemessen werden. Berechnungen können aus empirischen Beziehungen abgeleitet werden, siehe Anhang B.

#### 4.2.2.3 Durch Öffnungen und Geräte eintretender Schall

Für Schallquellen, bei denen der Schall z. B. von der Außenseite durch eine Kanalöffnung oder durch Ein- und Austrittseinrichtungen eintritt, kann der Schalleistungspegel indirekt aus dem gemessenen Übertragungsverlust für diese Öffnung oder diese Einrichtung bestimmt werden. Der Schalleistungspegel für die Schallübertragung hinein in den Kanal  $L_W$  ergibt sich aus dem Übertragungsverlust  $D_{t,oi}$  der Einrichtung von außen nach innen (siehe 4.2.3) und ist nach folgender Gleichung zu bestimmen:

$$L_W = L_o - D_{t,oi} + 10 \lg \frac{S_{co}}{4} \quad \text{dB} \quad (5)$$

Dabei ist

- $D_{t,oi}$  der Übertragungsverlust für die Schalleistung für eine Kanalöffnung oder eine am Kanal angebrachte Einrichtung für die Übertragung von außen nach innen, in Dezibel;
- $L_o$  der Schalldruckpegel im Senderraum, in Dezibel;
- $S_{co}$  die Querschnittsfläche der Kanalöffnung, in Quadratmeter.

**ANMERKUNG** Der Übertragungsverlust einer mit einer Öffnung versehenen Einrichtung kann aus direkten Messungen bestimmt werden. Weil laut Definition eine Beziehung zwischen dem Übertragungsverlust an einem Luftdurchlass besteht, d. h. einer Öffnung von der Außenseite zur Innenseite des Kanals und umgekehrt von der Innenseite zur Außenseite, kann der Übertragungsverlust von außen nach innen auch aus dem Übertragungsverlust von innen nach außen abgeleitet werden, siehe Anhang E.

Weil die Schallübertragung auch durch die Position beeinflusst wird, die eine Öffnung oder eine am Kanal vorhandene Einrichtung hinsichtlich der Raumgrenzen einnimmt, muss dieser Einfluss in den Übertragungsverlust der Schalleistung des jeweils untersuchten Elements einbezogen werden. Für einige Elemente wird der Einfluss der Position des Elements bereits durch das ausgewählte Messverfahren berücksichtigt; ist das nicht der Fall, muss zum Übertragungsverlust der Schalleistung des untersuchten Elements ein entsprechender Beitrag addiert werden, siehe Anhang E.

#### 4.2.2.4 Durch die Kanalwand eintretender Schall

Für die Quellen, bei denen der Schall von außen in den Kanal eintritt (einbricht), kann der Schalleistungspegel indirekt aus dem gemessenen Übertragungsverlust des Kanals bestimmt werden. Der Schalleistungspegel  $L_W$  für die Übertragung im Kanal in oder entgegen der Durchflussrichtung (stromauf- oder -abwärts) ergibt sich aus dem Schalldämmkoeffizient  $R_{oi}$  (Übertragungsverlust von außen nach innen) des Kanals nach folgender Gleichung:

$$L_{W,u} = L_o - R_{oi} + 10 \lg S_d - 6 - 10 \lg \frac{S_{cd,u} + S_{cd,d}}{S_{cd,u}} \quad \text{dB}$$

$$L_{W,d} = L_o - R_{oi} + 10 \lg S_d - 6 - 10 \lg \frac{S_{cd,u} + S_{cd,d}}{S_{cd,d}} \quad \text{dB} \quad (6)$$

Dabei ist

- $L_o$  der Schalldruckpegel im Raum außerhalb des Kanals, in Dezibel;
- $R_{oi}$  der Schalldämmkoeffizient des Kanals für die Schallübertragung von außen nach innen, in Dezibel;
- $S_d$  die exponierte Fläche des Kanals im Raum, in Quadratmeter;
- $S_{cd,d}$  die Querschnittsfläche des Kanals am stromabwärtigen Ende seines exponierten Teils, in Quadratmeter;
- $S_{cd,u}$  die Querschnittsfläche des Kanals am stromaufwärtigen Ende seines exponierten Teils, in Quadratmeter.

ANMERKUNG 1 Es wird davon ausgegangen, dass das Schallfeld außerhalb des Kanals diffus ist, während innerhalb des Kanals eine ebene Schallwelle vorliegt.

ANMERKUNG 2 Der Schalldämmkoeffizient  $R_{oi}$  kann direkt gemessen werden, kann aber auch aus dem entgegen der Übertragungsrichtung gemessenen Schalldämmkoeffizient  $R_{io}$  berechnet werden, d. h. aus dem für die Schallübertragung von innen nach außen festgelegten Koeffizienten, siehe Anhang E.

Für verschiedene Quellen können allgemeine Regeln zur Berechnung der Schalleistungspegel angewendet werden. Angaben dazu sind in Anhang B enthalten.

#### 4.2.3 Luftschallübertragung

In einem Schallübertragungssystem bewirken mehrere Elemente eine Verringerung des Schalleistungspegels während der Schallausbreitung, z. B. gerade Kanäle, absorbierende Innenauskleidungen, Bogen, Verengungen, Verbindungen, Schalldämpfer und Schallübertragung durch Öffnungen, Gitter oder die Kanalwände. Die Pegelverringerung wird entweder direkt als Verringerung des Schalleistungspegels  $\Delta L'_W$  je Einheit oder je Längeneinheit  $\Delta L'_W$  oder als bezogene Größe angegeben, z. B. als der Schalldämmkoeffizient eines Kanals  $R_{io}$  bei der Schallübertragung von innen nach außen, der Einfügungsdämpfung eines Schalldämpfers  $D_i$  oder dem Übertragungsverlust einer Einrichtung  $D_t$ .

Die folgenden Beziehungen können innerhalb der Anwendungsgrenzen der verschiedenen Elemente, die in den jeweils zutreffenden Mess-Normen angegeben sind, zur Berechnung nach Gleichung (3a) angewendet werden.

#### 4.2.3.1 Die Elemente als Einheit

$$\Delta L_W = \Delta L_{W,\text{unit}} \quad \text{dB} \quad (7)$$

Dabei ist

$\Delta L_{W,\text{unit}}$  die Verringerung des Schalleistungspegels je Einheit des Elements, in Dezibel.

#### 4.2.3.2 Elemente mit Verringerung je Längeneinheit

$$\Delta L_W = \Delta L'_W l \quad \text{dB} \quad (8)$$

Dabei ist

$\Delta L'_W$  die Verringerung des Schalleistungspegels je Längeneinheit des Elements, in Dezibel je Meter;

$l$  die tatsächliche Länge des Elements, gemessen an der Mittellinie des Kanals, in Meter.

#### 4.2.3.3 Elemente im Kanal mit bekannter Einfügungsdämpfung

$$\Delta L_W = D_i \quad \text{dB} \quad (9)$$

Dabei ist

$D_i$  die Einfügungsdämpfung, die für einen Schalldämpfer nach EN ISO 7235 oder nach EN ISO 11691, für einen Überströmluftdurchlass nach EN 13141-1 oder für andere Elemente auf vergleichbare Weise bestimmt wird, in Dezibel.

ANMERKUNG Für Schalldämpfer kann die auf diese Weise ermittelte Einfügungsdämpfung als brauchbarer Schätzwert für den Schallübertragungsverlust des Elements angesehen werden.

#### 4.2.3.4 Elemente am Ende des Kanals mit bekannter Einfügungsdämpfung

$$\Delta L_W = D_i + D_{i,\text{io}} \quad \text{dB} \quad (10)$$

Dabei ist

$D_i$  die Einfügungsdämpfung, die für einen Luftdurchlass nach EN 13141-2 bestimmt wird, in Dezibel;

$D_{i,\text{io}}$  der Schallübertragungsverlust am offenen Ende des untersuchten Gegenstands, nach EN ISO 7235 (siehe Anhang E), in Dezibel.

#### 4.2.3.5 Elemente mit bekanntem Übertragungsverlust

$$\Delta L_W = D_t \quad \text{dB} \quad (11)$$

Dabei ist

$D_t$  der Übertragungsverlust, der für einen Volumendurchflussregler nach EN ISO 7235 oder für andere Elemente auf vergleichbare Weise bestimmt wird, in Dezibel.

ANMERKUNG Der Übertragungsverlust für Volumendurchflussregler nach dieser Norm schließt, wenn das zutreffend sein sollte, den Übertragungsverlust für das offene Ende ein. Der Übertragungsverlust für das offene Ende hängt von der Position der Öffnung hinsichtlich der reflektierenden Oberflächen ab, d. h. davon, ob die Öffnung in der Mitte des Raumes, in einer Wand oder in der Nähe einer Ecke angeordnet ist.

#### 4.2.3.6 Elemente mit bekanntem Schalldämmkoeffizient

$$\Delta L_W = R_{i0} + 10 \lg \frac{S_{c,d}}{S_d} + 3 + 10 \lg \frac{\Omega}{4\pi} \quad \text{dB} \quad (12)$$

Dabei ist

$R_{i0}$  der Schalldämmkoeffizient des Kanals für die Übertragung von der Innen- zur Außenseite, in Dezibel;

$\Omega$  der Winkel um den Kanal, in den hinein eine Schallabstrahlung erfolgt, in Radiant (Raummitte:  $\Omega = 4\pi$ , in Wandnähe:  $\Omega = 2\pi$ , in Randnähe:  $\Omega = \pi$ ).

ANMERKUNG 1 Diese Beziehung setzt voraus, dass nur die Hälfte der Schalleistung innerhalb des Kanals in die Übertragung zur Außenseite einbezogen wird.

ANMERKUNG 2 Dieser Schalldämmkoeffizient  $R_{i0}$  kann direkt gemessen, aber auch aus dem in der entgegengesetzten Übertragungsrichtung, d. h. bei der Übertragung von außen nach innen gemessenen Schalldämmkoeffizient  $R_{oi}$  berechnet werden; siehe Anhang E.

#### 4.2.3.7 Element mit Schallabstrahlung in einen Raum

Für ein Element, das eine Schalleistung in einen Raum abstrahlt, muss der Einfluss seiner Position im Raum hinsichtlich der Raumgrenzen in die Verringerung des Schalleistungspegels des letzten Elements einbezogen werden. Ist das für die verfügbaren Messdaten nicht der Fall, ist dieser Einfluss zu der Verringerung zu addieren:

$$\Delta L_W = \Delta L_{W,\text{element}} - D_\Omega \quad \text{dB} \quad (13)$$

Dabei ist

$\Delta L_{W,\text{element}}$  die Verringerung des Schalleistungspegels des Elements, das den Schall abstrahlt, wobei der Einfluss der Raumposition unberücksichtigt bleibt, in Dezibel;

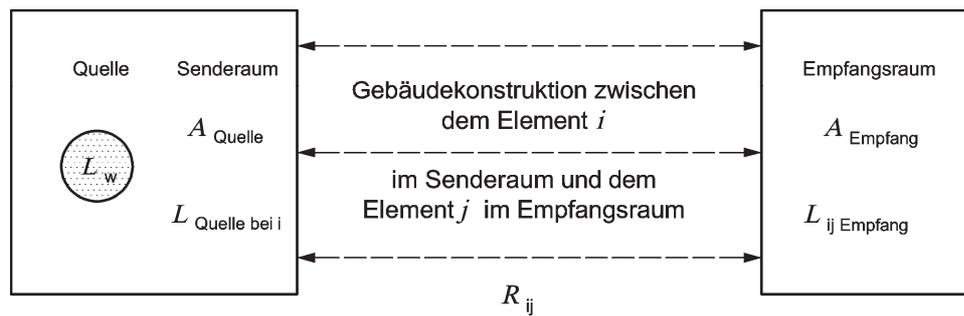
$D_\Omega$  der Richtwirkungsindex für den Festwinkel, in Dezibel.

Für einige Elemente können auch allgemeine Regeln angewendet werden, um die Verringerung der Schallübertragung zu berechnen. Anhang E enthält entsprechende Angaben.

### 4.3 Luftschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion

#### 4.3.1 Allgemeines

Die grundlegende Größe zur Angabe der Stärke der Schallquelle ist der Luftschalleistungspegel  $L_W$ . Der sich im Senderraum ergebende Schalldruckpegel hängt hauptsächlich von der Absorption  $A_{\text{source}}$  in diesem Raum ab. Die tatsächliche Schallanregung der Gebäudekonstruktionen wird jedoch auch durch die Form des Raumes, den Abstand zwischen Schallquelle und Gebäudekonstruktionen und das Strahlungsmuster der Quelle beeinflusst. Die Übertragung vom Senderraum zum Empfangsraum schließt üblicherweise verschiedene Übertragungswege zwischen den Elementen ( $i$ ) des Senderraums und den Elementen ( $j$ ) des Empfangsraums ein. Für diesen Übertragungsweg kann die Übertragung durch den Flankenschalldämmkoeffizienten  $R_{ij}$  beschrieben werden.



**Bild 2 — Luftschallübertragung von einer Quelle durch ein Gebäude über einen Übertragungsweg  $ij$**

Der sich für eine Schallquelle in einem Raum ergebende abgeglichene Schalldruckpegel  $L_{n,a}$  ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$L_{n,a} = 10 \lg \sum_{i=1, j=1}^{m,n} 10^{L_{n,a,ij} / 10} \quad \text{dB} \quad (14)$$

Dabei ist

$L_{n,a,ij}$  der abgeglichene Schalldruckpegel im Empfangsraum, der auf eine Luftschallquelle im Senderraum zurückzuführen ist und durch Schallübertragung von einem angeregten Element  $i$  im Senderraum und einem abstrahlenden Element  $j$  im Empfangsraum verursacht wird, in Dezibel;

$m$  die Anzahl der Elemente  $i$  im Senderraum, die an der Schallübertragung beteiligt sind;

$n$  die Anzahl der Elemente  $j$  im Empfangsraum, die an der Schallübertragung beteiligt sind.

Der abgeglichene Schalldruckpegel im Empfangsraum  $L_{n,a,ij}$  ergibt sich für alle Übertragungswege  $ij$  aus dem Schalleistungspegel der Quelle ( $L_W$ ), der Übertragung auf den sich im Senderraum in der Nähe des Elements  $i$  ( $D_{s,i}$ ) ergebenden Schalldruck und der Übertragung über den betrachteten Übertragungsweg  $ij$  durch das Gebäude zum Empfangsraum ( $R_{ij,ref}$ ); siehe Bild 2.

$$L_{n,a,ij} = L_W + D_{s,i} - R_{ij,ref} - 10 \lg \frac{S_i}{S_{ref}} - 10 \lg \frac{A_{ref}}{4} \quad \text{dB} \quad (15)$$

Dabei ist

$L_W$  der Schalldruckpegel der Quelle, in Dezibel;

$D_{s,i}$  die Schallübertragung zum Element  $i$  im Senderraum, in Dezibel;

$R_{ij,ref}$  der Flankenschalldämmkoeffizient für die Übertragung von Element  $i$  im Senderraum zum Element  $j$  im Empfangsraum, mit Bezug auf die Fläche  $S_{ref} = 10 \text{ m}^2$ , in Dezibel;

$S_i$  die Fläche des angeregten Elements  $i$  im Senderraum, in Quadratmeter;

$A_{ref}$  die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche, in Quadratmeter,  $A_{ref} = 10 \text{ m}^2$ .

**ANMERKUNG 1** Die Definition setzt voraus, dass die Bezugswerte für Druck und Leistung so festgelegt werden, dass die folgende Gleichung gilt:  $\rho_0 c_0 W_{ref} p_{ref}^2 = 1$ . Das ist der Fall bei den Bezugswerten nach ISO und  $\rho_0 c_0 = 400 \text{ Ns/m}^3$ .

**ANMERKUNG 2** Der abgeglichene Schalldruckpegel im Senderraum wird bei ausreichendem Abstand von der Schallquelle als  $L_{n,a} = L_W - 4$  errechnet.

Die Größe  $D_{s,i}$  sollte folgende Einflüsse erfassen:

- die Form des Raumes und die Verteilung des Schallfelds;
- spezifische Abstrahlungseffekte von der Schallquelle (Richtwirkung);
- Einflüsse des Direktfelds und des Nahfelds der Schallquelle.

Auf diese Weise kann der letzte Punkt nur dann exakt berücksichtigt werden, wenn die Übertragung durch den Flankenschalldämmkoeffizient des diffusen Felds ausreichend beschrieben wird. In anderen Fällen muss die Übertragung für das Direkt- und Nahfeld der Schallquelle gesondert behandelt werden; siehe auch 4.3.3.

#### **4.3.2 Luftschallquellen**

Die Stärke jeder betrachteten Schallquelle oder jeder betrachteten partiellen Schallquelle wird als Luftschallleistungspegel  $L_W$  angegeben. Dieser Pegel wird nach einem der genormten Verfahren gemessen, die in den Schalleistungs-Normen (EN ISO 3740 bis EN ISO 3747) beschrieben werden. Für mehrere Arten von Schallquellen sind auch allgemeine Angaben verfügbar; siehe Anhang C.

Falls die tatsächlichen Schallquellen vollständig oder teilweise von einer Schallschutzkapsel umgeben sind, kann die Kombination Quelle/Kapsel als eine Quelle angesehen werden, für die sich der Schalleistungspegel aus der Schalleistungsdämmung  $D_W$  der Schallschutzkapsel und dem Schalleistungspegel der eingekapselten Quelle ergibt:  $L_W = L_{W,source} - D_W$ . Die Schalleistungsdämmung kann nach EN ISO 11546 gemessen werden.

Die Gebäudekonstruktion kann sowohl durch die direkte Schallabstrahlung durch eine Quelle als auch durch die Anregung durch das Nachhallfeld der Quelle angeregt werden. Oftmals befinden sich die Quellen oder ein Teil der Quellen sehr dicht an den Flächen des Raumes, so dass Einflüsse des Direktfelds und auch des Nahfelds wichtig werden. Diese Einflüsse sollten bei der Schallübertragung im Senderaum berücksichtigt werden; siehe 4.3.3.

#### **4.3.3 Luftschallübertragung in einem Senderaum**

Die Übertragung im Senderaum wird durch  $D_{s,i}$  angegeben, definiert als der Logarithmus des Verhältnisses zwischen der effektiv auf dem betrachteten Element  $i$  auftreffenden Schalleistung und der gesamten Schalleistung der Quelle:

$$D_{s,i} = 10 \lg \frac{W_{inc,i}}{W} \quad \text{dB} \quad (16a)$$

Dieser Ausdruck zur Kennzeichnung der Übertragung schließt die Einflüsse des Schallfelds im Raum, das Richtwirkungsmuster der Quelle und, wenn möglich, die Direktfeld- und Nahfeldeffekte der Quelle ein.

Unter Berücksichtigung der Richtwirkung einer Quelle und eines diffusen Schallfelds im Senderaum ergibt sich direkt aus dem mittleren Abstand zum Element  $r_i$  und der Absorption  $A_S$  in diesem Raum die folgende Gleichung:

$$D_{s,i} = 10 \lg \left[ \frac{Q'}{4\pi r_i^2} + \frac{e^{-A_s/S_t}}{A_s} \right] S_i \quad \text{dB} \quad (16b)$$

Dabei ist

- $Q'$  der effektive Richtfaktor der Quelle, einschließlich der Einflüsse akustischer Nahfelder;
- $r_i$  der mittlere Abstand von der Oberfläche der Quelle zum Element  $i$ , in Meter;
- $A_s$  die äquivalente Absorptionsfläche im Senderaum, in Quadratmeter;
- $S_t$  die Gesamtfläche der Grenzen des Senderraums.

ANMERKUNG Der Ausdruck  $e^{-A/S}$  ist eine verallgemeinerte Formulierung für den gebräuchlicheren Ausdruck  $(1 - \bar{\alpha})$ , wobei  $\bar{\alpha}$  der mittlere Absorptionskoeffizient des Raumes ist.

Die folgende Näherung kann nur durchgeführt werden, wenn der Abstand von der Quelle zum Element groß ist und der Raum ein im Wesentlichen diffuses Schallfeld hat:

$$D_{s,i} \approx 10 \lg \frac{S_i}{A_s} \quad \text{dB} \quad (16c)$$

$A_s$  und  $\bar{\alpha}$  können nach EN 12354-6 aus den Werkstoffdaten berechnet werden. Wenn komplexere Verhältnisse vorliegen (Form des Raumes, große Anzahl von Gegenständen) sollten umfassendere Schallfeldmodelle angewendet werden; siehe auch EN 12354-6:2003, Anhang D, wo eine Berechnung für  $A_s = 0,16 V T_{\text{estimate}}$  oder eine Berechnung für  $A_s$  für jeden Teilraum des Senderraums erfolgt.

#### 4.3.4 Luftschallübertragung durch ein Gebäude

Die Übertragung durch ein Gebäude wird nach EN 12354-1 durch den Flankenschalldämmkoeffizient  $R_{ij,\text{ref}}$  angegeben. In EN 12354-1 wird vorausgesetzt, dass die direkte Übertragung durch ein Trennelement üblicherweise einbezogen ist, so dass die Fläche des Trennelements als Bezugsfläche angewendet wird. In diesem Fall, der nicht immer zutrifft, wird folglich stets von einer Bezugsfläche von  $S_{\text{ref}} = 10 \text{ m}^2$  ausgegangen.

Der Flankenschalldämmkoeffizient  $R_{ij,\text{ref}}$  kann nach EN 12354-1 aus den Daten der in den Übertragungsweg einbezogenen Elemente und Verbindungsstellen berechnet werden. Weitere Angaben zur Anwendung dieser Art von Prognose werden in Anhang F angegeben.

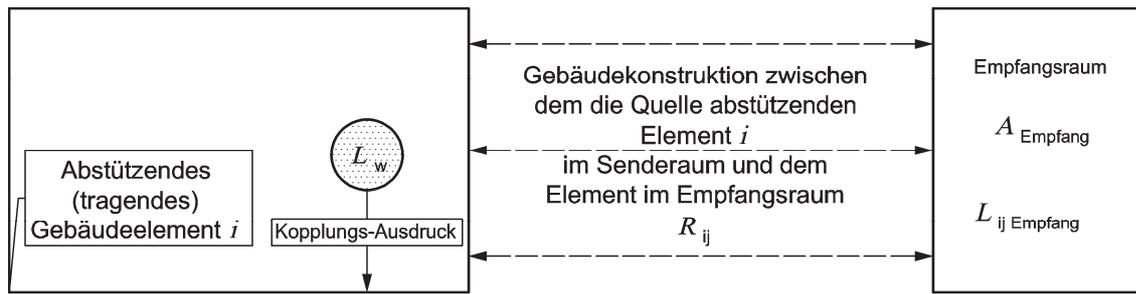
Falls die Quelle dicht an einem Bauteil liegt, kann es sein, dass der in EN 12354-1 beschriebene Schalldämmkoeffizient dieses Bauelements nicht relevant ist; der Einfluss von Direkt- oder Nahfeldern ist zu berücksichtigen, indem im Ausdruck zur Berücksichtigung der Schallübertragung  $D_{s,i}$  die Anpassung des Schalldämmkoeffizienten des Bauelements und die Anwendung des effektiven Richtfaktors geeignet kombiniert werden. Alternativ sind die Übertragung des Direktfelds und des Nahfelds der Quelle jeweils als gesonderte Übertragungswege anzusehen.

### 4.4 Körperschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion

#### 4.4.1 Allgemeines

Die durch eine Quelle in die Gebäudekonstruktion übertragene Schalleistung hängt von den Kennwerten der Quelle, der Montage und dem die Quelle abstützenden Gebäudeelement ab. Nach einem allgemeinen Konzept ergibt sich diese installierte Körperschalleistung  $L_{\text{Ws,inst}}$  aus der Stärke der Quelle, die durch den charakteristischen Körperschallleistungspegel  $L_{\text{Ws,c}}$  und den Kopplungs-Ausdruck  $D_c$  für das abstützende Element  $i$  angegeben wird. Die charakteristische Körperschalleistung ist nahezu die maximale übertragbare Leistung einer Quelle, so dass der Kopplungs-Ausdruck stets positiv ist.

Die Übertragung vom Senderraum zum Empfangsraum umfasst üblicherweise verschiedene Übertragungswege zwischen dem abstützenden Gebäudeelement ( $i$ ) im Senderraum und dem Element ( $j$ ) im Empfangsraum. Die Übertragung kann durch den Flankenschalldämmkoeffizient für diesen Übertragungsweg  $R_{ij}$  unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Anregungsmechanismen für Luft- und Körperschall durch den Anpassungs-Ausdruck  $D_{sa}$  beschrieben werden.



**Bild 3 — Körperschallübertragung von einer Quelle durch ein Gebäude**

Für eine Schallquelle in einem Raum ergibt sich der resultierende abgegliche Schalldruckpegel  $L_{n,s}$  aus der folgenden Gleichung:

$$L_{n,s} = 10 \lg \sum_{j=1}^n 10^{L_{n,s,ij} / 10} \quad \text{dB} \quad (17)$$

Dabei ist

$L_{n,s,ij}$  der abgegliche Schalldruckpegel im Empfangsraum, der auf eine an einem abstützenden Gebäudeelement  $i$  im Senderaum montierte Körperschallquelle zurückzuführen ist und durch Schallübertragung von diesem Element  $i$  zu einem abstrahlenden Element  $j$  im Empfangsraum verursacht wird, in Dezibel;

$n$  die Anzahl der Elemente  $j$  im Empfangsraum, die an der Schallübertragung beteiligt sind.

Der abgegliche Schalldruckpegel  $L_{n,s,ij}$  im Empfangsraum ergibt sich für alle Übertragungswege  $ij$  aus dem installierten Körperschalleistungspegel der Quelle ( $L_{Ws,inst}$ ), dem Anpassungs-Ausdruck  $D_{sa}$  für das abstützende Gebäudeelement und der Übertragung über den betrachteten Übertragungsweg  $ij$  durch das Gebäude zum Empfangsraum, ( $R_{ij,ref}$ ); siehe Bild 3.

$$L_{n,s,ij} = L_{Ws,inst,i} - D_{sa,i} - R_{ij,ref} - 10 \lg \frac{S_i}{S_{ref}} - 10 \lg A_{ref} / 4 \quad \text{dB} \quad (18a)$$

Dabei ist

$L_{Ws,inst,i}$  der installierte Körperschallleistungspegel der Quelle am abstützenden Element  $i$ , in Dezibel;

$D_{sa,i}$  der Ausdruck zur Anpassung der Körperschallanregung des abstützenden Gebäudeelements  $i$  an die Luftschallanregung, in Dezibel;

$R_{ij,ref}$  der Flankenschalldämmkoeffizient für die Übertragung von Element  $i$  im Senderaum zum Element  $j$  im Empfangsraum, mit Bezug auf die Fläche  $S_{ref} = 10 \text{ m}^2$ , in Dezibel;

$S_i$  die Fläche des abstützenden Gebäudeelements  $i$  im Senderaum, in Quadratmeter;

$A_{ref}$  die äquivalente Bezugs-Absorptionsfläche, in Quadratmeter,  $A_{ref} = 10 \text{ m}^2$ .

**ANMERKUNG 1** Die Definition setzt voraus, dass die Bezugswerte für Druck und Leistung so festgelegt werden, dass die folgende Gleichung gilt:  $\rho_0 c_0 W_{ref} / p_{ref}^2 = 1$ . Das ist der Fall bei den Bezugswerten nach ISO und  $\rho_0 c_0 = 400 \text{ N s/m}^3$ .

Der installierte Körperschalleistungspegel ergibt sich aus den Kennwerten der Quelle und dem Kopplungs-Ausdruck nach folgender Gleichung:

$$L_{Ws,inst,i} = L_{Ws,c} - D_{C,i} \quad \text{dB} \quad (18b)$$

Dabei ist

- $L_{W_{s,c}}$  der charakteristische Körperschalleistungspegel der Quelle, in Dezibel;  
 $D_{C,i}$  der Kopplungs-Ausdruck für die Quelle am abstützenden Gebäudeelement  $i$ , in Dezibel.

ANMERKUNG 2 In relativ einfachen Fällen kann diese installierte Leistung auch unmittelbar aus den gemessenen Größen abgeleitet werden. Falls es sich bei der Quelle im Wesentlichen um eine Kraftquelle mit dem Kraftpegel  $L_F$  handelt, ist sie zu bestimmen als  $L_F + 10 \lg \operatorname{Re}\{Y_i\}$ , und falls es sich bei der Quelle im Wesentlichen um eine Schnellequelle mit dem Schnellepegel  $L_V$  handelt, ist sie zu bestimmen als  $L_V + 10 \lg \operatorname{Re}\{Z_i\} - 60$ . In anderen vereinfachten Fällen können für die Umformung andere Beziehungen angewendet werden, siehe Anhang D.

#### 4.4.2 Körperschallquellen

Die Stärke jeder betrachteten Schallquelle oder jeder betrachteten partiellen Schallquelle wird im Allgemeinen als charakteristischer Körperschalleistungspegel  $L_{W_{s,c}}$  angegeben. Dieser Leistungspegel wird nach genormten Verfahren gemessen, wobei genormte Verfahren derzeit jedoch eher selten sind. Um jedoch die Berechnungsmodelle in eine allgemeine Form zu bringen, wurde diese allgemeine Größe zur Beschreibung der Quelle ausgewählt, um zukünftig die Entwicklung und Verbesserung von Messverfahren zu ermöglichen. Zu dieser Größe werden in Anhang D weitere Informationen gegeben, z. B.:

- Hinweise auf mögliche Messmethoden;
- Möglichkeiten zur Ableitung dieser Größe aus anderen bezogenen Größen, z. B. der freien Geschwindigkeit am Kontaktpunkt, der äquivalenten Kraft oder des Schalldruckpegels der Einrichtung;
- pauschale Berechnungen auf der Grundlage von Ergebnissen früherer Untersuchungen.

#### 4.4.3 Schallübertragung durch die Montage

Die Leistung, die in das abstützende Gebäudeelement eingebracht wird, hängt von der charakteristischen Körperschalleistung und von den Kennwerten der Quelle, der Art der Anbringung und der Art des abstützenden Gebäudeelements ab. Diese Leistung wird durch den Kopplungs-Ausdruck  $D_C$  für das Element  $i$  charakterisiert:

$$D_{C,i} = 10 \lg \frac{W_{s,c}}{W_{inj,i}} \quad \text{dB} \quad (19a)$$

Dabei ist

- $W_{sc}$  die charakteristische Körperschalleistung der Quelle, in Watt;  
 $W_{inj,i}$  die Körperschalleistung, die von der Quelle in das abstützende Gebäudeelement  $i$  eingebracht wird, in Watt.

Falls die Quelle im Wesentlichen durch eine Einpunktanregung mit der Quellen-Admittanz  $Y_s$  rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement gekennzeichnet ist, ergibt sich folgende Gleichung:

$$D_{C,i} = 10 \lg \frac{|Y_s + Y_i|^2}{|Y_s| \operatorname{Re}\{Y_i\}} \quad \text{dB} \quad (19b)$$

Dabei ist

- $Y_i$  die Admittanz der vertikalen Kraft des abstützenden Gebäudeelements am Anregungspunkt, in Meter je Newton · Sekunde.

ANMERKUNG Falls es sich bei der Quelle im Wesentlichen um eine Kraftquelle mit einer hohen Quellen-Admittanz handelt, ergibt sich folgende Gleichung:

$$D_{C,i} \approx 10 \lg \frac{|Y_s|}{\operatorname{Re}\{Y_i\}} \quad \text{dB} \quad (19c)$$

während sich für eine Quelle, bei der es sich im Wesentlichen um eine Schnellequelle mit geringer Quellen-Admittanz handelt, die folgende Gleichung ergibt:

$$D_{C,i} \approx -10 \lg |Y_s| \operatorname{Re}\{Z_i\} \quad \text{dB} \quad (19d)$$

Die Wirkung elastischer Abstützungen (elastische Elemente, Schwingungsdämpfer) wird im Kopp-lungs-Ausdruck erfasst.

Bei Einpunktanregung rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement über eine elastische Abstützung mit einer Transfer-Admittanz  $Y_{k,m}$  ergibt sich die folgende Gleichung:

$$D_{C,i} = 10 \lg \frac{|Y_s + Y_i + Y_{k,m}|^2}{|Y_s| \operatorname{Re}\{Y_i\}} \quad \text{dB} \quad (19e)$$

In Anhang D werden für verschiedene, häufig auftretende Fälle Informationen zur Berechnung des Kopp-lungs-Ausdrucks angegeben.

#### 4.4.4 Körperschallübertragung durch das Gebäude

Die Übertragung durch das Gebäude wird durch den Flankenschalldämmkoeffizient  $R_{ij}$  nach EN 12354-1 und den Anpassungs-Ausdruck  $D_{sa}$  angegeben. Die Berechnung des Flankenschalldämmkoeffizienten wurde bereits in 4.3.4 erwähnt. Der Anpassungs-Ausdruck, der zum Umformen der eingebrachten Körperschall-leistung in die auftreffende Luftschalleistung dient, die im abstützenden Gebäudeelement  $i$  unter Berücksichtigung nur der freien Schwingungen eine Anregung bis zum gleichen Energiepegel bewirkt, ist nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$D_{sa,i} = 10 \lg \frac{W_{inj,i} / E_{i,s}}{W_{inc,i} / E_{i,a}} \quad \text{dB} \quad (20a)$$

Dabei ist

$W_{inj,i}$  die Körperschalleistung, die durch die Quelle in das abstützende Gebäudeelement  $i$  eingebracht wird, in Watt;

$E_{i,s}$  die Energie des Elements  $i$ , die auf die Körperschallanregung zurückzuführen ist, in Joule;

$W_{inc,i}$  die Luftschalleistung, die auf das Element  $i$  auftrifft, in Watt;

$E_{i,a}$  die Energie des Elements  $i$ , die auf die Luftschallanregung zurückzuführen ist, in Joule.

Die durch Luftschall erzwungenen Schwingungen müssen folglich vernachlässigbar sein, oder die Ergebnisse müssen bezüglich des Beitrags der durch den Luftschall hervorgerufenen Schwingungen korrigiert werden. Bei einer nur rechtwinkligen Anregung von Biegewellen für ein abstützendes Gebäudeelement, das durch seinen Luftschallübertragungskoeffizienten für freie Schwingungen  $\tau_i$  und den Abstrahlungsfaktor  $\sigma_i$  charakterisiert wird, ergibt sich die folgende Gleichung:

$$D_{sa,i} = 10 \lg \frac{2\pi m_i 2,2\tau_i}{\rho_0 c_0 T_{s,i} \sigma_i} \quad \text{dB} \quad (20b)$$

Dabei ist

- $m_i$  die Flächenmasse des Elements  $i$ , in Kilogramm je Quadratmeter;
- $\tau_i$  der Übertragungskoeffizient des Elements  $i$  für Luftschall unter Berücksichtigung nur der freien Schwingungen ( $R_i = -10 \lg \tau_i$ );
- $\sigma_i$  der Abstrahlungsfaktor für freie BiegeWellen;
- $T_{s,i}$  die Körperschall-Nachhallzeit des Elements  $i$ , in Sekunden.

Für einige allgemeine Fälle werden Informationen für die Berechnung des Anpassungs-Ausdrucks in Anhang F angegeben.

## 5 Anwendung der Modelle

### 5.1 Anwendung auf Lüftungssysteme

#### 5.1.1 Allgemeines

Lüftungssysteme in Gebäuden umfassen eine große Anzahl von Einrichtungen und Teilen mit unterschiedlichen Schallquellen und Übertragungswegen. Hauptschallquellen in Lüftungssystemen sind häufig innerhalb eines Lüftungsgeräts in einem Raum für haustechnische Anlagen (Geräteraum) oder im oberen Geschoss eines Gebäudes angeordnet. Ein Lüftungssystem umfasst üblicherweise Gebläse, Elektromotoren, Übertragungsleitungen für die mechanische Kraft, Kühlkompressoren, Wasserpumpen, Luftbefeuchter, Heiz- oder Kühleinheiten, Filter und Klappen mit Motorantrieb.

Andere Schallquellen können in Luftkanälen und Luftdurchlässen angeordnet sein, in denen Schall durch Luftturbulenzen und Luftströmung an scharfen Kanten verursacht wird. Dieser durch die Strömung erzeugte Schall nimmt üblicherweise zu, wenn die Geschwindigkeit der transportierten Luft zunimmt. Möglicherweise muss auch Schall berücksichtigt werden, der von schwingenden Kanalwänden abgestrahlt wird. Schall kann auch durch die Wand, eine Öffnung, einen Ein- oder Auslass in einen Kanal übertragen werden, wenn der Kanal hohen Schalldruckpegeln ausgesetzt ist, die in einem Schacht oder einem Geräteraum vorhanden sein können.

Bei den typischen Bestandteilen des Systems, die als Quelle und/oder Übertragungselemente anzusehen sind, handelt es sich um:

- Kanäle;
- Schalldämpfer;
- Kanalverbindungen;
- Rohrbogen und Winkelstücke;
- Querschnittsänderungen;
- Brandklappen (regenerierter Schall);
- Hochdruck-Einrichtungen (regenerierter Schall, abgestrahlter Schall und Einfügungsdämpfung);
- Regler und Armaturen (regenerierter Schall und abgestrahlter Schall);
- Stutzen und (Zu- und Rücklauf-)Auslässe (Reflexionsverlust).

Die Schallübertragung vom Lüftungssystem zum Gebäude erfolgt durch das Kanalsystem hauptsächlich über die Luft (4.2), mitunter als Körperschall vom Gebläse und den Motoren (4.4) und in einigen Fällen über die Luft durch die Gebäude (4.3). Die Übertragung durch den Kanal ist auch relevant für die zwischen Räumen auftretende indirekte Schallübertragung, die mit  $D_{ns}$  gekennzeichnet und nach EN 12354-1 angewendet wird.

Wichtige Eingangsdaten für das Übertragungsmodell nach EN 12354-1 und EN 12354-2 sind die Schalldämmkoeffizienten der Gebäudeelemente.

Zur Berechnung der Schalldruckpegel, die durch Lüftungssysteme in Räumen erzeugt werden, gibt es verschiedene Handbücher. Obwohl zwischen dieser Norm und anderen Veröffentlichungen nicht unbedingt volle Übereinstimmung besteht, wird zum Nachschlagen weiterer Einzelheiten auf VDI 2081 [1], ASHREA 2003 [2] und ARI 1998 [3] verwiesen.

Anhang H enthält eine Leitlinie für die Vorplanung eines Raums zur Unterbringung haustechnischer Anlagen (Geräteraum) mit einem Beispiel für Lüftungssysteme.

## **5.1.2 Leitlinien für die Anwendung**

### **5.1.2.1 Quellen für Luftschall**

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt wird davon ausgegangen, dass der Luftschall eines Gebläses, der direkt in den umschlossenen Raum abgestrahlt wird, in dem das Gebläse angeordnet ist, durch einen Schallleistungspegel  $L_{W,unit}$  charakterisiert werden kann. Für andere Luftschallquellen kann dieser Schallleistungspegel auf entsprechende Weise als Ausgangsgröße für Voraussagen angewendet werden (4.2).

Um den Schalldruckpegel in einem Geräteraum zu bestimmen, kann für jede Schallquelle gesondert die Korrektur bezüglich der Absorption des Raumes und des Abstands zu den Gebäudeelementen für den Fall angewendet werden, dass der Abstand von den Flächen des Raumes groß im Vergleich zur üblichen Größe der betrachteten Quelle ist, d. h. der Lüftungseinheit, den Pumpen, den Kühlern usw., siehe 4.3. Falls sich die Flächen dicht an der Quelle befinden, darf als Näherung davon ausgegangen werden, dass der Schalldruckpegel im Geräteraum zahlenmäßig gleich dem Schallleistungspegel  $L_{W,unit}$  ist, der vom Hersteller angegeben wird, ohne Anwendung einer Korrektur bezüglich der Absorption des Raumes.

Für Kanäle mit großem rechtwinkligem Querschnitt, die Lüftungseinheit und Hauptgeräuschkämpfer verbinden, muss auch der vom Kanal abgestrahlte Schall berücksichtigt werden. Für eine sichere Berechnung des Schallleistungspegels für den vom Kanal abgestrahlten Schall kann davon ausgegangen werden, dass er gleich der Luftschalleistung ist, die von der Lüftungseinheit in den Kanal  $L_{W,in}$  hinein und/oder aus dem Kanal  $L_{W,out}$  heraus abgegeben wird, weil die Schalldämmung rechteckiger Kanalplatten mit niedriger Flächenmasse vernachlässigbar ist. Enge Luftspalte zwischen der Lüftungseinheit und dem abstützenden Element (dem Boden) sollten vermieden werden, weil der Schalldruckpegel in diesen Luftspalten beträchtlich höher als im diffusen Schallfeld sein kann. Durch Einfüllen von Mineralwolle in den Luftspalt kann die Schalldruckexponierung der Platte nur leicht verringert werden.

### **5.1.2.2 Quellen für Kanal-Luftschall**

Der direkt in die Kanäle abgestrahlte Luftschall des Gebläses wird hinsichtlich der tatsächlichen Betriebsbedingungen durch einen Schallleistungspegel  $L_{W,in}$  und  $L_{W,out}$  charakterisiert. Alle anderen im Lüftungssystem vorhandenen Bestandteile können ebenfalls als Schallquelle wirken und auch durch den resultierenden stromauf- und/oder stromabwärtigen Schallleistungspegel charakterisiert werden. Der Schallleistungspegel der anderen Bestandteile (Durchflussregler, Klappen, Auslässe) ist vom Luftdurchfluss (und vom Druckabfall) abhängig. Für die einzelnen Bestandteile können diese Werte vom jeweiligen Hersteller angegeben werden.

### **5.1.2.3 Quellen für abgestrahlten Schall**

Die Luftschalleistungspegel des Gebläses und der anderen Bestandteile des Systems können so hoch sein, dass der Kanal (und/oder die Bestandteile) einen wesentlichen Teil dieser Energie in die Räume des Gebäudes abstrahlen kann. Der auf diesen Schallausbruch zurückzuführende Schalldruckpegel kann unter Berücksichtigung der Übertragungsverluste und der Maße der abstrahlenden Kanalfläche bewertet werden. Schallabstrahlungswerte für die einzelnen Systembestandteile werden vom Hersteller der Bestandteile angegeben (4.2).

#### 5.1.2.4 Quellen für Körperschall

Es wird vorausgesetzt, dass das Gebläse die wichtigste Körperschallquelle in Lüftungssystemen ist. In einigen Fällen können auch der Motor und die Kraftübertragung ebenso wie möglicherweise vorhandene Kühlkompressoren Körperschall emittieren. Die Schallstärke ist durch den charakteristischen Körperschallleistungspegel anzugeben, der aus den an den Kontaktpunkten zur Gebäudekonstruktion (Ständer oder Fundamentblock der Lüftungseinheit) gemessenen Daten entweder eines äquivalenten Kraftpegels oder eines äquivalenten Schnellepegels zu bestimmen ist. Diese Pegel sollten für die Anlage unter Berücksichtigung der tatsächlichen Betriebsbedingungen protokolliert werden.

Lüftungseinheiten, die aus Leichtbau-Stahlrahmen oder -ständern hergestellt sind, können als Quellen mit hoher Admittanz angesehen werden und sich demzufolge wie Kraftquellen verhalten. In Anhang D wird eine Übersicht über ein vereinfachtes Verfahren zur Ableitung dieser Größe aus dem gemessenen Kraftpegel basierend auf Messungen des Schnellepegels an einer Empfangsplatte angegeben.

Für größere Kühlkompressoren oder andere schwere mechanische Einrichtungen, die fest am Bauwerk oder an/auf Schwingungsdämpfern angebracht/aufgestellt sind, kann es zweckdienlich sein, die Quelle als Schnellequelle (mit geringer Admittanz) anzusehen und den Schnellepegel zu messen, um den charakteristischen Körperschallleistungspegel zu messen.

ANMERKUNG 1 In diesen Fällen kann, wie in Anmerkung 2 zu Gleichung (18) angegeben, die vor Ort übertragene Leistung auch unmittelbar aus dem gemessenen Kraft- oder Schnellepegel durch Anwendung der Admittanz des abstützenden Elements bestimmt werden.

ANMERKUNG 2 Interne Schwingungsdämpfer arbeiten mitunter weniger zuverlässig als erwartet. Die Lüftungseinheit ist vorzugsweise auf stabilen Ständern zu montieren, die bei Inbetriebnahme der Einheit im Bedarfsfall durch externe Schwingungsdämpfer (elastische Halterungen) ersetzt werden können. Es ist zu berücksichtigen, dass sich der Schnellepegel der Einheit erhöhen kann. Der Hersteller kann Empfehlungen für die in diesem Fall zu treffenden Maßnahmen geben.

#### 5.1.2.5 Quellen für übertragenen Schall (Nebensprechschall)

Schall kann von einem Raum in einen anderen (benachbarten oder entfernten) Raum übertragen werden. Dabei kann sich Körperschall, meist aber Luftschall, durch einen Kanal vom Senderraum zum Empfangsraum bewegen. Unter Berücksichtigung der „überbrückenden“ Kanalanordnung können Eintritts- und Systemverluste bewertet und der Schallpegel im Empfangsraum berechnet werden. Es sollte ein Vergleich mit der Schalldämmung zwischen diesen Räumen durchgeführt werden (siehe EN 12354-1). Der Schall kann in den Kanal hinein und aus dem Kanal heraus durch die Kanalwände oder durch Auslässe gelangen.

## 5.2 Anwendung auf Heizungsinstallationen

### 5.2.1 Allgemeines

Die wichtigsten Arten von Heizungsinstallationen sind:

- Warmwassersysteme mit Radiatoren oder Konvektoren;
- Warmluftsysteme;
- Fußbodenheizungssysteme (im Boden verlegte Warmwasserrohre);
- Deckenheizungssysteme.

Das Warmwassersystem ist am gebräuchlichsten. Es sollte jedoch angemerkt werden, dass einige der in Warmwassersystemen vorhandenen Schallquellen auch in anderen Systemen vorhanden sein können, z. B. Heizkessel, Pumpe und Armaturen.

Ein übliches Heizsystem besteht aus einer Wärmeversorgung, einem Ausdehnungssystem, einer Umwälzpumpe, Armaturen und Radiatoren. Eine ausführlichere Beschreibung aller Teile, die für Systeme auf der Basis von erwärmtem Wasser angewendet werden können, wird in prEN 12828 [4] angegeben. Die Wärmeversorgung kann durch einen Kessel erfolgen oder bei einer Fernheizung durch einen Wärmetauscher in Verbindung mit geeigneten Armaturen.

Ein Heizkessel ist durch den Verbrennungsprozess und/oder das für die Luftzufuhr benötigte Gebläse eine Schallquelle. Die Schallübertragung vom Kesselraum erfolgt teilweise in Form von Luftschall durch das Gebäude (4.3) und teilweise in Form von Körperschall (4.4). Alle anderen Systembestandteile wie Wasserrohre, Radiatoren und das Ausdehnungssystem verursachen hauptsächlich Wasserschall und/oder Körperschall (4.4). Zusätzliche Luftschallquellen können die Öffnungen für Abluft und Zuluft sein; der von diesen Quellen ausgehende Schall kann in Räume des Gebäudes oder über die Gebäudeaußenseite in andere Gebäude gelangen; er kann nach EN 12354-4 behandelt werden.

Wichtige Eingangsdaten für das Übertragungsmodell nach EN 12354-1 und EN 12354-2 sind die Schalldämmkoeffizienten der Gebäudeelemente und die Schnelldämmkoeffizienten an den Verbindungsstellen der Gebäudeelemente.

### **5.2.2 Richtlinien**

Aus früheren Untersuchungen liegen Angaben zu Luftschallquellen vor, die von den Kombinationen Brenner/Heizkessel ausgehen; siehe Anhang B. Für die Körperschallerzeugung sind weniger Informationen verfügbar, und es ist bekannt, dass Körperschall für höhere installierte Heizleistungen nicht vernachlässigbar ist.

Das Ausdehnungssystem besteht aus einem Rohr, das den Heizkessel mit einem Wasserbehälter verbindet, der am höchsten Punkt des Systems installiert ist. Aus Sicherheitsgründen hat dieses Rohr größere Maße als die übrigen Rohre im System. Die Rohre werden häufig fest am Boden des oberen Stockwerks eines Gebäudes montiert, und die wesentliche Schallabstrahlung erfolgt im Allgemeinen am Boden. In Mehrfamilienhäusern sind auch Heizkesselgeräusche völlig üblich. Die Maße dieser Rohre sind dergestalt, dass Körperschall dominiert.

Umwälzpumpen waren immer als Schallquelle bekannt, inzwischen sind jedoch ziemlich leise Pumpen verfügbar. Die Körperschallleistungspegel sollten ermittelt werden, um sie für einen Vergleich von mehreren Produkten als Eingangsdaten anzuwenden. Schall kann als Wasser- und/oder Körperschall zu den Radiatoren übertragen werden, von denen Luftschall abgegeben wird. Erfahrungen haben gezeigt, dass in Gebäuden mit mittlerer Höhe der größte Teil des Schalls durch Wasser übertragen wird. In Hochhäusern (mit 10 oder mehr Stockwerken) dürfen mehrere Umwälzpumpen eingesetzt werden.

Wärmetauscher sind nicht als größere Schallerzeuger bekannt. Die Systeme werden jedoch durch Armaturen geregelt, von denen bekannt ist, dass besonders einige ältere Ausführungen viel Schall produzieren (Übertragung von Wasser- und Körperschall zu Radiatoren und Gebäudeelementen).

Eine der wichtigsten Schallquellen ist das am Radiator angebrachte Ventil. Der im Ventil erzeugte Schall wird natürlich auf den Radiator übertragen, von dem die Hauptabstrahlung des Schalls ausgeht. Bisher war es weder möglich, zwischen Wasser- und Körperschall zu unterscheiden, noch wurden hilfreiche Prüfverfahren entwickelt und angewendet, siehe [5].

Der Warmwasserradiator kann eine Schallquelle sein, besonders wenn das Rohrsystem nicht aufgelöste Luft enthält.

## **5.3 Anwendung auf Aufzugsinstallationen**

### **5.3.1 Allgemeines**

Aufzüge, besonders diejenigen für Personen, sind im Allgemeinen Treibscheibenaufzüge mit Drahtseilen oder hydraulische Aufzüge, die aus einer Aufzugsmaschine, einer Steuereinheit, einem Fahrkorb, einer Gegenmasse/Ausgleichsmasse, einem Drahtseil, Führungsschienen und Aufzugstüren bestehen. Die Aufzugsmaschine kann entweder in einem Geräteraum oder im Aufzugsschacht untergebracht werden.

Die Aufzugsmaschine und ihr Zubehör sowie die Aufzugstüren stellen die Hauptquellen sowohl für Luftschall (4.3) als auch für Körperschall (4.4) dar. Die Führungsschienen können ebenfalls Körperschall (4.4) emittieren.

### 5.3.2 Richtlinien

Der von der Aufzugsmaschine übertragene Luftschall kann nach 4.2 auf der Grundlage des Luftschalleistungspegels der Einrichtung berechnet werden. Da der Triebwerksraum des Aufzugs in der Regel klein ist und der Aufzugsschacht eindeutig kein kubisch umschlossener Raum ist, sind die Schallfelder üblicherweise nicht diffus. In diesen Fällen kann der Schalldruckpegel im Senderraum dem Schalleistungspegel der Quellen zahlenmäßig gleichgesetzt werden. Siehe auch VDI 2566 [6].

Elastische Abstützungen (Schwingungsdämpfer) für die Aufzugsmaschine sind im Allgemeinen erforderlich, um eine ausreichende Verringerung des Körperschalls (4.4) zu erreichen. Daher ist es vorteilhaft, schwere Konstruktionen als abstützende Gebäudeelemente anzuwenden. Für kritische Übertragungssituationen, d. h. in der Nähe von Räumen, ohne bauliche Verbindung zwischen Triebwerksraum, Schacht und Gebäude, kann es vorteilhaft sein, die Wirkung einer elastischen Abstützung dadurch zu verbessern, dass ein schwerer Rahmen (aus Beton) über den Abstützungen angewendet wird. Für die Dimensionierung der elastischen Abstützungen sollte bedacht werden, dass der Fahrkorb und die Gegenmasse/Ausgleichsmasse Teil der Gesamtlast, nicht jedoch Teil der dynamischen Arbeitslast sind.

Die Führungsschienen sollten an schweren Konstruktionen montiert und nur an Stellen mit hoher Impedanz an der Gebäudekonstruktion befestigt werden. Bei kritischen Übertragungssituationen sollten auch hier elastische Abstützungen angewendet werden. Die Führungsschienen sollten so verlegt werden, dass eine geräuschlose Bewegung des Fahrkorbs sichergestellt ist.

Sowohl automatische als auch manuell betätigte Aufzugstüren können eine Körperschallquelle sein. In einigen Fällen kann der durch die Türbetätigung im Vorraum des Aufzugs verursachte Körperschall eine Luftschallquelle in benachbarten Räumen darstellen.

## 5.4 Anwendung auf Wasserversorgungsanlagen

### 5.4.1 Allgemeines

Der Lärm von Wasserversorgungssystemen umfasst den gesamten Schall, der von Wasserhähnen, Armaturen, Pumpen usw. im Frischwasserkreislauf erzeugt wird sowie den Schall, der durch den Durchfluss durch das Rohrleitungsnetz und durch das Befüllen von Badewannen, Spülbecken oder sonstigen Becken mit Frischwasser entsteht. Dazu gehört auch der Schall, der durch plätscherndes Wasser erzeugt wird, z. B. durch den Duschstrahl usw. Der durch das Entleeren von Behältern oder Spülbecken erzeugte Schall ist nicht einbezogen und wird bei Behandlung der Abwassersysteme gesondert erfasst. Von den Abwassersystemen wird der erzeugte Schall ab dem Zeitpunkt erfasst, in dem das Ausfließen des Wassers aus dem jeweiligen Becken beginnt.

Die für Wasserversorgungsanlagen typischen Schallquellen und die im jeweiligen Anwendungsbereich relevante Art der Schallübertragung werden in Tabelle 1 aufgeführt.

Die übliche Art der Schallübertragung in Wasserversorgungssystemen wird in Bild 4 dargestellt.

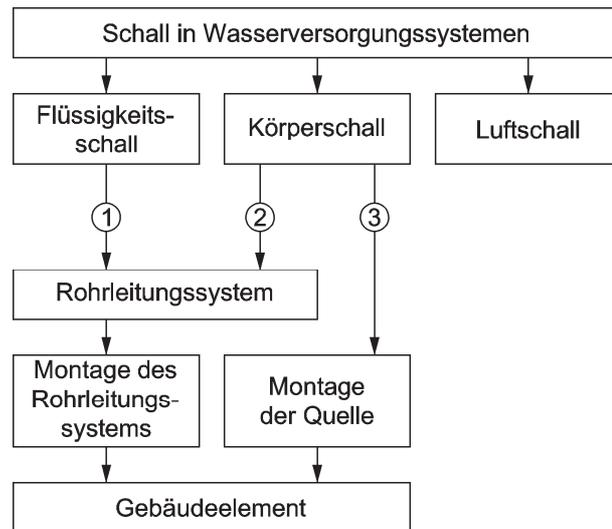


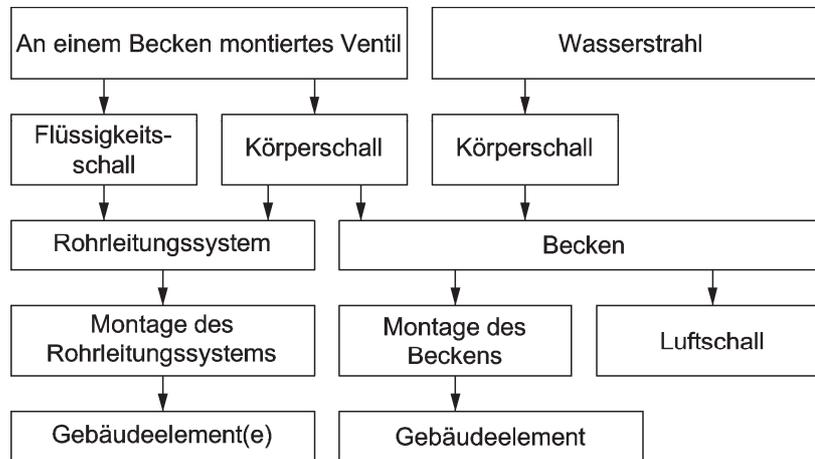
Bild 4 — Allgemeine Übertragungssituation von Quellen in Wasserversorgungssystemen

Tabelle 1 — Zusammenstellung der Quellen und relevanten Übertragungsarten in Wasserversorgungssystemen

Bauteil	Erzeugung von			Übertragung zum Gebäude durch		
	Luftschall	Körperschall	Flüssigkeitsschall	Direkte Montage	Montageelemente	Rohre
Armaturen und Hähne aller Art						
Auslassventile		X	X	X	X	X
Schlauchventile		X	X	X	X	X
Spülventile		X	X	X	X	X
Schieber, Zubehör in der Leitung: — Absperrhahn — Absperrdeckventil — Rückflussverhinderer		X	X	(X)	(X)	X
Drosselventile		X	X	X	X	X
Druckminderventile		X	X	(X)	(X)	X
— Regelemente am Ventilauslass — Strahlregler — Durchflussregler — Gegenvakuumventile — Rückflussverhinderer		X	X			X
Rohre		X	X	X	X	X
Spülkästen	X	X	X	X	X	X
(Umlauf-)Wassererhitzer, Kessel	(X)	X	X	X	X	(X)
Becken:						
Badewannen						
Duschwannen						
Handwaschbecken	X	X		X	X	
Spülbecken						
Waschbecken						
Booster-Pumpen	X	X	X	X	X	X
Sonstige Quellen						

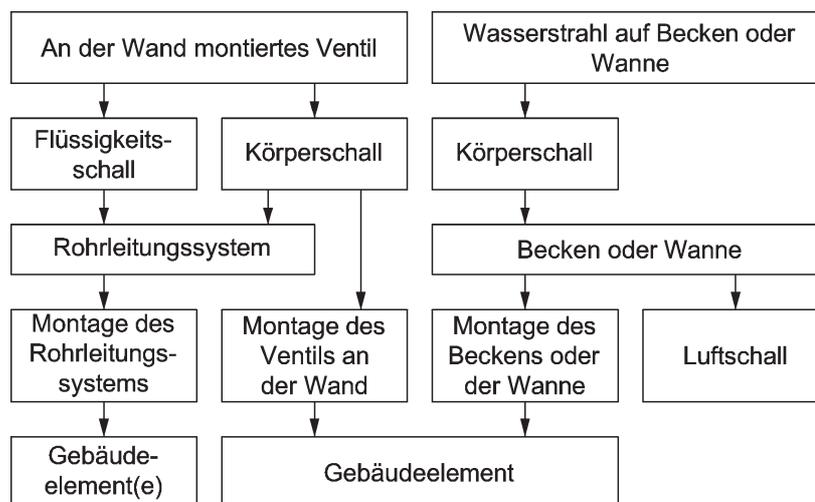
Diesen allgemeinen Grundlagen entsprechend werden anhand der folgenden Beispiele einige typische Fälle unter Angabe der zu berücksichtigenden partiellen Quellen und Übertragungswege dargestellt.

In Bild 5 ist der allgemeine Fall für ein an einem Becken angebrachtes Ventil festgelegt.



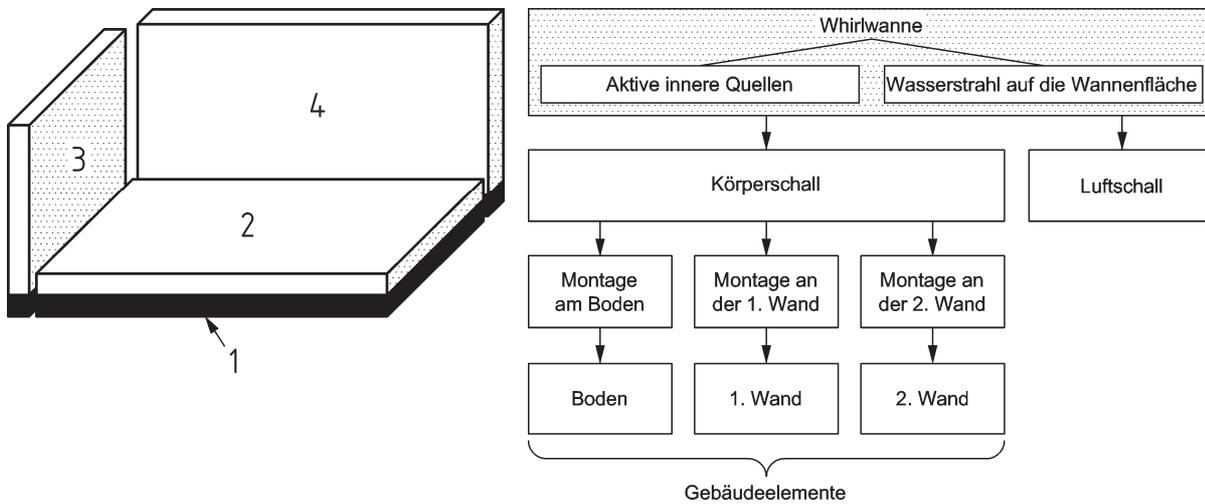
**Bild 5 — Darstellung der Schallübertragung für ein an einem Becken montiertes Ventil**

Die Darstellung des spezifischen Falls für ein an der Wand montiertes Ventil ist in Bild 6 gezeigt.



**Bild 6 — Darstellung der Schallübertragung für ein an der Wand montiertes Ventil**

In Bild 7 ist ein weiteres typisches Beispiel für eine Whirlwanne dargestellt.



a) Ecksituation mit drei Ebenen

b) Darstellung

**Legende**

- 1 Elastisches Material
- 2 Boden
- 3 2. Wand (Rück- oder Stützwand)
- 4 1. Wand

**Bild 7 — Darstellung der Schallübertragung für eine Whirlwanne**

**5.4.2 Richtlinien**

Die in Wasserversorgungssystemen vorhandenen Quellen erzeugen im Allgemeinen Körperschall, der direkt auf die Gebäudekonstruktion übertragen oder in die Montageelemente eingebracht wird. Daher können die Quellen vorrangig als Körperschallquellen behandelt werden. Wichtige Eingangsdaten ( $L_{WS,C}$ ,  $L_F$ ) können nach den in CEN/TC 126/WG 7 (siehe EN 14366 und prEN 15657-1) beschriebenen Messverfahren erhalten werden. Wegen der Maße der Körperschallquellen ist es in vielen Fällen gerechtfertigt, sie als Punktquellen anzusehen. Für Armaturen und Ventile muss zusätzlich die Erzeugung und Übertragung von Wasserschall berücksichtigt werden. In einigen Fällen (z. B. Becken, Spüleinrichtungen) kann auch der abgestrahlte Luftschall wichtig sein, der durch seine Luftschalleistung  $L_W$  beschrieben wird.

Für Berechnungen nach den in Bild 4 angegebenen allgemeinen Grundlagen und den charakteristischen Fällen, die in den Bildern 5, 6 und 7 dargestellt sind, müssen die relevanten Anteile des Luft-, Körper- und Wasserschalls, die zum resultierenden abgeglichenen Schalldruckpegel  $L_n$  in einem Raum beitragen, getrennt behandelt werden. Nach 4.1, Gleichung (2) kann  $L_n$  als Summe der einzelnen Beiträge berechnet werden. In Abhängigkeit von der Quelle und der Übertragungssituation können die folgenden Fälle von Bedeutung sein:

- Luftschallabstrahlung der Quelle;
- Körperschall, direkt auf die Gebäudekonstruktion oder auf Verbindungselemente übertragen;
- Körper- und Wasserschall, der entlang eines Rohrleitungssystems übertragen wird.

In Tabelle 1 ist eine Zusammenfassung zum erzeugten Schall und die Übertragungssituation, die üblicherweise wesentlich sind, angegeben.

Für spezielle Installationen werden einige Hinweise angegeben:

a) Für Ventile (Hähne) und Armaturen sind folgende Übertragungsfälle von Bedeutung:

- 1) Hähne und Armaturen erzeugen im Allgemeinen sowohl Wasserschall als auch Körperschall, der sich entlang des Rohrleitungssystems ausbreitet und von den Rohren auf die Gebäudeteile durch die Montageelemente (Klemmen usw.) als Körperschall übertragen wird (Übertragungswege (1) und (2) in Bild 4). Für Durchgangsarmaturen ist das der relevante Übertragungsweg. Gegenwärtig ist kein genormtes Verfahren für eine Beschreibung sowohl der emittierten Körperschalleistung als auch der emittierten Wasserschalleistung verfügbar; es existiert auch kein geeignetes Berechnungsmodell für die effektive Körperschalleistung oder zur Berechnung der Kräfte an den Kontaktpunkten des Rohrleitungssystems. Einige Angaben dazu, wie die Wasser- und Körperschalleistung für Armaturen und Hähne abzuleiten sind, werden in [7] angegeben. Für den für Durchgangsarmaturen vorliegenden Sonderfall kann das in EN 1151-2 beschriebene Messverfahren zur Ableitung der in einem Rohrleitungssystem übertragenen Körper- und Wasserschalleistung angewendet werden.

Eine Näherungslösung besteht darin, die Beiträge des Körper- und des Wasserschalls nicht gesondert zu betrachten, sondern nur die Summe der beiden Schallarten zu verwenden, die für die Übertragung der Körperschalleistung über die Montageelemente auf die Gebäudeteile verantwortlich sind. Diese Lösung ist für die Montagepunkte gültig, die einen bestimmten Abstand zur Quelle haben. Versuchsergebnisse haben gezeigt, dass dieses Kriterium erfüllt ist, wenn die Montagepunkte mindestens etwa drei Rohrbogen über die Quelle hinaus angeordnet sind. Gegenwärtig können vollständige repräsentative Systeme für Ventile, Rohre und ihre Montageelemente durch Messungen charakterisiert werden, die für Abwasseranlagen (EN 14366) angewendet werden. Zur Anwendung der nach dieser Norm gewonnenen Daten siehe 5.5. Einschränkungen für die Anwendung dieses Verfahrens werden durch die Anforderung festgelegt, dass die untersuchte Anordnung als Kraftquelle anzusehen ist. Bei den üblichen schweren, homogenen Konstruktionen mit einer flächenbezogenen Masse  $m' > 150 \text{ kg/m}^2$  ist das üblicherweise der Fall. Für Leichtbaukonstruktionen trifft diese Annahme nicht unbedingt zu, und die Anwendbarkeit sollte für den jeweiligen Einzelfall nachgewiesen werden.

Als eine weitere Näherungslösung kann auch der Anteil des vom Rohrleitungssystem übertragenen Schalls (Übertragungswege (1) und (2) in Bild 4) nach Gleichung (D.6a) berechnet werden. Diese Gleichung basiert auf den in EN ISO 3822 angegebenen Messverfahren und kann als grobe Abschätzung für die Schallerzeugung eines Wasserauslassventils angesehen werden, wenn

- das Ventil keine direkte Übertragung des Körperschalls auf das Gebäude bewirkt. Das bedeutet, dass das Ventil eine Durchgangsarmatur ist oder dass das Ventil weit weg vom Schall-emissionsraum montiert ist, so dass der direkte Anteil des Körperschalls (Übertragungsweg (3) in Bild 4) keine dominante Rolle für die Emission im Empfangsraum spielt;
  - davon ausgegangen wird, dass das Rohrleitungssystem aus schweren Metallrohren besteht;
  - die Klemmen die Rohre starr befestigen;
  - der Abstand zwischen dem Ventil und dem ersten Kontaktpunkt zum Empfangsraum ausreichend groß ist;
  - die angeregte Wand homogen und schwer ist.
- 2) Ventile, die unmittelbar an Gebäudeelementen oder Becken angebracht sind, übertragen Körperschall unmittelbar auf das anschließende Bauwerk (Übertragungsweg (3) in Bild 4), siehe auch Bilder 5 und 6. In vielen Fällen ist dieser Anteil des Körperschalls beim Vergleich mit den über das Rohrleitungssystem übertragenen Anteilen (Übertragungswege (1) und (2) in Bild 4) der dominante Anteil. Dieser Anteil muss gesondert behandelt werden. In Verbindung mit massiven Wänden ( $m' > 150 \text{ kg/m}^2$ ) kann des Ventil mit guter Näherung als eine Kraftquelle angesehen werden. Für Leichtbau-Konstruktionen muss diese Annahme nachgewiesen werden.

- 3) Für Ventile, die an einem Becken (Badwanne oder Waschbecken) ohne unmittelbaren Kontakt zur Gebäudekonstruktion angebracht sind, wird die spezifische Situation in Bild 4 dargestellt. Als eine Vereinfachung kann die Kombination Ventil und Becken als eine Einheit angesehen werden, die durch eine gemeinsame äquivalente Kraft beschrieben wird. Die Messverfahren nach CEN/TC 126/WG 7 [siehe prEN 15657-1] können angewendet werden. Gegenwärtig können nicht alle Kombinationen von Ventilen und Becken nur durch die mathematische Kombination der charakteristischen Größen für jedes Bauteil definiert werden. Es muss ein Modell erstellt werden (siehe [8]).

Für bestimmte Situationen muss festgestellt werden, welcher der oben genannten Fälle bzw. welche Kombination verschiedener Fälle relevant ist. Die einzelnen Beiträge sind gesondert zu behandeln, bevor sie addiert werden. Beispiele dafür, welche Anteile zu berücksichtigen sind, werden in den Bildern 5 und 6 angegeben.

**ANMERKUNG** Die Kennwerte für die Schallerzeugung für Ventile und Armaturen hängen in starkem Maße von den tatsächlichen Betriebsbedingungen (Druck, Durchflussrate, Auslasseinrichtung, Drosselung der Einrichtung) ab; es sollten Eingangsdaten angewendet werden, die für die jeweilige Situation und für die vorliegenden Betriebsbedingungen relevant sind.

- b) Pumpen in Wasserversorgungsanlagen können als Körper- und Wasserschallquellen angesehen werden. Bei Inline-Pumpen (ohne Verbindung zu den Gebäudeelementen) muss Körper- und Wasserschall berücksichtigt werden, der die Übertragungswege (1) und (2) in Bild 4 anwendet. Für diese durch das Rohrleitungssystem übertragenen Beiträge können die in EN 1151-2 beschriebenen Messverfahren, die ursprünglich für Inline-Pumpen in Heizungssystemen entwickelt wurden, auch auf Pumpen in Wasser angewendet werden.

Falls die Pumpe mit einem Gebäudeelement verbunden ist, muss zusätzlich der Körperschall berücksichtigt werden, der direkt von der Pumpe auf dieses Element (Übertragungsweg (3) in Bild 4) übertragen wird. Experimentell kann dieser Anteil durch die Messverfahren von CEN/TC 126/WG 7 beschrieben werden.

- c) Kompakte Schallquellen, z. B. Spülkästen, Wassererhitzer, Kessel usw.:

Für den Körperschall ist eine Beschreibung durch eine äquivalente Kraft oder durch die Schalleistung nach den von CEN/TC 126/WG 7 (siehe prEN 15657-1) festgelegten Verfahren geeignet. In Sonderfällen kann auch Luftschall eine bestimmte Rolle spielen. Dann ist  $L_{WV}$  zur Berechnung des abgestrahlten Luftschalls nach den von CEN/TC 126/WG 7 (siehe prEN 15657-1) festgelegten Verfahren relevant.

- d) In einigen Fällen sind Quellen mit größerer Ausdehnung (Badewannen, Whirlwannen usw.) mit mehr als einer Ebene verbunden (z. B. Eckposition von Wannen mit Verbindung zum Boden und zu zwei Wänden). In Bild 7 wird ein Beispiel gezeigt. In diesem Fall sollten die Quellen als dreidimensional angesehen werden, und der Beitrag jeder Richtung sollte gesondert berechnet werden (siehe [9]). Die Eingangsdaten für diese Quellen können nach den in CEN/TC 126/WG 7 festgelegten Verfahren ermittelt werden.

Für die Luftschallübertragung (4.3) wird die Luftschalleistung  $L_{Wa}$  der Quelle, die in einem Prüfstand gemessen wird (siehe Anhang C), in Gleichung (15) verwendet. Nur die Übertragung des diffusen Schallfelds im Senderraum kann unter Anwendung der Näherung in Gleichung (16b) berechnet werden. Die Charakterisierung im Prüfstand liefert keine Angaben über den Einfluss des Direktfelds und des Nahfelds der Einrichtung und ist daher keine Möglichkeit, die Übertragung zu einem Element (Wand oder Boden) zu berechnen, das sich dicht am Ausrüstungsgegenstand befindet. Es sollte jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Körperschalleistungskomponenten, die im dreidimensionalen Prüfstand gemessen werden, diese Luftschalleffekte einbeziehen.

Für die Körperschallübertragung (4.4) stellt die Summe  $L_{Ws,c} + D_{C,i}$  der ersten beiden Ausdrücke in Gleichung (18a) den Körperschalleistungspegel dar, der auf das Gebäudeelement  $i$  im Senderraum übertragen wird. Dieser Leistungspegel, der als installierte Leistungspegelkomponente  $i$  bezeichnet wird, kann mit Hilfe der im Prüfstand gemessenen entsprechenden Leistungspegelkomponente  $L_{Ws,n,i}$  der Bezugs-Empfangsplatte berechnet werden; siehe D.1.6.

- e) In vielen Fällen kann der Wasserstrahl (z. B. von einer Dusche oder aus dem Auslass eines Wasser-auslassventils), der auf die Oberfläche eines Beckens oder einer Wanne oder auf die Wasseroberfläche plätschert, den vorherrschenden Anteil des Körper- und des Luftschalls bewirken. Falls relevant, muss dieser Beitrag gesondert berücksichtigt werden (siehe Bilder 5, 6 und 7).

## 5.5 Anwendung auf Abwasseranlagen

### 5.5.1 Allgemeines

Eine Abwasseranlage besteht aus Kombinationen von geraden Rohren mit T-Stücken, Rohrbogen, Verbindungsstücken und Einlassöffnungen, die an Gebäudekonstruktionen mit Hilfe von Befestigungselementen (häufig Klemmen) angebracht werden. Schwingungen werden durch das Fließen und Herabfallen des Wassers im Rohrleitungssystem und durch direkt abgestrahlten Schall (Luftschall) erzeugt, oder sie werden auf die Empfangskonstruktionen (die Wände oder der Boden, mit denen/dem die Installation verbunden ist) übertragen, die ihrerseits Schall (Körperschall) emittieren; um den Körperschall zu verringern, können spezielle Befestigungselemente angewendet werden. Siehe auch [9] und [10].

Der von Abwasseranlagen emittierte Körper- und Luftschall wird nach EN 14366 in einer speziellen Prüfanordnung gemessen, siehe Anhang D. Nach dieser Norm werden zwei Größen ermittelt: der abgeglichene Luftschalldruckpegel  $L_{an}$  und der charakteristische Körperschalldruckpegel  $L_{sc}$ , beide für einen bestimmten Abschnitt der Abwasseranlage und ein bestimmtes Montageverfahren. Das Abwasserrohr ist im Allgemeinen mit einer Stützwand über zwei ziemlich weit voneinander entfernte und als nicht korreliert angesehene Befestigungspunkte verbunden; diese Quellenart reduziert sich daher auf eine Punktquelle mit nur einem Kontaktpunkt. Diese Eingangsdaten können für die Voraussage zur Übertragung von Luft- und Körperschall angewendet werden; siehe 5.5.2.

In EN 14366 sind die tatsächlichen Quellen in Abwassersystemen nicht erfasst, z. B. Spülbecken, Toiletten, Badewannen, Abflussrinnen oder andere aktive Einheiten (Pumpen).

### 5.5.2 Richtlinien für die Anwendung

Der Luftschalleistungspegel  $L_W$  und der charakteristische Körperschalleistungspegel  $L_{W,sc}$  können aus den beiden Größen berechnet werden, die aus EN 14366:2004 mit Hilfe der in Anhang C (C.1.1) und in Anhang D (D.1.7) der Norm angegebenen Beziehungen berechnet werden.

Für die Luftschallübertragung, siehe 4.3. Nur die Übertragung des diffusen Schallfelds im Senderraum kann mit Hilfe der in Gleichung (16b) angegebenen Annäherung berechnet werden. Siehe auch Anhang C.

Für die Körperschallübertragung, siehe 4.4. Das stützende Gebäudeelement ist im Allgemeinen eine homogene Platte, deren Admittanz aus der Admittanz der unendlichen Platte berechnet werden kann, siehe F.4. Unter der Annahme, dass eine Kraftquelle vorliegt, wird für die Admittanz der Schallquelle der (hohe) Bezugswert  $Y_{s,ref} = 10^{-3} \text{ m/Ns}$  verwendet, so dass der Kopplungs-Ausdruck wie in Anhang D verwendet werden kann und  $Y_i$  den Angaben in Anhang F entspricht.

Falls der Pegel der Körperschallempfindlichkeit  $L_{SS,situ}$  der Wand, an der die Montage erfolgt, gegenüber einem Raum in einer bestimmten Vor-Ort-Situation bekannt ist (z. B. aus einer Messung nach EN 14366), kann wie in Gleichung (18) auch der resultierende abgeglichene Schallpegel nach Gleichung (21) berechnet werden:

$$L_{p,n,s} = L_{Ws,c} + L_{SS,situ} - 34,7 + 10 \lg f^2 \quad \text{dB} \quad (21)$$

## 5.6 Anwendung auf verschiedene andere haustechnische Anlagen

### 5.6.1 Allgemeines

Es gibt wesentlich mehr als die bisher in diesem Abschnitt erfassten haustechnische Anlagen. Dazu gehören Müllrutschen, Heizkessel, Pumpen, Garagentüren mit Motorantrieb und Haushaltsgeräte. In vielen Fällen sind diese Einrichtungen auf ähnliche Weise wie die bisher erfassten Einrichtungen zu behandeln. Obwohl es üblicherweise keine gesetzlichen Anforderungen an die von Haushaltsgeräten erzeugten Schallpegel gibt, ist der emittierte Schall schon von Interesse, besonders für Geschirrspüler und Waschautomaten; diese Geräte werden hier angesprochen.

Bei Geschirrspülern richtet sich das Interesse hauptsächlich auf den Raum, in dem die Spülmaschine aufgestellt ist, da die Schallemission durch direkte Luftschallabstrahlung erfolgt. Die Luft- und Körperschallpegel in den benachbarten Räumen spielen tatsächlich kaum eine bedeutende Rolle. Bei Waschmaschinen werden die Schallpegel im Aufstellungsraum der Maschine ebenfalls primär durch Luftschall verursacht, während die durch Körperschall in den benachbarten Räumen erzeugten Schallpegel bedeutend sein können.

### 5.6.2 Richtlinien

Die Luftschallerzeugung von Geschirrspülern oder Waschmaschinen kann nach Internationalen Normen (die jeweils zutreffenden Teile von IEC 704) bestimmt und als Schalleistungspegel  $L_W$  angegeben werden.

Zur Messung des erzeugten Körperschalls gibt es bisher noch keine Normen. Es wurden Voraussagen beschrieben, bei denen zur Bestimmung des äquivalenten Kraftpegels Verfahren mit Empfangsplatten angewendet wurden. Untersuchungen haben ergeben, dass die Quellenimpedanz bei niedrigen Frequenzen, dem bedeutenden Frequenzbereich, der Masse entspricht und im Allgemeinen durch eine Masse von 5 kg bis 10 kg gekennzeichnet ist [11]. Wie in Anhang F angegeben, ist diese Angabe ausreichend, um den charakteristischen Körperschalleistungspegel  $L_{W_{S,C}}$  und die für die Kopplungs-Ausdrücke relevanten Beziehungen zu berechnen.

Im Allgemeinen ist in die Übertragung des Schalls von Haushaltsgeräten kein Übertragungselement einbezogen; gelegentlich werden jedoch (partiell) dämmende Kapselungen oder elastische Abstützungen/Halterungen angewendet.

Für Haushaltsgeräte sind hauptsächlich die Luftschallpegel im Aufstellungsraum relevant. Für den abgeglichenen Schalldruckpegel kann bei einem ausreichenden Abstand von der Quelle davon ausgegangen werden, dass er 4 dB niedriger als der Schalleistungspegel der Quelle ist (Nachhallfeld).

Die Körperschallpegel ergeben sich aus dem in 4.4.1 beschriebenen Modell unter Anwendung des Kopplungs-Ausdruck, der weiter oben und in Anhang F diskutiert ist.

## 6 Genauigkeit

Die Genauigkeit vorausgesagter Schallpegel durch haustechnische Anlagen hängt von vielen Gesichtspunkten ab, z. B. den verfügbaren Eingangsdaten von Quellen und Gebäudekonstruktionen, der Komplexität der modellartig dargestellten Situation, dem vorherrschenden Schallübertragungsmechanismus und dem relevanten Frequenzbereich. Die Hauptunterscheidung sollte zwischen der Genauigkeit der Quelleneingangsdaten und der Genauigkeit der Übertragungsvoraussagen getroffen werden. Werte für diese Genauigkeiten unterscheiden sich je nach Art der Installation, jedoch sind bisher nur wenige quantitative Informationen verfügbar.

Pauschal könnte die erweiterte Unsicherheit für die Einzelangaben (A- oder C-bewertete Pegel) mit einem Erweiterungsfaktor von 2 auf bis zu 5 dB für die Quelleneingangsdaten und bis zu 5 dB für die Übertragungsvoraussagen geschätzt werden; wird davon ausgegangen, dass diese beiden Gesichtspunkte voneinander unabhängig sind, wäre die gesamte erweiterte Unsicherheit somit bis zu 7 dB. Auf der Grundlage einiger Erfahrungen mit vergleichbaren Voraussagemodellen ist in Tabelle 2 ein detaillierterer Überblick der geschätzten Unsicherheiten angegeben. Um diese Unsicherheiten präziser und ausführlicher festzulegen, sind weitere Untersuchungen und Vergleiche erforderlich.

**Tabelle 2 — Pauschale Schätzung der erweiterten Unsicherheit für verschiedene Arten von haustechnischen Anlagen in Gebäuden**

<b>Quelle</b>	<b>Eingangsdaten der Quelle</b>	<b>Übertragung</b>	<b>Bemerkungen</b>
Sämtliche Arten	5	5	niedrigere Werte für schwere Gebäudekonstruktionen
Lüftungssysteme	2	2	
Heizungsinstallationen	3	4	
Aufzugsinstallationen	4	3	
Wasseranlagen	3	5	
Haushaltsgeräte	3	3	

## Anhang A (normativ)

### Liste der Symbole

Tabelle A.1 — Liste der Symbole

Symbol	Physikalische Größe	Einheit
$A$	Äquivalente Schallabsorptionsfläche in einem umschlossenen Raum	m <sup>2</sup>
$A_{\text{ref}}$	Bezugs-Schallabsorptionsfläche: $A_{\text{ref}} = 10 \text{ m}^2$	m <sup>2</sup>
$A_s$	Äquivalente Schallabsorptionsfläche im Senderaum	m <sup>2</sup>
$c_o$	Schallgeschwindigkeit in Luft	m/s
$d$	Abstand zwischen dem Schall abstrahlenden Element im Raum und der Empfangsposition	m
$D_{n,s}$	Abgeglichene Schallpegeldifferenz für die indirekte Übertragung durch ein System $s$	dB
$D_{t,i}$	Übertragungsverlust des Elements $i$ eines Systems	dB
$D_{t,oi}$	Übertragungsverlust der Schallleistung für eine Kanalöffnung oder eine Einrichtung zur Übertragung von der Außen- zur Innenseite	dB
$D_{t,io}$	Übertragungsverlust der Schallleistung für eine Kanalöffnung oder eine Einrichtung zur Übertragung von der Innen- zur Außenseite	dB
$D_{s,i}$	Schallübertragung zum Element $i$ im Senderaum	dB
$D_i$	Einfügungsdämpfung eines Schalldämpfers oder eines anderen Kanalelements	dB
$D_W$	Schallleistungs-dämmung einer Kapselung	dB
$D_{C,i}$	Kopplungs-Ausdruck für die Quelle an einem abstützenden Gebäudeelement $i$	dB
$D_{sa,i}$	Ausdruck zur Anpassung der Körperschallanregung an die Luftschallanregung für ein abstützendes Gebäudeelement $i$	dB
$D_\Omega$	Festwinkel-Richtfaktor für das abstrahlende Element oder die Quelle in einem Raum	dB
$e$	Anzahl der Elemente zwischen Sende- und Empfangsraum	—
$E_{i,a}$	Energie des Elements $i$ bedingt durch Luftschallanregung	J
$E_{i,s}$	Energie des Elements $i$ bedingt durch Körperschallanregung	J
$f$	Mittenfrequenz des Frequenzbandes	Hz
$k_m$	Über die Frequenz gemittelte dynamische Transfersteifigkeit der elastischen Abstützung $m$	N/m
$l$	Tatsächliche Länge des Elements, gemessen entlang der Mittellinie des Kanals	m
$l_{\text{ref}}$	Bezugslänge, in Meter; $l_{\text{ref}} = 1 \text{ m}$	m

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Symbol	Physikalische Größe	Einheit
$L_n$	Abgeglichener gesamter Schalldruckpegel in einem Raum, der auf alle Quellen zurückzuführen ist	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{nT}$	Genormter gesamter Schalldruckpegel in einem Raum, der auf alle Quellen zurückzuführen ist	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{n,d,i}$	Abgeglichener Schalldruckpegel, der für die Quelle $i$ auf die Schallübertragung durch ein Rohr oder einen Kanal zurückzuführen ist	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{n,a,j}$	Abgeglichener Schalldruckpegel, der für die Quelle $j$ auf die Luftschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion zurückzuführen ist	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{n,s,k}$	Abgeglichener Schalldruckpegel, der für die Quelle $k$ auf die Körperschallübertragung durch die Gebäudekonstruktion zurückzuführen ist	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_o$	Schalldruckpegel im Senderaum und/oder außerhalb eines Kanals	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{n,a,ij}$	Abgeglichener Schalldruckpegel im Empfangsraum, der auf eine Luftschallquelle im Senderaum zurückzuführen ist und durch Schallübertragung von einem angeregten Element $i$ im Senderaum und einem abstrahlenden Element $j$ im Empfangsraum verursacht wird	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_{n,s,ij}$	Abgeglichener Schalldruckpegel im Empfangsraum, der auf eine Körperschallquelle zurückzuführen ist, die im Senderaum am abstützenden Gebäudeelement $i$ montiert ist und durch Schallübertragung von einem angeregten Element $i$ im Senderaum und einem abstrahlenden Element $j$ im Empfangsraum verursacht wird	dB Bezug 20 $\mu$ Pa
$L_W, L_{Wa}$	Schalleistungspegel einer Luftschallquelle	dB Bezug 1 mW
$L_{W,in}$	Schalleistungspegel eines Lüftungsgeräts in den Kanaleinlass	dB Bezug 1 $\mu$ W
$L_{W,out}$	Schalleistungspegel eines Lüftungsgeräts in den Kanalauslass	dB Bezug 1 $\mu$ W
$L_{W,unit}$	Schalleistungspegel eines Lüftungsgeräts, der vom Gehäuse abgestrahlt wird	dB Bezug 1 $\mu$ W
$L_{Ws,c}$	Charakteristischer Körperschalleistungspegel einer Körperschallquelle	dB Bezug 1 $\mu$ W
$L_{Ws,inst}$	Von einer an einem abstützenden Element installierten Quelle übertragener Körperschalleistungspegel	dB Bezug 1 $\mu$ W
$m_i$	Flächenmasse des Elements $i$	kg/m <sup>2</sup>
$m$	Anzahl der Elemente $i$ im Senderaum, die an der Schallübertragung beteiligt sind; Anzahl der Schallquellen, die sich auf die Kanal-Übertragung beziehen	—
$n$	Anzahl der Elemente $j$ im Empfangsraum, die an der Schallübertragung beteiligt sind; Anzahl der Luftschallquellen	—
$o$	Anzahl der Körperschallquellen	—
$Q$	Richtfaktor für das Schall abstrahlende Element	—
$Q'$	Effektiver Richtfaktor einer Quelle unter Einbeziehung der Einflüsse akustischer Nahfelder	—
$r_i$	Mittlerer Abstand von der Quellenfläche zum Element $i$	—
$R_i$	Schalldämmkoeffizient des Gebäudeelements $i$	—

Tabelle A.1 (fortgesetzt)

Symbol	Physikalische Größe	Einheit
$R_{ij,ref}$	Flankenschalldämmkoeffizient für die Übertragung vom Element $i$ im Senderraum zum Element $j$ im Empfangsraum, mit Bezug auf die Fläche $S_{ref} = 10 \text{ m}^2$	dB
$R_{oi}$	Schalldämmkoeffizient des Kanals für die Übertragung von der Außen- zur Innenseite	dB
$R_{io}$	Schalldämmkoeffizient des Kanals für die Übertragung von der Innen- zur Außenseite	dB
$S_1$	Fläche des ersten Elements ( $i = 1$ ) des Übertragungssystems im Senderraum, d. h. eine Öffnung, ein Kanalabschnitt oder ein Luftdurchlass	$\text{m}^2$
$S_{co}$	Querschnittsfläche der Kanalöffnung	$\text{m}^2$
$S_i$	Fläche des angeregten Elements $i$ oder des abstützenden Elements $i$ im Senderraum	$\text{m}^2$
$S_d$	Exponierte Fläche des Kanals im Raum	$\text{m}^2$
$S_{cd,d}$	Querschnittsfläche des Kanals am stromabwärtigen Ende des exponierten Teils des Kanals	$\text{m}^2$
$S_{cd,u}$	Querschnittsfläche des Kanals am stromaufwärtigen Ende des exponierten Teils des Kanals	$\text{m}^2$
$S_t$	Gesamtfläche der Grenzen eines Raumes	$\text{m}^2$
$T$	Nachhallzeit	s
$T_{ref}$	Bezugs-Nachhallzeit; $T_{ref} = 0,5 \text{ s}$	s
$T_{s,i}$	Körperschall-Nachhallzeit des Elements $i$	s
$V$	Volumen eines Raumes	$\text{m}^3$
$W_{inj,i}$	Körperschalleistung, die von der Quelle in das abstützende Gebäudeelement $i$ übertragen wird	W
$W_{inc,i}$	Luftschalleistung, die auf ein Element $i$ auftrifft	W
$W_{sc}$	Charakteristische Körperschalleistung der Quelle	W
$Y$	(Komplexe) mechanische Admittanz (= $1/Z$ )	m/Ns
$\text{Re}\{Y_i\}$	Realer Anteil der Admittanz des Elements $i$ an der Anregungsstelle	m/Ns
$Z$	(Komplexe) mechanische Impedanz	Ns/m
$\Delta L_W$	Verringerung des Schalldruckpegels je Einheit oder Längeneinheit eines Elements	dB
$\Delta L_{W,i}$	Verringerung des Schalldruckpegels durch ein Element $i$	dB
$\Omega$	Festwinkel, über den eine Abstrahlung auftritt	(rad)
$\tau_i$	Übertragungskoeffizient des Elements $i$ für Luftschall; $R_i = -10 \lg \tau_i$	—
$\sigma_i$	Abstrahlungsfaktor des Elements $i$ für freie BiegeWellen	—

## **Anhang B** (informativ)

### **Luftschallquellen in Kanalsystemen**

#### **B.1 Schalleistungspegel für Gebläse**

Der Hersteller kann den Schalleistungspegel für Gebläse bei einem geeigneten Arbeitspunkt angeben, der nach den zutreffenden Normen gemessen wird (EN ISO 5136; EN 13141-4). Auf der Grundlage umfassender empirischer und theoretischer Arbeiten geben Handbücher und Richtlinien mehrere Möglichkeiten zur Berechnung des jeweiligen Schalleistungspegels für Gebläse an. Siehe z. B. VDI 2081 [1].

#### **B.2 Schalleistungspegel von Durchflussschall**

Die Schalleistungspegel von Durchflussschall, der an Bauteilen, wie Armaturen, Gittern, Klappen, Schalldämpfern, dem Drucklüftungssystem, Rohrbogen oder Teilabschnitten gerader Kanäle erzeugt wird, können nach der jeweils zutreffenden Norm gemessen werden (EN ISO 7235). Auf der Grundlage umfassender empirischer und theoretischer Arbeiten geben Handbücher und Richtlinien mehrere Möglichkeiten zur Berechnung des jeweiligen Schalleistungspegels an, der auf den Schall zurückzuführen ist, den der Durchfluss an den aufgeführten Bauteilen erzeugt. Siehe z. B. VDI 2081 [1]. Die durch Durchflussschall erzeugte Schalleistung ist jedoch häufig eher von der Position des den Durchflussschall erzeugenden Bauteils im System (Wechselwirkung zwischen den Bauteilen) abhängig und weniger eine Eigenschaft des Bauteils.

## Anhang C (informativ)

### Luftschallquellen

#### C.1 Schallquellen

##### C.1.1 Haustechnische Einrichtungen, zum Beispiel Whirlwannen

Der durch einige Arten von haustechnischen Einrichtungen wie zum Beispiel Whirlwannen entstehende Körper- und Luftschall wird nach prEN 15657-1 in einem besonderen Prüfstand gemessen; siehe Anhang D. Der Luftschall wird als der Schalldruckpegel  $L_{WA}$  angegeben und ist somit unmittelbar für Voraussagen nach 4.3 geeignet.

##### C.1.2 Abwasseranlagen

Der Körper- und der Luftschall von Einrichtungen in Abwasseranlagen werden nach EN 14366 in einem speziellen Prüfstand gemessen; siehe Anhang D. Der Luftschall wird als abgeglicher Luftschalldruckpegel  $L_{an}$  gemessen. Dieser Pegel bezieht sich auf einen bestimmten Abschnitt einer Abwasseranlage, der üblicherweise eine Länge von 3 m hat.

Aus diesem gemessenen Schalldruckpegel wird der Luftschalleistungspegel für den festgelegten Abschnitt der Anlage nach der folgenden Gleichung berechnet:

$$L_W = L_{an} + 10 \lg \frac{A_{ref}}{4} = L_{an} + 4 \quad \text{dB} \quad (\text{C.1})$$

Für die Anwendung dieser Daten siehe 5.1.

##### C.1.3 Heizungssysteme

Für eine in Heizungsanlagen verwendete, aus Brenner mit Gebläse und Kessel bestehende Kombination wurde eine pauschale Beziehung zwischen der Nennleistung  $P$  in Kilowatt und dem A-bewerteten Schalleistungspegel  $L_{WA}$  festgesetzt [12].

$$L_{WA} = 57 + 12 \lg P \quad \text{dB} \quad (\text{C.2})$$

Die Schwankung beträgt pauschal  $\pm 5$  dB(A), und der Niederfrequenzanteil des Schalls ist ziemlich wichtig.

Durch Anwendung geeigneter Hauben für den Brenner kann sich dieser Pegel bis auf 20 dB(A) verringern.

#### C.2 Schallübertragung im Senderraum

In den Fällen, in denen die Quellen dicht an Gebäudeelementen angeordnet sind, kann eine geeignete Bewertung des Schalldruckpegels dadurch erfolgen, dass er zahlenmäßig gleich dem Schalleistungspegel gesetzt wird.

Einige theoretische Untersuchungen zur Luftübertragung des Schalls, der von einer Punktquelle zu einer nahe gelegenen Wand abgestrahlt wird [13], haben gezeigt, dass

- für eine dicht an einer Wand liegende Punktquelle das Direktfeld dominant ist, d. h. in diesem Fall ist der Schalldämmkoeffizient des „diffusen Felds“ der Wand nicht mehr geeignet, um eine gute Abschätzung des durch die Wand übertragenen Schalls zu erreichen;
- für eine Quelle mit starker Richtwirkung scheint die lokale Luftschallanregung der Wand gut mit einer mechanischen Anregung vergleichbar zu sein, und es sollte sehr sorgfältig vorgegangen werden, besonders unterhalb der kritischen Frequenz der Wand.

Wenn für die Schallübertragung das Direktfeld und das Nahfeld der Quellen wichtig sind, scheint es, dass diese Einflüsse nicht mehr durch Korrekturen für die Übertragung des diffusen Felds ( $R_{ij}$ ,  $D_{s,i}$ ) abgeschätzt werden können, sondern gesondert bewertet werden müssen. Praktische Verfahren müssen noch entwickelt werden.

Bei relativ großen Quellen dicht an einem Bauwerk kann das Schallfeld im Hohlraum als zweidimensionales diffuses Schallfeld mit geringer Dämpfung angesehen werden, so dass ein hoher Schalldruckpegel erzeugt wird. Aus dem bekannten oder berechneten Schalleistungspegel  $L'_W$  der relevanten Seite ( $l \times b$  m<sup>2</sup>) der Quelle in einem Abstand  $h$  vom Bauwerk kann der resultierende Schalldruckpegel nach [14] berechnet werden:

$$L_p \approx L'_W - 10 \lg \frac{(l+b)h}{\pi} \quad \text{dB} \quad (\text{C.3})$$

## Anhang D (informativ)

### Körperschallquellen

#### D.1 Messung des charakteristischen Körperschalleleistungspegels

##### D.1.1 Allgemeines

Die Messung des charakteristischen Körperschalleleistungspegels schließt Messungen der freien Geschwindigkeiten (Schnellepegel) an den Kontaktpunkten der Quelle und der Admittanz-Matrix der Quelle grundsätzlich für alle sechs Freiheitsgrade ein. Für eine Quelle oder eine partielle Quelle mit mehreren Kontaktpunkten ergibt sich die folgende Gleichung:

$$L_{Ws, c} = 10 \lg \left| \frac{\overline{v_{sf}^{*T} \overline{Y_s}^{-1} \overline{v_{sf}}}}{W_{ref}} \right| \text{ dB} \quad (\text{D.1a})$$

Dabei ist

$\overline{v_{sf}}$  der komplexe freie Geschwindigkeitsvektor für die Mehrpunktquelle mit mehreren Freiheitsgraden, in Meter je Sekunde;

$\overline{Y_s}$  die komplexe Admittanz-Matrix der Quelle, in Meter je Newton · Sekunde;

\*

$T$  weist auf die Vektorumformung hin;

$W_{ref}$  die Bezugs-Leistung, in Watt;  $W_{ref} = 1 \text{ pW}$ .

Für einen einzigen Kontaktpunkt und einen einzigen Freiheitsgrad kann die Gleichung folgendermaßen geschrieben werden:

$$L_{Ws, c} = 10 \lg \frac{v_{sf}^2}{W_{ref} |Y_s|} \text{ dB} \quad (\text{D.1b})$$

Dabei ist

$v_{sf}$  der Effektivwert der freien Geschwindigkeit am Fußpunkt (Kontaktpunkt) der Quelle, in Meter je Sekunde;

$Y_s$  die Admittanz der Quelle am Fußpunkt der Quelle, in Meter je Newton · Sekunde.

Aus diesen Definitionen oder aus ihren vereinfachten Ableitungen sind Messverfahren direkt zu entwickeln, die auf bestimmte Arten oder Gruppen von Ausrüstungsgegenständen anwendbar sind. Siehe auch [15].

Einige Möglichkeiten werden in den folgenden Abschnitten angegeben.

## D.1.2 Haustechnische Anlagen mit hoher Quellen-Admittanz

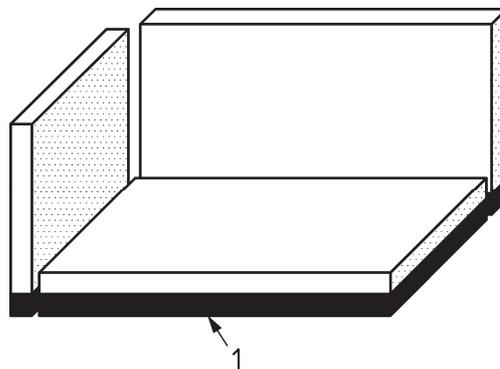
Maschinen und Einrichtungen mit relativ leichtem Chassis und/oder Montage-Unterlagen können praktisch als reine Kraftquelle durch eine Kraft rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement beschrieben werden. Dies ist jedoch nur zutreffend, wenn das abstützende Gebäudeelement sehr starr ist. Wenn mehrere Kontaktpunkte und ein bestimmter Beitrag anderer Freiheitsgrade vorliegen, können diese Quellen weiterhin durch eine Kraft charakterisiert sein bzw. durch die gesamte eingebrachte Körperschalleistung in einer bestimmten Situation. Bei derartigen Quellen ist die Quellen-Admittanz im Hinblick auf alle relevanten Arten von abstützenden Gebäudeelementen sehr hoch und kann als Bezugswert  $Y_{s,ref} = 10^{-3} \text{ m/Ns}$  angesetzt werden.

### D.1.2.1 Haustechnische Anlagen mit hoher Admittanz am Beispiel von Whirlwannen

Der vom CEN/TC 126/WG7 erarbeitete Norm-Entwurf prEN 15657 legt Verfahren für Messungen des Luftschalls und des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand fest. Bisher existiert nur der erste Teil dieser Norm, der sich auf Anlagen beschränkt, die mit Gebäudekonstruktionen mit hoher Admittanz verbunden sind (schwere Fußböden oder Wände mit einer Masse von  $220 \text{ kg/m}^2$  oder mehr), wobei Whirlwannen als Beispiel herangezogen werden. Für den Körperschall wird folgendes Messverfahren im Prüfstand angewendet.

Der Ausrüstungsgegenstand wird in einen aus drei Empfangsplatten bestehenden Prüfstand eingebaut, der in Bild D.1 gezeigt wird (Whirlwannen werden im Allgemeinen in die Ecke eines Raumes eingebaut, so dass sie mit dem Boden und zwei Wänden verbunden sind). Die räumliche mittlere Schnelle, die an jeder Empfangsplatte erzeugt wird, und die Körperschall-Nachhallzeit jeder Platte werden gemessen, und daraus wird die auf jede Platte übertragene Körperschalleistung berechnet; diese Körperschalleistungen werden anschließend bezüglich der Differenz der Eingangs-Punktadmittanz zwischen den verwendeten Platten und einer Bezugs-Platte korrigiert, so dass drei Leistungskomponenten  $L_{Ws,n,i}$  ( $i = 1$  bis  $i = 3$ ) für die Bezugs-Platte, die den 3 Empfangsplatten des Prüfstands entsprechen, erhalten werden.

Bei den Messungen im Prüfstand werden folglich vier Größen ermittelt: der Luftschalleistungspegel  $L_{Wa}$  der Quelle (siehe C.1) und die drei Leistungskomponenten  $L_{Ws,n,i}$  ( $i = 1$  bis  $i = 3$ ) der Bezugs-Platte.



#### Legende

- 1 Elastisches Material

**Bild D.1 — Schematische Darstellung des Drei-Platten-Prüfstands**

Für diese Art von Quelle ist die Quellen-Admittanz sehr hoch, und es kann von einem Bezugswert von  $Y_{s,ref} = 10^{-3} \text{ m/Ns}$  ausgegangen werden. Damit ergeben sich für den charakteristischen Körperschalleistungspegel und die Kopplungs-Ausdrücke die folgenden Gleichungen:

$$L_{Ws,c} = L_{Ws,n,i} - 10 \lg Y_{\infty,rec} - 30 = L_{Ws,n,i} + 23 \text{ dB} \quad (\text{D.2a})$$

$$D_{C,i} = -10 \lg \text{Re}\{Y_{up,i}\} - 30 \quad (\text{D.2b})$$

Dabei ist

$Y_{\infty, \text{rec}}$  die Admittanz einer in der Norm festgelegten Bezugs-Empfangsplatte, in Meter je Newton · Sekunde;  $Y_{\infty, \text{rec}} = 5 \times 10^{-6} \text{ m/Ns}$ ;

$Y_{\text{up}, i}$  die Obergrenze der Admittanz der Platte  $i$  im installierten Zustand, in Meter je Newton · Sekunde.

Weil die Summe  $L_{\text{Ws}, c} - D_{\text{C}, i}$  den auf das Gebäudeelement  $i$  übertragenen Körperschalleistungspegel darstellt, der für die installierte Leistungskomponente  $i$  als  $L_{\text{Ws}, \text{inst}, i}$  bezeichnet wird [siehe Gleichung (18)], kann eine Obergrenze dieser installierten Leistungskomponente, um absolut sicherzugehen, nach der folgenden Gleichung auch direkt aus der Leistungskomponente  $L_{\text{Ws}, n, i}$  der Bezugs-Empfangsplatte berechnet werden:

$$L_{\text{Ws}, \text{inst}, i} = L_{\text{Ws}, n, i} + 10 \lg \frac{Y_{\text{up}, i}}{Y_{\infty, \text{rec}}} \quad \text{dB} \quad (\text{D.3})$$

#### **D.1.2.2 Äquivalente Kraftquelle mittels Empfangsplatte**

Maschinen und Einrichtungen mit hoher Quellen-Admittanz, mehreren Kontaktpunkten und einigen Beiträgen anderer Freiheitsgrade wurden ebenfalls durch eine Kraft beschrieben, die repräsentativ für die gesamte komplexe Anregung ist. Diese Kraft wird dann als äquivalente Kraft  $F_{\text{eq}}$  bezeichnet, die rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement wirkt. Diese einfache Beschreibung der Quelle führt zu einem Verhalten, das dem der realen Quelle mit bestimmten festgelegten Einschränkungen „äquivalent“ ist. Die Einschränkungen beziehen sich ebenso auf die Quelle wie auf die abstützende Konstruktion. Dieser Ansatz entspricht D.1.2.1, wobei die Ergebnisse jedoch anders dargestellt werden.

Bei diesem Messverfahren kommt eine elastisch angebrachte Platte als aufnehmende Gebäudekonstruktion zum Einsatz, die mit einem Nachhallraum vergleichbar ist. Der äquivalente Kraftpegel ergibt sich aus der für die Platte gemessenen Geschwindigkeit (Schnelle)  $v^2$  an der arbeitenden Maschine und aus folgenden Plattenkennwerten: Admittanz  $Y$  am Anregungspunkt, Masse  $M$  und Körperschall-Nachhallzeit  $T_s$ :

$$L_{\text{F}, \text{eq}} = 10 \lg \frac{2,2 v^2 M 2\pi}{T_s \text{Re}\{Y\} F_{\text{ref}}^2} \quad \text{dB} \quad (\text{D.4})$$

ANMERKUNG Entsprechende Messverfahren wurden in der Literatur für bestimmte Quellen präsentiert, z. B. Waschmaschinen und Gebläse, siehe 5.6.

Für diese Quellen ist die Quellen-Admittanz in Bezug auf alle relevanten Arten von abstützenden Gebäudeelementen sehr hoch, für sie kann ein Bezugs-Wert von  $Y_{\text{s}, \text{ref}} = 10^{-3} \text{ m/Ns}$  angenommen werden. Der charakteristische Körperschalleistungspegel ist dann nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$L_{\text{Ws}, c} = L_{\text{F}, \text{eq}} + 10 \lg |Y_s| = L_{\text{F}, \text{eq}} - 30 \text{ dB} \quad (\text{D.5a})$$

Dabei ist

$L_{\text{F}}$  der äquivalente Kraftpegel der Quelle, in Dezibel;

$Y_s$  die Admittanz der Quelle, in Meter je Newton · Sekunde;  $Y_{\text{s}, \text{ref}} = 10^{-3} \text{ m/Ns}$ .

Der entsprechende Ausdruck für die Kopplung zum abstützenden Gebäudeelement  $i$  kann in diesem Fall durch folgende Gleichung bestimmt werden:

$$D_{\text{C}, i} = -10 \lg \text{Re}\{Y_i\} - 30 \text{ dB} \quad (\text{D.5b})$$

Für die meisten abstützenden Gebäudeelemente hätte dieser Ausdruck einen negativen Wert, der darauf hinweist, dass die tatsächlich übertragene Leistung im Allgemeinen niedriger ist als die charakteristische Körperschalleistung.

Anhang F enthält Hinweise auf die Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

#### D.1.2.3 Äquivalente Kraftquelle mittels Ersatzverfahren

Für diese Art von Quellen können Messverfahren für  $F_{eq}$  entwickelt werden, die das Ersatzprinzip anwenden [11], [16]. Die Verhaltensweisen der betrachteten Quelle (abgestrahlter Schalldruck- oder Schnellepegel) und einer Ersatzquelle mit bekanntem (gemessenem) Kraftpegel werden durch Messungen bestimmt.

$$L_{F,eq} = L_{F,sub.source} + (L_{source} - L_{sub.source}) \quad \text{dB} \quad (\text{D.6})$$

Als praktische Ersatzquelle kann in einigen Fällen eine Gewindebohrmaschine nach ISO angewendet werden; Anhang F enthält Informationen zum Kraftpegel für diese Quelle, der für Empfangskonstruktionen mit geringer Admittanz relevant ist.

Der charakteristische Körperschalleistungspegel ist und der Kopplungs-Ausdruck ergeben sich daraus nach Gleichung (D.5).

#### D.1.2.4 Wasserversorgungsanlagen

Der Körperschall von Einrichtungen in Wasserversorgungsanlagen wird nach EN ISO 3822 in einem speziellen Prüfstand gemessen und als Schalldruckpegel  $L_{ap}$  der Einrichtung angegeben. Aus dieser Größe können der charakteristische Körperschalleistungspegel und der Kopplungs-Ausdruck abgeleitet werden (wobei der Bezugswert  $Y_{s,ref} = 10^{-3}$  m/Ns als Quellen-Admittanz angenommen werden kann).

$$L_{WS,c} = L_{ap} - 10 \lg \frac{\text{Re}\{Y\}\sigma}{\omega\eta m} - 22 \approx L_{ap} + 65 + 10 \lg(0,01f + 0,5\sqrt{f}) - 30 \text{ dB} \quad (\text{D.7a})$$

$$D_{c,i} = -10 \lg \text{Re}\{Y_i\} - 30 \text{ dB} \quad (\text{D.7b})$$

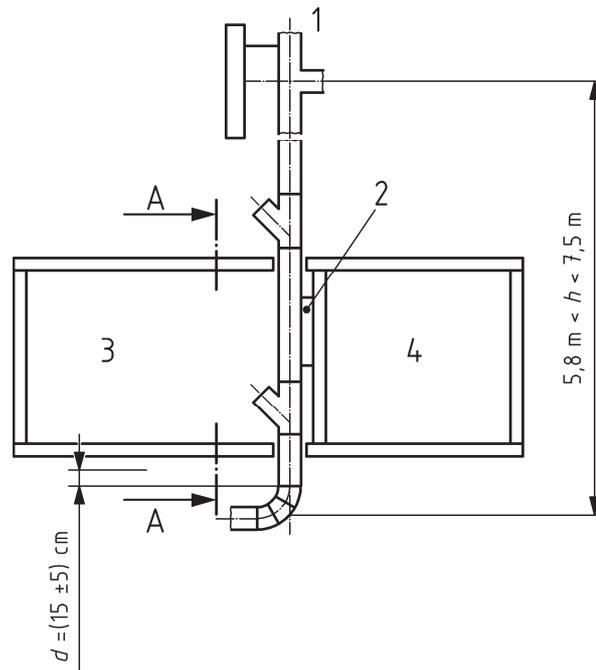
Anhang F enthält Hinweise auf die Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

#### D.1.2.5 Abwasseranlagen

Der in Abwasseranlagen erzeugte Körper- und Luftschall wird bestimmt, indem ein bestimmter Abschnitt der Abwasseranlage in eine genormte Anordnung gebracht und nach einem festgelegten Montageverfahren nach EN 14366 installiert wird; siehe Bild D.2.

Die Anlage wird im Prüfraum (Senderraum) montiert und mit der Prüfwand verbunden. Der Schall im Raum, der als direkt von der Anlage abgestrahlter Luftschall, aber auch als von der Wand abgestrahlter Körperschall erzeugt wird, ist zu messen; der durch den Körperschall geleistete Beitrag wird dann subtrahiert, und das Ergebnis wird als abgeglicherer Luftschalldruckpegel  $L_{an}$  angegeben. Das weitere Vorgehen ist aus Anhang C zu entnehmen.

Für den Körperschall wird die Anlage außerhalb des Prüfraums (Empfangsraums) montiert und mit der Prüfwand verbunden; der gemessene Körperschall entspricht den durch die Befestigungen an der Prüfwand übertragenen und in den Prüfraum abgestrahlten Schwingungen (Flankenübertragungen eingeschlossen). Der durch die Wand hindurch in den Prüfraum übertragene Luftschall wird ebenfalls gemessen (die Anlage wird dazu von der Prüfwand gelöst) und dann, wenn notwendig, subtrahiert. Das in der Norm vorgeschlagene Verfahren ist nur anwendbar, wenn das Rohr eine Kraftquelle ist (was bei der üblichen Konfiguration der Anbringung eines Kunststoffrohres an einer schweren Gebäudekonstruktion der Fall ist), und dann wird ein einfaches Messverfahren angegeben, um diese Anwendbarkeit zu überprüfen. Die akustischen Eigenschaften der Prüfwand werden gemessen und durch die Körperschall-Empfindlichkeit angegeben; der gemessene Körperschall wird nun bezüglich der Differenz der Körperschall-Empfindlichkeit zwischen der verwendeten Prüfwand und einer Bezugswand korrigiert; das Ergebnis wird als charakteristischer Körperschalldruckpegel  $L_{n,sc}$  bezeichnet.



**Legende**

- 1 Einlass
- 2 Befestigungseinrichtung
- 3 Senderraum: linke Seite
- 4 Empfangsraum: rechte Seite

**Bild D.2 — Standard-Prüfanordnung für Abwasseranlagen nach EN 14366**

Die Quelle erzeugt vermutlich nur Kräfte normal zur abstützenden Wand, weil nur der niedrige und mittlere Frequenzbereich betroffen ist (es ist bekannt, dass die Momente einen zunehmenden Beitrag leisten, wenn die Frequenz zunimmt) und weil die Befestigungspunkte üblicherweise außerhalb der Ränder der Wand angeordnet sind (die Momente können selbst bei niedrigen Frequenzen bedeutend werden, wenn die Quelle dicht am Rand einer Platte angeordnet ist); daher kann von einem Freiheitsgrad (Geschwindigkeit normal zur Wand) für die Quelle ausgegangen werden. Außerdem ist die interne Admittanz des Rohres im Allgemeinen viel höher als die Eingangs-Admittanz der abstützenden Wand, und das Rohr kann als Kraftquelle betrachtet werden. Damit kann der Bezugswert  $Y_{s,ref} = 10^{-3}$  m/Ns als Quellen-Admittanz angenommen werden.

Folglich können der charakteristische Körperschalleistungspegel und der Kopplungs-Ausdruck aus dem charakteristischen Körperschalldruckpegel  $L_{sc}$  nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$L_{Ws,c} = L_{sc} - L_{SSR} + 34,7 - 10 \lg f^2 = L_{sc} + 8 \lg f + 23,5 \text{ dB} \tag{D.8a}$$

$$D_{C,i} = -10 \lg \text{Re}\{Y_i\} - 30 \text{ dB} \tag{D.8b}$$

Dabei ist

- $L_{sc}$  der charakteristische Körperschalldruckpegel, der nach EN 14366 ermittelt wird;
- $L_{SSR}$  die Körperschall-Empfindlichkeit des Bezugswand, die in EN 14366 definiert wird.

Anhang F enthält Hinweise auf die Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

### D.1.3 Kraftquelle mit bekannter Quellen-Admittanz

Falls die Quellen-Admittanz besser bekannt ist, können aus den bei der Messung ermittelten Verhaltensdaten andere Berechnungen für die charakteristische Leistung und den Kopplungs-Ausdruck abgeleitet werden.

Als Beispiel wird die Gewindebohrmaschine nach ISO als Kraftquelle mit einer der Masse entsprechenden Quellen-Admittanz ( $M = 0,5 \text{ kg}$ ,  $Y_s = 1/j\omega M$ ) auf übliche Weise auf einem der Platte entsprechenden abstützenden Gebäudeelement  $i$  mit der realen Admittanz  $Y_i = 1/Z_i$  angebracht.

$$L_{WS,c} = L_F - 5 - 10 \lg f \approx 115 \text{ dB} \quad \text{Bezug } 1 \text{ pW} \quad \text{je Terzband} \quad (\text{D.9a})$$

$$D_{C,i} = -10 \lg \omega M Y_i + 10 \lg [1 + (\omega M Y_i)^2] \quad \text{dB} \quad (\text{D.9b})$$

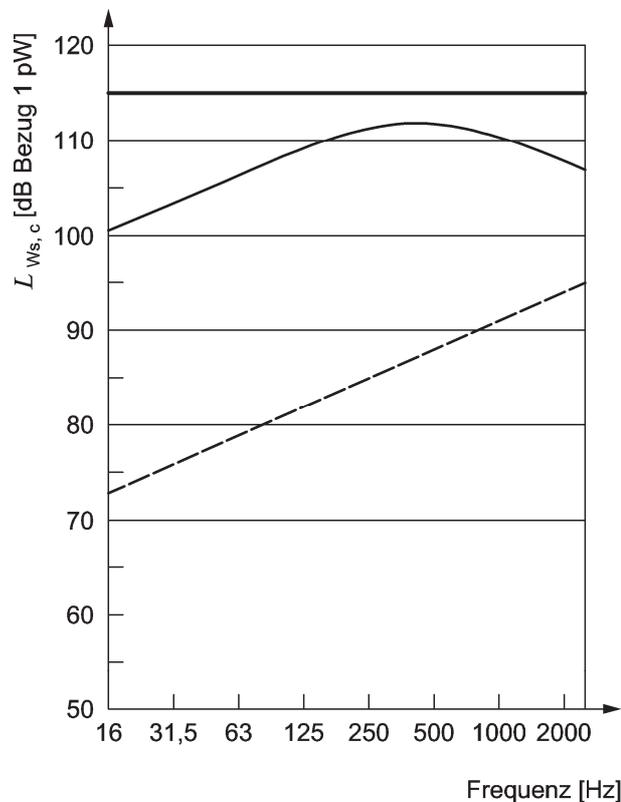
Anhang F gibt Hinweise zur Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

Aus der Kenntnis des Aufbaus der tatsächlichen Quelle können Berechnungen für die tatsächlichen Quellen-Admittanzen angegeben werden. Sie können auf die üblichen Ausdrücke für die Admittanz der wichtigsten Maschinenteile, wie Gesamtmasse, Balken, Platten, Rohre usw. zurückgeführt werden. Für kleine Quellen kann die Gesamtmasse eine realistische Abschätzung der Quellen-Admittanz liefern, für Quellen mit nicht starren Füßen bilden die Steifigkeit dieser Füße und die lokale Masse die Grundlagen für die Quellen-Admittanz. In Tabelle D.1 werden einige Beziehungen für die Admittanz einiger üblicherweise verwendeten Bauteile angegeben, die in diesem Zusammenhang hilfreich sein können.

**Tabelle D.1 — Berechnungen für die Admittanz üblicherweise angewendeter Bauteile**

Art der Gebäude-konstruktion	Zur Beschreibung verwendete Größen	Admittanz ( $ Y $ in $\text{m/N} \cdot \text{s}$ )
Masse	$M$ [kg]	$[2 \pi f M]^{-1}$
Stab-Ende	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ], $c_L$ [m/s], $S$ [m <sup>2</sup> ]	$[2 \rho c_L S]^{-1}$
Balken	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ], $c_L$ [m/s], $t$ [m], $w$ [m],	$[7,6 \rho t w \sqrt{c_L t f}]^{-1}$
Platte	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ], $c_L$ [m/s], $t$ [m]	$[2,3 c_L \rho t^2]^{-1}$
Rohr	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ], $c_L$ [m/s], $t$ [m], $r$ (adius) [m]	$[63 \rho t r \sqrt{c_L r f}]^{-1}$
Federmasse	$M$ [kg], $s$ [N/m], $\eta$ [-]	$\left[ \left( \frac{2\pi f \eta}{s(1+\eta^2)} \right)^2 + \left( \frac{2\pi f}{s(1+\eta^2)} - \frac{1}{2\pi f M} \right) \right]^{1/2}$

Die Quellenleistung und die resultierende installierte Leistung werden für zwei Arten eines abstützenden Elements aus diesen in Bild D.3 dargestellten Gleichungen abgeleitet.



**Legende**

- $L_{Ws,c,A} = 124$  dB
- $L_{Ws,c,A} = 119$  dB
- - - - -  $L_{Ws,c,A} = 102$  dB

**Bild DD.3 — Körperschalleistung der ISO-Gewindebohrmaschine:  
 Ebenfalls angegeben sind die charakteristische Quellenleistung, die installierte Leistung auf Holzboden und die installierte Leistung auf Betonboden sowie die A-bewerteten Leistungspegel**

**D.1.4 Haustechnische Anlagen mit geringer Quellen-Admittanz**

Maschinen mit schwerem, starrem Chassis und/oder Unterlagen können am besten als „Schnellequelle“ durch eine freie Geschwindigkeit des Kontaktpunkts rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement beschrieben werden. Dies ist jedoch nur zutreffend, wenn die Quelle am abstützenden Gebäudeelement elastisch befestigt ist. Wenn mehrere Kontaktpunkte und ein bestimmter Beitrag anderer Freiheitsgrade vorliegen, können diese Quellen weiterhin durch eine Geschwindigkeit beschrieben werden, die repräsentativ für die gesamte komplexe Anregung ist. Diese Geschwindigkeit wird dann als äquivalente Geschwindigkeit  $v_{eq}$  bezeichnet, die rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement wirkt. Diese einfache Beschreibung der Quelle führt zu einem Verhalten, das dem der realen Quelle mit bestimmten festgelegten Einschränkungen „äquivalent“ ist. Die Einschränkungen beziehen sich ebenso auf die Quelle wie auf die abstützende Konstruktion.

ANMERKUNG Entsprechende Messverfahren sind entwickelt worden. ISO 9611 kann ebenfalls angewendet werden.

Für diese Quellen ist die Quellen-Impedanz in Bezug auf alle relevanten Arten von abstützenden Gebäudeelementen sehr hoch, für sie kann ein Bezugs-Wert von  $Z_{s,ref} = 10^6$  m/Ns angenommen werden. Der charakteristische Körperschalleistungspegel ist dann nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$L_{Ws,c} = L_{v,eq} + 10\lg|Z_s| + 10\lg\frac{v_{ref}^2}{W_{ref}} = L_{v,eq} \text{ dB} \quad (D.10a)$$

Der entsprechende Kopplungs-Ausdruck bezieht die Eigenschaften der elastischen Unterstüzungen  $m$  ein, die durch ihre (über die Frequenz gemittelte) und nach EN ISO 10846 gemessene dynamische Transfersteifigkeit  $k_m$  charakterisiert werden, so dass sich die folgende Gleichung ergibt:

$$D_{C,i} = -10\lg\frac{k_m^2}{\omega^2}\text{Re}\{Y_i\} + 60 \text{ dB} \quad (D.10b)$$

Anhang F enthält Hinweise auf die Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

## D.2 Montage mit elastischen Abstützungen

Die Eigenschaften der elastischen Abstützungen/Halterungen (elastische Elemente, Schwingungsdämpfer) können nach ISO 10846 durch die dynamische Transfersteifigkeitsmatrix (sechs Freiheitsgrade) vollständig charakterisiert werden. Für die meisten üblichen Anwendungen in Gebäuden ist jedoch die dynamische Transfersteifigkeit für die üblichen Translationen ausreichend. In EN ISO 10846-2 wird ein direktes Messverfahren beschrieben, das zu der dynamischen Transfersteifigkeit  $k_{2,1}$  oder zu der über die Frequenz gemittelten dynamischen Transfersteifigkeit  $k_{av}$  führt. Diese letzte Größe kann auch als der Pegel der über die Frequenz gemittelten dynamischen Transfersteifigkeit  $L_{kav}$  (dB Bezug 1 N/m) angegeben werden. Unter Anwendung der dynamischen Transfersteifigkeit  $k_m$  der Abstützung kann die Transfer-Admittanz der elastischen Abstützungen folgendermaßen angegeben werden.

$$Y_{k,m} = \frac{j\omega}{k_m} \quad (D.11)$$

Der Kopplungs-Ausdruck der Gleichung (19e) ist dann auf folgende Weise anzugeben:

$$D_{C,i} = 10\lg\frac{|Y_s + Y_i + j\omega/k_m|^2}{|Y_s|\text{Re}\{Y_i\}} \text{ dB} \quad (D.12)$$

Die Differenz zwischen dem Kopplungs-Ausdruck mit elastischen Abstützungen (Gleichung 19e) und ohne elastische Abstützungen (Gleichung 19b) gibt den Einfluss der elastischen Abstützungen an, d. h. die Differenz der übertragenen Leistung (oder die Differenz des aufgebracht Kraftpegels auf das abstützende Element):

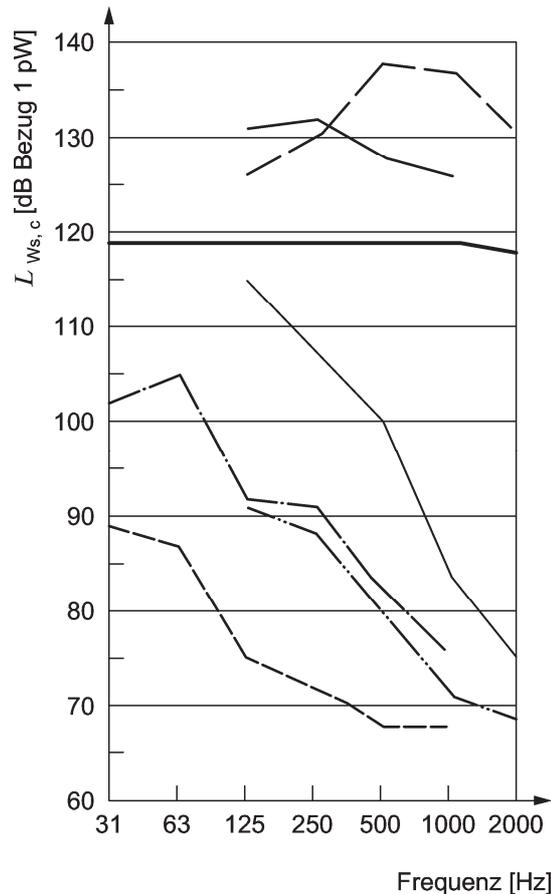
$$\Delta L_{W,inj} = D_{C,i,rigid} - D_{C,i,elastic} = 10\lg\left|1 + \frac{j\omega/k_m}{Y_s + Y_i}\right|^2 \approx 10\lg\left|1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right|^2 \text{ dB} \quad (D.13)$$

Diese Näherungen stehen für ein schweres Stützelement, eine masse-typische Quellen-Impedanz (die eine Resonanzfrequenz von  $\omega_0^2 = k_m/M$  ergibt) und eine ideale elastische Abstützung. Bei in der Praxis angewendeten Abstützungen ist dies bei mittleren und höheren Frequenzen häufig nicht mehr der Fall (innere Resonanzen).

Anhang F enthält Hinweise auf die Berechnung der Admittanz  $Y_i$  der abstützenden Elemente.

### D.3 Berechnung von Daten für Quellenstärke, elastische Abstützungen und Quellen-Admittanz

Für den Körperschall von Quellen und Systemelementen sind gegenwärtig wenig systematische Daten verfügbar. Sie können zukünftig durch Anwendung der Messverfahren gewonnen werden, die zurzeit entwickelt und genormt werden. In Bild D.4 werden Illustrationsbeispiele für den charakteristischen Körperschalleistungspegel für einige Quellen angegeben, die auf Kraft- oder Schnelle-Messungen der Quellen basieren [11], [17], [18]. Diese Daten wurden durch Anwendung der Gleichungen D.5, D.9 bzw. D.10 umgeformt.



#### Legende

- Gewindeschneidmaschine; D.9;  $Z_s = 2\pi f 0,5 \text{ m/Ns}$
- Bohren; D.5;  $Y_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ Ns/m}$
- Waschmaschine Schleudern; D.5;  $Y_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ Ns/m}$
- Geschirrspüler; D.5;  $Y_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ Ns/m}$
- Heizkessel; D.5;  $Y_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ Ns/m}$
- Badewannen-Befüllung; D.5;  $Y_{\text{ref}} = 10^{-3} \text{ Ns/m}$
- Aufzugsmaschine auf elastischen Abstützungen; D.10;  $Z_s = 10^6 \text{ m/Ns}$

**Bild D.4 — Beispiele für charakteristische Körperschalleistungspegel für einige Quellen, abgeleitet aus Messungen der Kraft oder der Geschwindigkeit unter Anwendung der Gleichungen D.5, D.9 und D.10**

## Anhang E (informativ)

### Schallübertragung durch Elemente des Kanals und des Rohrleitungssystems

#### E.1 Einleitung

Die akustischen Eigenschaften der Elemente in einem System bezüglich der Schallübertragung zur Außen-seite und der Schallausbreitung entlang des Kanals werden in Abhängigkeit von der Art des Elements durch mehrere Größen angegeben. Die Eigenschaften können nach den jeweils zutreffenden Normen gemessen werden.

Auf der Grundlage umfassender empirischer und theoretischer Arbeiten geben Handbücher und Richtlinien mehrere Möglichkeiten zur Berechnung des relevanten Schallübertragungsverlusts durch die Elemente. Siehe z. B. VDI 2081 [1], ASHRAE-Handbuch [2] und ARI-Norm [3]. Für das folgende Verfahren werden für einige Elemente die VDI-Richtlinie 2081 und das ASHRAE-Handbuch verwendet.

#### E.2 Schallübertragung durch die Kanalwand

Der Schalldämmkoeffizient  $R_{i0}$  eines Kanals bei der Schallübertragung von innen nach außen wird durch seine Messbeziehung definiert:

$$R_{i0} = L_i - L_o + 10 \lg \frac{4S_d}{A} \quad \text{dB} \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

- $L_i$  der Schalldruckpegel innerhalb des Kanals, in Dezibel;
- $L_o$  der Schalldruckpegel im diffusen Feld des Raumes außerhalb des Kanals, in Dezibel;
- $S_d$  die Gesamtfläche des Kanals, betrachtet vom umschlossenen Raum, in Quadratmeter;
- $A$  die äquivalente Absorptionsfläche in dem Raum außerhalb des Kanals, in Quadratmeter.

Der Schalldämmkoeffizient  $R_{oi}$  eines Kanals bei der Schallübertragung von außen nach innen wird durch seine Messbeziehung definiert:

$$R_{oi} = L_o - L_i + 10 \lg \frac{S_d}{4S_{cd}} \quad \text{dB} \quad (\text{E.2})$$

Dabei ist

- $S_{cd}$  die Querschnittsfläche des Kanals, in Quadratmeter.

**ANMERKUNG** Die Definitionen für den Schalldämmkoeffizient für die beiden durch die Gleichungen E.1 und E.2 festgelegten Übertragungsrichtungen entsprechen den in der VDI verwendeten Definitionen. Im ASHRAE-Handbuch ist die Beziehung für die Schallübertragung nach innen etwas anders (fehlerhaft?) definiert, obwohl die gleiche Beziehung zwischen den beiden Richtungen wie in der VDI-Richtlinie angegeben wird. Im Allgemeinen gibt es eine Beziehung zwischen den beiden Übertragungsrichtungen, die für die angegebenen Definitionen bei höheren Frequenzen auf eine Differenz von 3 dB hinausläuft:  $R_{i0} = R_{oi} + 3$  dB.

Die Schalldämmkoeffizienten in den beiden Übertragungsrichtungen stehen zueinander in einer Beziehung, die mit Hilfe der Kreisfrequenz und in Abhängigkeit vom Werkstoff ( $c_L \approx 5\,000$  m/s für Metall) und vom Kanaldurchmesser  $d$  ( $=\sqrt{4S_{cd}/\pi}$ ); dieser Wert gilt für kreisförmige, aber auch für ovale und rechteckige Querschnitte) durch die folgende Gleichung angegeben wird:

$$R_{oi} = R_{io} - 10 \lg 2 \left( 1 + \frac{2\pi}{k_o^2 S_{cd}} \left( \frac{f_{ref}}{f_R} \right)^2 \right) \quad \text{dB} \quad (\text{E.3})$$

Dabei ist

$k_o$  die Wellenzahl in Luft ( $= 2\pi f_m/c_o$ ), in  $\text{Meter}^{-1}$ ;

$f_R$  die Kreisfrequenz ( $= c_L/\pi d$ ), mit einem Bezugswert von  $f_{ref} = 8\,000$  Hz, in Hertz.

Bei niedrigen Frequenzen wird die Differenz zwischen den beiden Größen kleiner als nach Gleichung E.3 und nähert sich für rechteckige und ovale Kanäle null.

Angaben zu diesen Größen können für verschiedene Arten von Kanälen in VDI 3733 [19] und im ASHREA-Handbuch gefunden werden.

### **E.3 Schallübertragung entlang eines geraden, nicht ausgekleideten Kanals**

Die Verringerung der Schalleistung bei der Ausbreitung entlang eines geraden, nicht ausgekleideten Kanals wird durch die Schallübertragung durch den Kanal zur Außenseite dominiert, die durch den Schalldämmkoeffizient  $R_{io}$  charakterisiert wird. Die Verringerung des Schalleistungspegels je Längeneinheit kann nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$\Delta L'_W = \left( a + 17,37 \cdot 10^{-R_{io}/10} \right) / d \quad (\text{E.4})$$

Dabei ist

$a$  eine Dämmungskonstante, die von der strömenden Flüssigkeit und der Art des Kanals abhängig ist.

Für glatte Kanäle mit starren Wänden wird  $a$  durch die Eigenschaften der Flüssigkeit bestimmt (siehe VDI 3733). Für Gase beim Druck  $p_o$  [Pa] und bei der Temperatur  $T$  [K] kann  $a$  nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$a = 0,15 \sqrt{\frac{f}{p_o}} \left( \frac{T}{293} \right)^{1/4} \quad (\text{E.5})$$

Für Kanäle in Lüftungssystemen führt das zu  $a \approx 0$ , wobei aber hier die Dämpfung im Allgemeinen stärker durch die Kanalwände bestimmt wird; für Kanäle aus Leichtmetall schwankt der Wert zwischen  $a = 0,08$  für kreisförmige Kanäle und  $a = 0,02$  für rechteckige Kanäle.

Für Flüssigkeiten in Rohren mit glatten, starren Wänden gilt nach einer empirischen Berechnung:  $a = 0,06$ .

### **E.4 Schallübertragung entlang eines geraden, ausgekleideten Kanals/Schalldämpfers**

Die Verringerung der Schalleistung bei der Ausbreitung entlang eines geraden, ausgekleideten Kanals wird von der Schallabsorption durch die Auskleidung dominiert, obwohl bei niedrigen Frequenzen die Schallübertragung zur Außenseite noch relevant sein könnte. Für dünne Auskleidungsschichten kann die Verringerung der Schalleistung nach Gleichung (E.4) mit  $a = 17,37 \alpha$  berechnet werden. Angaben zum Absorptionskoeffizienten  $\alpha$  können in EN 12354-6 gefunden werden.

## E.5 Schallübertragung bei wechselnden Kanalquerschnitten

Die Verringerung der Schalleistung bei der Ausbreitung durch wechselnde Kanalquerschnitte hängt vom Querschnittsverhältnis  $r$  und für Querschnittserweiterungen von der Frequenz ab. Für Querschnittserweiterungen ( $r < 1$ ) oder Querschnittsverengungen ( $r > 1$ ) ergibt sich die Schalleistungsverringerung aus der folgenden Gleichung:

$$\Delta L'_{\text{W}} = 10 \lg \frac{(r+1)^2}{4r} \text{ dB}; \text{ für Querschnittserweiterungen und } f > f_p \text{ gilt: } \Delta L'_{\text{W}} = 0 \text{ dB} \quad (\text{E.6})$$

Dabei ist

$r$  das Verhältnis der Querschnittsflächen vor und nach dem Wechsel, ( $S_{\text{before}}/S_{\text{after}}$ );

$f_p$  die obere Frequenz einer ebenen Welle vor dem Wechsel ( $= c_0/2b$  oder  $= 0,586 c_0/d$ ), in Hertz.

## E.6 Schallübertragung an Abzweigungen

Die Verringerung der Schalleistung bei der Ausbreitung des Schalls von einem Kanal in verschiedene Abzweigungen erfolgt in Übereinstimmung mit dem Querschnittsverhältnis:

$$\Delta L'_{\text{W,into } j} = 10 \lg \frac{S_j}{\sum_{j=1}^n S_j} \text{ dB} \quad (\text{E.7})$$

Dabei ist

$S_j$  die Querschnittsfläche des Abzweigs  $j$ , in Quadratmeter;

$n$  die Anzahl der Abzweige, die mit dem Eintritt des Kanals verbunden sind.

Diese Berechnung gilt für niedrige Frequenzen; bei höheren Frequenzen kann an den Abzweigen eine andere Schalleistungsverringerung auftreten.

## E.7 Schallübertragung an Luftdurchlässen und Kanalöffnungen

Die Schallübertragung durch einen Luftdurchlass oder eine Kanalöffnung in einen umschlossenen Raum wird durch den Schallübertragungsverlust  $D_{t,io}$  angegeben, der nach der jeweils zutreffenden Norm gemessen werden kann. Dabei wird die so genannte End-Reflexion eingeschlossen. Falls die Einfügungsdämpfung  $D_i$  des Luftdurchlasses gemessen wird, muss diese End-Reflexion addiert werden. Für eine Öffnung kann die End-Reflexion nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$D_{t,io} = 10 \lg \left[ 1 + \frac{\Omega}{4k_0^2 S_{co}} \right] \text{ dB} \quad (\text{E.8})$$

Dabei ist

$k_0$  die Wellenzahl in Luft ( $= 2 \pi f / c_0$ ), je Meter;

$\Omega$  der freie Festwinkel für die Abstrahlung; für die Raummitte:  $\Omega = 4\pi$ , für die Raumebene:  $\Omega = 2\pi$ , für die Raumkante:  $\Omega = \pi$ , für die Raumecke:  $\Omega = \pi/2$ , in Radiant;

$S_{co}$  die Querschnittsfläche der Kanalöffnung, in Quadratmeter.

Die Schallübertragung in der entgegengesetzten Richtung, aus einem umschlossenen Raum in den Kanal, wird durch den Übertragungsverlust  $D_{t,oi}$  angegeben, der bei Bestimmung für einen Festwinkel  $\Omega$  nach der folgenden Gleichung direkt aus  $D_{t,io}$  berechnet werden kann:

$$D_{t,oi} = 10 \lg \left( 2 \times 10^{D_{t,io}/10} - 1 \right) - 10 \lg \left( 1,6 + \frac{\Omega}{2k_0^2 S_{co}} \right) \quad \text{dB} \quad (\text{E.9})$$

## **E.8 Schallübertragung durch Abstrahlung an Öffnungen**

Der Schalldruckpegel im Direktfeld und im Nachschallfeld wird durch in unmittelbare Nähe vorhandene reflektierende Raumgrenzen beeinflusst. Bei niedrigen Frequenzen ist der Schalldruckpegel auf einfache Weise mit Hilfe des Richtfaktors des Festwinkels  $D_\Omega$  anzugeben (siehe EN ISO 12354-4), bei höheren Frequenzen verringert er sich jedoch auf 0 dB.

$$D_\Omega = 10 \lg \frac{4\pi}{\Omega} \quad \text{dB} \quad (\text{E.10a})$$

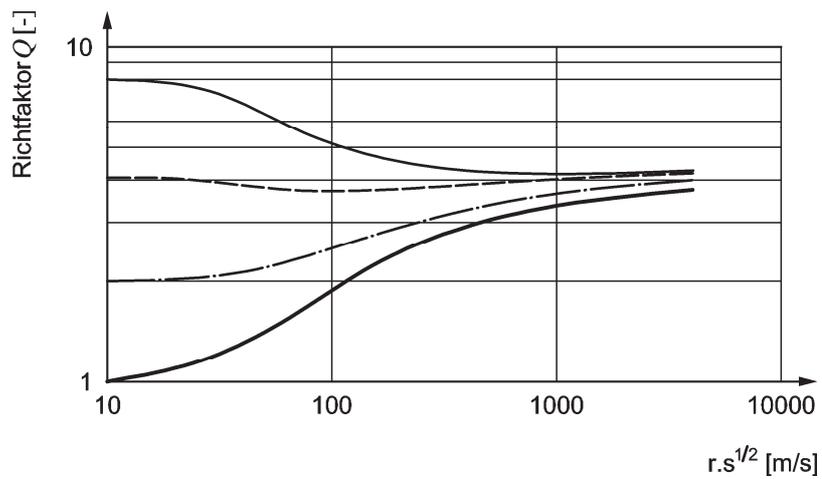
**ANMERKUNG** Die Berechnung dieser Größe kann realistischer durchgeführt werden, wenn die Frequenz berücksichtigt wird. Für eine Öffnung, die zu einer Ebene einen bestimmten Abstand  $x$  hat, ist der Schalldruckpegel nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$D_\Omega = 10 \lg \left[ 1 + \frac{\sin(2k_0 x)}{2k_0 x} \right] \quad \text{dB} \quad (\text{E.10b})$$

wobei Schwankungen auftreten, die bei niedrigen Frequenzen 3 dB und bei hohen Frequenzen 0 dB betragen. Für andere Positionen sind vergleichbare Berechnungen ebenfalls möglich; siehe auch EN 12354-3, Anhang D.

Der Schalldruckpegel, der auf das abgestrahlte Direktfeld einer Öffnung zurückzuführen ist, wird außerdem durch die häufig ziemlich ausgeprägte Richtwirkung der Öffnungen beeinflusst. Das gilt besonders für höhere Frequenzen, die pauschal über  $f > 5/\sqrt{S_{co}}$  liegen, und der Richtfaktor  $Q$  kann für Winkel von  $0^\circ$  bis  $45^\circ$  einen Wert zwischen 4 und 8 erreichen.

Oftmals werden diese beiden Einflüsse zu einem effektiven Richtfaktor zusammengefasst, obwohl dies nur dann korrekt zu sein scheint, wenn das Direktfeld dominant ist und die an der Öffnung auftretende Schallverringernung gemessen wird, wenn sich die Öffnung in einer reflexionsfreien Position befindet. Als Beispiel wird ein Bild aus VDI 2081 übernommen, das die Abstrahlung unter einem Winkel von  $45^\circ$  darstellt.



**Legende**

—————	In der Mitte
—————	In einer Ecke
- - - - -	Nahe am Rand
- . - . -	In der Ebene

**Bild E.1 — Richtfaktor  $Q$  in einem Raum für eine Abstrahlung unter  $45^\circ$  an einer Öffnung, die verschiedene Positionen einnehmen kann, als Funktion ihrer Fläche und der Frequenz; mit Kombination der Einflüsse aus der Richtwirkung der Öffnung und der Nähe reflektierender Flächen [aus VDI 2081]**

Für den mittleren Schalldruckpegel in einem Raum, der nach EN ISO 16032 definiert wird, ist nur das Nachhallfeld relevant und damit nur die nach Gleichung (10) zu bestimmende Richtwirkung.

## Anhang F (informativ)

### Schallübertragung in Gebäuden

#### F.1 Schallübertragung über die Verbindungsstellen

Die Bestimmung von  $R_{ij}$  aus Daten für Elemente und Verbindungsstellen wird in EN 12354-1 beschrieben. Die Übertragung über die Verbindungsstellen wird durch den Schnelle-Dämmkoeffizient  $K_{ij}$  angegeben. In EN 12354-1 wird die Übertragung für zwei benachbarte Räume beschrieben. Bei der Übertragung des von haustechnischen Anlagen ausgehenden Schalls kann jedoch der relevante Empfangsraum über einige Verbindungsstellen hinweg vom Senderraum entfernt sein. Aber auch in diesen Fällen können unter Beachtung der folgenden Erläuterungen die gleichen Gleichungen angewendet werden, die für alle Übertragungswege gelten:

- $K_{ij}$  ist nicht mehr die invariante Größe für eine Verbindungsstelle, sondern sollte so verstanden werden, dass es die Übertragung über alle Verbindungsstellen im jeweiligen Übertragungsweg erfasst;
- die zur Übertragung durch BiegeWellen zusätzliche Schallübertragung durch andere Wellenarten muss ausreichend berücksichtigt werden, wozu ein Anpassungs-Ausdruck  $\Delta K$  verwendet werden kann.

Es muss auch erkannt werden, dass in diesem Fall mehrere Übertragungswege zwischen dem Element  $i$  und dem Element  $j$  nachgewiesen werden können, die alle zu berücksichtigen sind, entweder gesondert oder nachdem sie zu einem effektiven Dämmkoeffizienten  $R_{ij,ref}$  zusammengefasst wurden. Dann kann der äquivalente Schnelldämmkoeffizient für einen bestimmten Übertragungsweg zwischen dem Element  $i$  und dem Element  $j$  über mehrere Verbindungsstellen hinweg nach der folgenden Gleichung (F.1) berechnet werden:

$$K_{ij} = \frac{D_{v,ij} + D_{v,ji}}{2} + 10 \lg \frac{\sqrt{l_{i,i+1} l_{j,j-1}}}{\sqrt{a_i a_j}} = \sum_{k=i}^{j-1} K_{k,k+1} - 10 \lg \frac{\sqrt{l_{i,i+1} l_{j-1,j}}}{\prod_{k=i+1}^{j-1} a_k} - \Delta K \quad \text{dB} \quad (\text{F.1})$$

Dabei ist

$l_{i,j}$  die Länge der Kopplung zwischen den Elementen  $i$  und  $j$ , in Meter;

$a_i, a_j, a_k$  die äquivalente Absorptionslänge des Elements  $i, j$  und  $k$ , in Meter;

$\Delta K$  der Ausdruck zur Anpassung des Schnelle-Dämmkoeffizienten, der die auf andere Wellenarten als BiegeWellen zurückzuführende geringere Dämmung berücksichtigt, in Dezibel.

Bei einer ersten Berechnung, die für stark gedämmte und/oder nicht zu kleine Elemente geeignet ist, kann die äquivalente Absorptionslänge für die Zwischenelemente zahlenmäßig der Fläche dieser Elemente gleichgesetzt werden.

Auf der Grundlage von veröffentlichten Daten kann der Wert für den Anpassungs-Ausdruck als  $\Delta K = 4$  dB für zwei Verbindungsstellen und  $\Delta K = 6$  dB für drei oder mehr Verbindungsstellen berechnet werden; der resultierende Wert für  $K_{ij}$ , der die gesamte Körperschallübertragung repräsentiert, sollte im Allgemeinen nicht weniger als  $-5$  dB betragen [20].

Wenn sehr viele Übertragungswege existieren, kann die Anwendung eines vollständigen SEA-Modells zweckdienlicher sein, sofern die betrachteten Elemente in dieses Prognoseschema passen [21]. Bei Anwendung des SEA-Modells sollte beachtet werden, dass es eine direkte Verknüpfung zwischen diesen Größen und den im SEA-Modell für die Schallübertragung angewendeten Dämmfaktoren gibt. Für eine einzige Verbindungsstelle wird die Beziehung zum Koppeldämmfaktor  $\eta_{ij}$  in Gleichung (F.2a) und für mehrere Verbindungsstellen in Kombination mit Gleichung (F.2b) angegeben:

$$K_{ij} = -10 \lg \eta_{ij} \frac{\pi^2 S_i}{c_0 l_{ij}} \sqrt{\frac{f_{c,i}}{f_{c,j}}} \sqrt{f_{\text{ref}} f} \quad \text{dB} \quad (\text{F.2a})$$

$$\eta_{ij} = \frac{\eta_{i,i+1} \eta_{i+1,i+2} \dots \eta_{j-2,j-1} \eta_{j-1,j}}{\eta_{i+1}^* \eta_{i+2}^* \dots \eta_{j-2}^* \eta_{j-1}^*} \quad (\text{F.2b})$$

Dabei ist

$\eta_{ij}$  der Koppeldämmfaktor zwischen Element  $i$  und Element  $j$ ;

$\eta_i^*$  der Gesamtdämmfaktor für Element  $i$  ( $= 2,2 / f T_{s,i}$ );

$l_{ij}$  die Koppellänge zwischen Element  $i$  und Element  $j$  (eine Verbindungsstelle) oder zwischen Element  $i$  und Element  $i + 1$  (mehrere Verbindungsstellen);

$f_c$  die kritische Frequenz des Elements, in Hertz.

## F.2 Anpassungs-Ausdruck

Für die Körperschallübertragung ist der nach Gleichung (18) definierte Anpassungs-Ausdruck  $D_{sa}$  relevant. Er beschreibt das Verhältnis der übertragenen Körperschalleistung zur eintretenden Luftschalleistung, das für das betrachtete Element zur gleichen Energie für die freien Schwingungen führt.

Für eine Anregung, die im Wesentlichen eine Kraftanregung rechtwinklig zum abstützenden Gebäudeelement ist, und für ein abstützendes Gebäudeelement, das als homogen angesehen werden kann, kann der Anpassungs-Ausdruck des abstützenden Elements unter Anwendung der Gleichungen aus EN 12354-1:2000, Anhang B in der folgenden Form angegeben werden:

$$D_{sa,i} = 10 \lg \frac{400 f_{c,i} \sigma_i}{m_i f^2} \quad \text{dB} \quad (\text{F.3})$$

Dabei ist

$f_{c,i}$  die kritische Frequenz des Elements  $i$ , in Hertz;

$\sigma_i$  der Abstrahlungsfaktor des Elements  $i$ ;

$m_i$  die Flächenmasse des Elements  $i$ , in Kilogramm je Quadratmeter;

$f$  die Mittenfrequenz des Frequenzbands, in Hertz.

Diese Gleichung ist für Frequenzen oberhalb der kritischen Frequenz  $f_c$  ( $\sigma_i \approx 1$ ) exakt und für den gesamten Frequenzbereich eine gute Näherung. Der Abstrahlungsfaktor des Elements kann nach EN 12354-1:2000, Anhang B berechnet werden.

### F.3 Admittanz der abstützenden Gebäudeelemente

#### F.3.1 Im Wesentlichen homogene Elemente

Oberhalb der niedrigsten Resonanzfrequenz  $f_{11}$  ist die Admittanz im Wesentlichen eine reale Größe, die durch die Flächenmasse  $m$  und das Biegemoment  $B'$  bestimmt wird [22]. Für ein großes Element  $l$  ergibt sich (im mittleren Bereich eines Elements) die Admittanz aus der folgenden Gleichung:

$$Y_i = Y_{i,\infty} = \frac{1}{8\sqrt{mB'}} = [2,3c_L\rho t^2]^{-1} \approx [150\ 000t / f_c]^{-1} \quad (\text{F.4})$$

Dabei ist

- $f_c$  die kritische Frequenz des Elements  $i$ , in Hertz;
- $m$  die Flächenmasse des Elements, in Kilogramm je Quadratmeter;
- $\rho$  die (effektive) Dichte des Elements, in Kilogramm je Kubikmeter;
- $c_L$  die Geschwindigkeit des Elements in Längsrichtung, in Meter je Sekunde;
- $t$  die Dicke des Elements, in Meter.

Wenn von einer einfach unterstützten Platte ausgegangen wird, ist die Resonanzfrequenz nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$f_{11} = \frac{c_0^2}{4f_c} \left( \frac{1}{l_1^2} + \frac{1}{l_2^2} \right) \quad (\text{F.5})$$

Dabei ist

- $l_1, l_2$  die Länge und Breite des Elements, in Meter.

Die Platte wird möglicherweise nicht wirksam von einfachen nichtstarrten Abstützungen, also leichten Balken gestützt, was zu einer niedrigeren Resonanzfrequenz führt.

Unterhalb der Resonanzfrequenz wird die Admittanz eine komplexe Größe; sie wird aus der Steifigkeit der Abstützung des Elements bestimmt.

Bei in mehreren Lagen angeordneten Platten wird die Admittanz nach der gleichen Gleichung unter Anwendung der effektiven Flächenmasse und des Biegemoments bestimmt.

#### F.3.2 Elemente mit Balken

Elemente mit Balken zeigen in unterschiedlichen Frequenzbereichen in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz für das Schallfeld der Platte zwischen den Balken ein unterschiedliches Verhalten (F.5) [23]:

$f < f_{11}$  Anwendung von (F.4) mit der effektiven Gesamt-Biegesteifigkeit  $B'_{\text{eff}} = \sqrt{B'_x B'_y}$  und der Masse;

$f > f_{11}$  Anregung zwischen den Balken: Anwendung von (F.4) für das Schallfeld der Platte

Anregung an den Balken: Anwendung des effektiven  $B'$  und der  $m$  des T-Stücks oder

$$Y_{\text{Balken}} = \left( 4m_b b \sqrt{\omega \sqrt{B'_b / m_b}} \right)^{-1}$$

### F.3.3 Anregung in der Nähe von Rändern und Ecken

Nach [24] ist die Admittanz in der Nähe von Rändern wie folgt gegeben:

**Starre Kante im Abstand  $a$**

$$\operatorname{Re}\{Y_i\} = \operatorname{Re}\{Y_{i,\infty}\}[1 - J_0(2k_B a)] \approx \operatorname{Re}\{Y_{i,\infty}\} \left[ (k_B a)^2 - \frac{1}{4} (k_B a)^4 \right] \quad \text{für } k_B a \leq 1 \quad (\text{F.6a})$$

**Starre Ecke im Abstand  $a, b$**

$$\begin{aligned} \operatorname{Re}\{Y_i\} &= \operatorname{Re}\{Y_{i,\infty}\} [1 - J_0(2k_B a) - J_0(2k_B b) + J_0(2k_B \sqrt{a^2 + b^2})] \\ &\approx \operatorname{Re}\{Y_{i,\infty}\} \frac{(k_B a)^4}{2} \left( \frac{b}{a} \right)^2 \quad \text{für } k_B a \leq 1 \end{aligned} \quad (\text{F.6b})$$

## F.4 Messung der Übertragung des Gesamtschalls

### F.4.1 Luftschallübertragung

Die gesamte Luftschallübertragung durch das Gebäude kann auch aus Messungen nach EN ISO 140-4 bestimmt und z. B. als die abgeglichene Pegeldifferenz  $D_n$  zwischen Sende- und Empfangsraum angegeben werden. Daraus kann der gesamte abgeglichene Schalldruck einer Luftschallquelle in den Fällen berechnet werden, in denen alle Flächen im Senderaum nur durch das diffuse Schallfeld angeregt werden. Dann gilt für jede Fläche  $i$  für  $D_{si} = 10 \lg S_i/A_s$ , und die Gleichungen (12) und (13) können auf folgende Weise kombiniert werden:

$$L_{n,a} = L_W - 10 \lg \frac{A_s}{4} + 10 \lg \sum_{i,j} 10^{-R_{ij}/10} = L_W - 10 \lg \frac{A_s}{4} - D_n \quad \text{dB} \quad (\text{F.7})$$

Dabei ist

- $L_{n,a}$  der abgeglichene Schalldruckpegel infolge der Luftschallübertragung, in Dezibel, Bezug 20  $\mu\text{Pa}$ ;
- $L_W$  der Schalleistungspegel der Quelle, in Dezibel, Bezug 1  $\text{pW}$ ;
- $A_s$  die äquivalente Absorptionsfläche im Senderaum, in Quadratmeter;
- $R_{ij}$  der Flankenschalldämmkoeffizient für den Übertragungsweg  $ij$ , in Dezibel;
- $D_n$  die Differenz der abgeglichenen Schalldruckpegel von Sende- und Empfangsraum, in Dezibel.

In einigen Fällen kann es von Vorteil sein, die Übertragung in der entgegengesetzten Richtung zu messen, d. h. vom Empfangs- zum Senderaum. Die Differenz für den abgeglichenen Pegel ist dann nach der folgenden Gleichung zu berechnen:

$$D_n^{\text{reci}} = L_r - L_s - 10 \lg \frac{A_{\text{source}}}{A_{\text{ref}}} \quad (\text{F.8})$$

Dabei ist

- $D_n^{\text{reci}}$  der reziprok gemessene abgeglichene Schalldruckpegel, in Dezibel, Bezug 20  $\mu\text{Pa}$ ;
- $L_r$  der Schalldruckpegel im Empfangsraum, der durch die Schallquelle in diesem Raum erzeugt wird, in Dezibel, Bezug 1  $\text{pW}$ ;
- $L_s$  der Schalldruckpegel im Senderraum, der als Empfangsraum benutzt wird, in Dezibel, Bezug 20  $\mu\text{Pa}$ ;
- $A_{\text{source}}$  die äquivalente Absorptionsfläche im Senderraum, in Quadratmeter.

#### F.4.2 Körperschallübertragung

Die gesamte Körperschallübertragung durch das Gebäude kann auch aus Messungen abgeleitet werden. In Übereinstimmung mit den Messungen unter Anwendung der ISO entsprechenden Gewindebohrmaschine nach EN ISO 140-7 kann die Schallübertragung als Differenz des abgeglichenen Kraft- und Schalldruckpegels  $D_{Fp,n}$  angegeben werden:

$$D_{Fp,n} = L_F - L_r - 10 \lg \frac{A}{A_{\text{ref}}} \quad (\text{F.9})$$

Dabei ist

- $D_{Fp,n}$  die Differenz der abgeglichenen Pegel der aufgetragenen Kraft im Senderraum und dem Schalldruck im Empfangsraum, in Dezibel;
- $L_F$  der Kraftpegel im Senderraum, in Dezibel, Bezug 1  $\text{pN}$ ;
- $L_r$  der Schalldruckpegel im Empfangsraum, in Dezibel, Bezug 20  $\mu\text{Pa}$ ;
- $A$  die äquivalente Absorptionsfläche im Empfangsraum, in Quadratmeter.

Anstelle eines elektrodynamischen Mixers kann in einigen Fällen auch die Gewindebohrmaschine verwendet werden. Dann kann der Kraftpegel in Oktavbändern entsprechend den Daten in Tabelle F.1 angegeben werden. Bis etwa 1 000 Hz entspricht dies  $L_F = 10 \lg 2,5f/10^{-12}$  dB Bezug 1  $\text{pN}$  oder  $L_F = 10 \lg 0,8f/10^{-12}$  dB Bezug 1  $\text{pN}$  für Terzbänder, nahe den theoretisch zu erwartenden Werten [22].

**Tabelle F.1 — Kraftpegel  $L_F$ , Bezug 1  $\text{pN}$ , in Oktavbändern für die ISO-Gewindebohrmaschine**

Oktavband mit Mittenfrequenz, in Hz							
31	63	125	250	500	1000	2000	4000
139	142	145	148	151	154	156	156

Wenn der Körperschall als Kraftquelle angesehen werden kann, die in Messposition an der Gebäudekonstruktion angebracht ist, können die Gleichungen (18) und (19c) auf folgende Weise kombiniert werden:

$$L_{n,s} = L_{Ws,c} + 30 - D_{Fp,n} \quad \text{dB} \quad (\text{F.10})$$

Für Körperschall ist es im Allgemeinen besser praktikabel, die Schallübertragung in der entgegengesetzten Richtung zu messen, d. h. die Schalleistung wird im Empfangsraum erzeugt, und der Schnellepegel wird an der/den Anregungsposition(en) im Senderaum gemessen. Die Pegeldifferenz kann nach der folgenden Gleichung berechnet werden:

$$D_{Fp,n}^{\text{reci}} = L_r - L_{v,s} - 10 \lg f^2 + 109,5 \quad (\text{F.11})$$

Dabei ist

- $D_{Fp,n}^{\text{reci}}$  die Differenz der abgeglichenen Pegel der im Senderaum aufgebracht Kraft und des Schalldrucks im Empfangsraum bei der reziproken Messung, in Dezibel;
- $L_{v,s}$  der Schnellepegel an der Position im Senderaum, in dem im Allgemeinen die Kraft aufgebracht wird, in Dezibel, Bezug  $10^{-9}$  m/s;
- $L_r$  der Schalldruckpegel im Empfangsraum, der auf die Luftschallquelle in diesem Raum zurückzuführen ist, in Dezibel, Bezug  $20 \mu\text{Pa}$ ;
- $f$  die Mittenfrequenz des Frequenzbands, in Hertz.

## Anhang G (informativ)

### Schallpegel bei niedrigen Frequenzen

Die Schalldruckpegel in einem Raum, die auf eine abstrahlende Schallquelle oder ein Gebäudeelement zurückzuführen sind und nach EN ISO 16032 gemessen werden, sind eine Abschätzung für den Mittelwert im gesamten Raum mit Ausnahme der Fläche, die innerhalb von 0,5 m von den Raumgrenzen liegt, auch bei niedrigen Frequenzen.

Die Schalldruckpegel in einem Raum zeigen jedoch bei niedrigen Frequenzen große Schwankungen in Abhängigkeit von der Position, wobei die Standardabweichung pauschal umgekehrt proportional zur modalen Dichte ist [25], [26], [27], [28]. Die Schwankung des im Raum vorhandenen Schalldruckpegels wird bei niedrigen Frequenzen in Oktavbändern durch eine Standardabweichung in der folgenden Größenordnung charakterisiert:

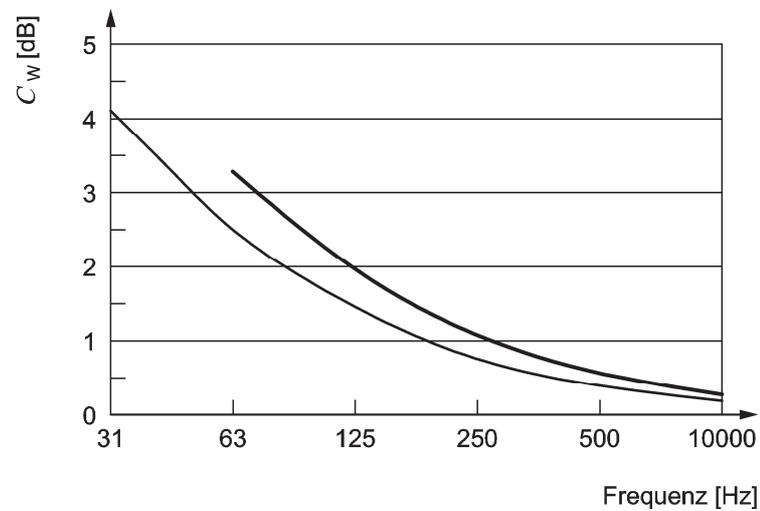
$$\sigma_{p,\text{oct}} \approx (1 + 0,2/n(f)) \text{ wobei gilt: } n(f) = \frac{4\pi Vf^2}{c_o^3} + \frac{\pi S_t f}{2c_o^2} + \frac{L}{8c_o} \quad (\text{G.1})$$

Dabei ist

- $\sigma_{p,\text{oct}}$  die Standardabweichung des Schalldruckpegels in Oktavbändern, in Dezibel;
- $n(f)$  die modale Dichte je Hertz;
- $c_o$  die Schallgeschwindigkeit in Luft ( $c_o \approx 340$  m/s), in Meter je Sekunde;
- $V$  das Volumen des Raumes, in Kubikmeter;
- $S_t$  die Gesamtfläche der Raumgrenzen, in Quadratmeter;
- $L$  die Gesamtlänge der Kanten des Raumes, in Meter;
- $f$  die Mittenfrequenz des Oktavbands, in Hertz.

Bedingt durch die Art der Modenformen in Räumen bewirkt diese Schwankung, dass in der Raummitte ein systematisch niedrigerer Druckpegel im Vergleich zum Mittelwert für den gesamten Raum bestimmt wird. Diese Differenz kann durch die so genannte Waterhouse-Korrektur berücksichtigt werden; siehe Gleichung G.2 und Darstellung in Bild G.1 für zwei rechteckige Räume mit geringer Stockwerkshöhe. Erfahrungen haben jedoch gezeigt, dass die Differenz in Oktavbändern im Allgemeinen kleiner und für die Raummitte mindestens 2 m von den Wänden dichter an der Hälfte dieser Werte ist.

$$C_W = 10 \lg \left[ 1 + \frac{c_o S_t}{8 f V} \right] \text{ dB} \quad (\text{G.2})$$



**Legende**

- 50 m<sup>3</sup>
- 200 m<sup>3</sup>

**Bild G.1 — Waterhouse-Korrektur in Dezibel, für zwei rechteckige Räume mit geringer Stockwerkshöhe**

Die nach dieser Norm berechneten Schalldruckpegel basieren auf der Theorie des diffusen Schallfelds, auch bei niedrigen Frequenzen. Bei mehreren Untersuchungen wurden Hinweise darauf gefunden, dass diese Schallpegel den Mittelwert für den gemessenen Raum bei niedrigen Frequenzen überschätzen. Die bei niedrigen Frequenzen berechneten Schalldruckpegel sind daher sicherer, wobei Gleichung G.1 einen Hinweis auf die Sicherheitsgrenze angibt.

## Anhang H (informativ)

### Richtlinie für die Planung von Systemen für haustechnische Anlagen

#### H.1 Allgemeines

Im Rahmen der Konzipierung eines Raumes für haustechnische Anlagen ist für seine Lage im Gebäude und in Bezug zu den Gebäudekonstruktionen oftmals in einem sehr frühen Stadium der Planung, in dem noch keine detaillierten Angaben vorliegen, ein Überblick zu geben. In diesem Stadium kann die Durchführung exakter Berechnungen schwierig sein. Um einige Entscheidungen zur Bauausführung zu erleichtern, dürfen die nachfolgend beschriebenen Faustregeln angewendet werden. Die Angaben erfolgen für ein Lüftungssystem, sind aber global auch auf andere vergleichbare Räume für haustechnische Anlagen anwendbar (d. h. Räume für Heizungsanlagen, Aufzugsanlagen usw.).

#### H.2 Auswahl der Einrichtung

Es ist wichtig, dass die Druck- und Durchflussdaten der Lüftungseinheit und des Kanalsystems hinsichtlich des Schalls optimiert werden. Ein kompliziertes Kanalsystem mit vielen Bögen und wechselnden Querschnittsmaßen verursacht einen großen Druckabfall, und das Gebläse muss bei hohem Druck arbeiten. Der Betrieb bei hohem Druck und unzureichende Bedingungen für den Luftdurchfluss verursachen hohe Schallpegel und Schwingungen der Kanäle sowie Körperschall. Als Faustregel gilt, dass oftmals die energieeffizienteste Betriebsart auch die leiseste ist. Ein geräuscharmes Lüftungssystem umfasst im Allgemeinen Kanäle mit großem Querschnitt, Rohrbogen mit mäßigen Radien, Diffuser für den Luftdurchfluss, Platz für Druckverteilungskammern vor und hinter dem Gebläse und einen Schalldämpfer, der für Niederdruckverluste ausgelegt ist. Es ist kosteneffizient, unterschiedliche Arten von Einheiten und Kanalgestaltungen zu vergleichen, wobei zu berücksichtigen ist, dass die von der Einheit und von den Kanälen ausgehende Schallemission zu unterschiedlichen Anforderungen an die Schall- und Schwingungsdämpfung der Gebäudekonstruktion führt.

Ein Wartungsplan sollte zu dem Zweck einbezogen werden, um eine Erhöhung der Schallpegel dadurch zu vermeiden, dass Teile der Einrichtung nicht optimal arbeiten, z. B. regelmäßiger Ersatz von Luftfiltern und Auswuchtung der Kraftübertragungsleitung. Alterung, besonders durch chemische oder korrosive Substanzen, kann die Eigenschaften der Schwingungsdämpfer beeinträchtigen, so dass regelmäßige Funktionsprüfungen empfohlen werden.

#### H.3 Lage des Raums für haustechnische Anlagen und Lage der Lüftungseinheit

Nach Möglichkeit sind Räume für haustechnische Anlagen außerhalb der Bereiche mit hoher Schallempfindlichkeit anzuordnen. Kleine Lagerräume, WC usw. können bewirken, dass die Luftschallübertragung verringert wird.

Für haustechnische Anlagen ist ein großer Raum zu bevorzugen. Die Lüftungseinheit ist nicht an Platten und Wänden anzubringen. Sie sollte vorzugsweise so angeordnet werden, dass sie von allen Seiten zugänglich ist. Die Hauptschalldämpfer sind in unmittelbarer Nähe der Lüftungseinheit anzubringen. Die Form der Kanäle ist so auszuwählen, dass sich in den Kanälen ein effizienter Luftdurchfluss mit minimalem Druckverlust ergibt. Im Hauptkanal sind Abzweigungen und scharfe Bögen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Kanäle mit rechteckigem Querschnitt haben eine wesentlich geringere Schalldämmung als Kanäle mit kreisförmigem Querschnitt. Um eine Schallübertragung auf andere Räume zu verhindern, sollten Kanäle mit rechteckigem Querschnitt nicht in der Nähe von Leichtbau-Wänden oder abgehängten Decken, sondern in geschlossenen Schachträumen mit ausreichender Schalldämmung verlegt werden.

Für ins Freie führende Luftein- und -auslassöffnungen sollte beachtet werden, dass benachbarte Gebäude nicht durch übermäßige Schallpegel, die nach EN 12354-4 bewertet werden können, beansprucht werden. Zur Verringerung der Schalllexponierung dürfen Schalldämpfer und Abschirmungen eingesetzt werden.

#### H.4 Luftschalldämmung des Raums für die haustechnischen Anlagen

Die Platten und Wände des Raumes sind vorzugsweise aus schweren Baustoffen herzustellen, z. B. aus Stein, Beton usw.

Falls Leichtbau-Doppelwände angewendet werden, sollten sie so gestaltet sein, dass ihre grundlegende Resonanzfrequenz deutlich unter den Basisfrequenzen der Lüftungseinheit liegt. Das kann erreicht werden, indem eine große Flächenmasse (z. B. 3 bis 5 Lagen Gipskartonplatten auf jeder Seite), elastische Stützen oder Kanäle, große Luftspalte und die maximale Menge des zur Schallabsorption eingebrachten Materials angewendet werden.

#### H.5 Körperschall- und Schwingungsdämmung

##### H.5.1 Schwere Konstruktionen

Es gilt die Faustregel, dass die Masse des Teils der Platte unter und dicht an der Lüftungseinheit (die in etwa die Oberfläche der Einheit abdeckt) die Masse der Lüftungseinheit überschreiten sollte. Die Masse der Platte darf durch eine zusätzliche Betonschicht vergrößert werden, oder es darf eine Lüftungseinheit ausgewählt werden, die eine geringere Masse hat. Im Allgemeinen wird vorzugsweise eine Betonplatte von 220 mm bis 250 mm angewendet.

Die Resonanzfrequenzen der Platte ( $f_{\text{structure}}$ ) sollten unter Berücksichtigung der kombinierten Massen der Lüftungseinheit und der Platte berechnet werden, wie auch zur Berechnung der Steifigkeit der Platte die Spannweiten und die Bewegungsbeschränkung an den Abstützungen berücksichtigt werden sollten. Die erste Resonanzfrequenz sollte höher sein als die Rotationsfrequenz der Lüftungseinheit ( $f_{\text{unit}}$ ) unter Berücksichtigung der verschiedenen Drehzahlen des Motors, des Gebläses, des Kühlkompressors, der Pumpen usw. Die Resonanzfrequenz der Schalldämmeinrichtungen ( $f_{\text{isol}}$ ) sollte auch niedriger sein, etwa  $f_{\text{isol}} < f_{\text{unit}}/4$ . Die Resonanzfrequenzen dürfen nicht übereinstimmen. Die Masse der Lüftungseinheit darf von den Ständern unterschiedlich aufgenommen werden. Die Masse jedes Ständers verursacht eine statische Durchbiegung  $b$  des Schalldämmelements, die  $320/b f_{\text{isol}}^2$  (mm) entspricht. Die Durchbiegung der Schalldämmelemente sollte auf etwa 25 mm für Stahlfedern und 12 mm für Dämmelemente aus Gummi maximiert werden. Das entspricht einem Minimum von  $f_{\text{isol}}$  von 3,6 Hz bzw. 5,2 Hz.

##### H.5.2 Leichtbau-Konstruktionen

Lüftungseinheiten sollten nicht direkt auf schwimmenden Fußböden, Gasbetonplatten, Holzbalkenböden oder Konstruktionen aus Stahlplatten montiert werden. Zur Aufnahme der Lüftungseinheit wird eine separate Konstruktion empfohlen, die so steif wie möglich ist (Stahlprofile mit hohem Trägheitsmoment). Die Abstützungen der Rahmen sollten Wände mit großer Masse oder starre Säulen sein, die keinen starren baulichen Kontakt zu anderen Teilen der Gebäudekonstruktion haben. Selbst kleine Kontaktpunkte können Körperschall im Gebäude hervorrufen. In einigen Fällen kann es günstig sein, die Einheit elastisch an der Dachkonstruktion aufzuhängen.

Schwingungsdämpfende Einrichtungen werden so gestaltet, dass ihre grundlegende Resonanzfrequenz  $f_{\text{isol}}$  mindestens 3-mal kleiner ist als der Resonanzfrequenz  $f_{\text{structure}}$  der Konstruktion. Schwingungsdämpfende Einrichtungen und auch die Konstruktion sollten so ausgelegt werden, dass sie einen möglichst hohen Dämmkoeffizienten haben. Die Verwendung von Balken als Bestandteil des Schwingungsdämpfungssystems wird nicht empfohlen.

## **H.6 Rohre und Kanalsystem**

Die schwingenden Teile der haustechnischen Anlagen, deren Schwingungen durch externe oder interne Schwingungsdämpfer abgefangen werden, d. h. Motor, Gebläse, Pumpen usw., dürfen nicht mit der Gebäudekonstruktion verbunden werden, weil dadurch der Körperschall beträchtlich erhöht wird.

Elektrische Verdrahtungen, Wasserversorgungsrohre, Hydraulikschläuche, Kanäle usw. dürfen nicht direkt an der Gebäudekonstruktion festgeklemmt werden. Die Klemmen sollte mit Hilfe von schwingungsdämpfenden Materialien befestigt werden oder fest an den Fundamentblöcken (z. B. Betonblöcken) angebracht werden, die von der Platte durch elastische Zwischenlagen getrennt sind. Die für Zwischenlagen und Klemmen verwendeten elastischen Materialien sollten ihre elastischen Eigenschaften auch unter besonderen physikalischen oder umweltmäßigen Beanspruchungen beibehalten (d. h. gegen Feuchtigkeit, alkalische und organische Verbindungen beständig sein.)

Luftausgangsöffnungen in Räumen übertragen den Schall in Abhängigkeit von ihrer Lage unterschiedlich. In den Ecken angeordnete Luftaustrittsöffnungen erhöhen die Niederfrequenz im Raum. Die Auswahl von Luftaustrittsöffnungen sollte unter Berücksichtigung des Einflusses der Lage erfolgen.

## Anhang I (informativ)

### Berechnungsbeispiele

#### I.1 Beispiel für ein Lüftungssystem

Ein Lüftungssystem versorgt ein kleines Bürogebäude. Bild I.1 zeigt das Lüftungssystem mit dem Gebläse und den Maßen, einen der versorgten Büroräume und einen geschlossenen Raum, durch den ein Kanal führt. Tabelle I.1 gibt die Voraussageschritte und die verwendeten Eingangsdaten an, die größtenteils auf den Daten aus VDI [1] und ASHREA [2] beruhen. Das Beispiel behandelt Gebläsegeräusche in Raum h, das Strömungsgeräusch des Schalldämpfers c in Raum h, das Strömungsgeräusch des Lufteinlasses in Raum h und den durch den Kanal e in den umgebenden geschlossenen Raum abgestrahlten Schall.

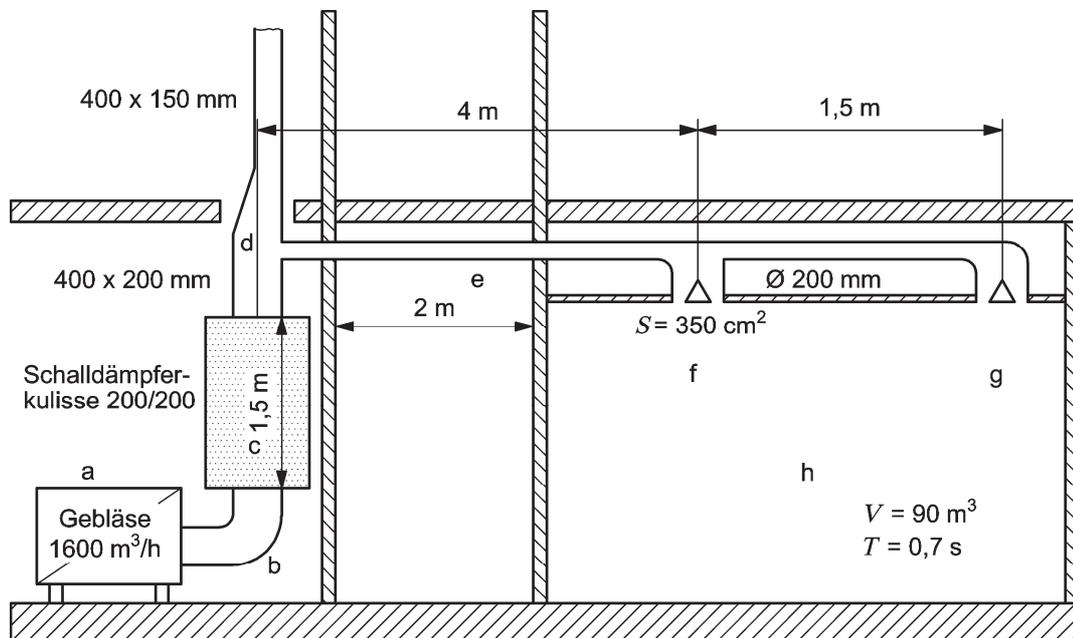


Bild I.1 — Beispiel für eine Situation mit einer Lüftungsanlage

Tabelle I.1 — Berechnungsbeispiel für den in einen Raum (h) nach Bild I.1 abgestrahlten Schall; Gebläsegeräusch durch Auslassöffnungen (Gitter)

Nr.	Element	Größe	Bemerkung/Quelle	63	125	250	500	1 000	2 000	A
a	Quelle	$L_W$	Hersteller, Zentrifugalgebläse ( $q = 0,44 \text{ m}^3/\text{s}$ ; $\Delta P = 60 \text{ Pa}$ )	63,0	64,0	65,0	60,0	55,0	50,0	62
–			+ Korrektur Betriebspunkt [1]	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0	–
b	Bogen	$\Delta L_W$	[1]	0,0	0,0	1,0	2,0	3,0	3,0	–
c	Schall-dämpfer	$\Delta L_W$	s 200/220; l 1 500; Hersteller	2,0	6,0	13,0	25,0	32,0	30,0	–
d	Kulisse	$\Delta L_W$	[1]; S-Verhältnis = 0,5+ Biegunsdämpfung	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0	5,0	–
e	Kanal-dämpfung	$\Delta L_W$	[1], l = 4,0 m	3,0	0,4	0,5	0,6	1,0	1,0	–
f	Kulisse	$\Delta L_W$	Anhang E; S-Verhältnis = 0,34	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	4,6	–
e'	Kanal-dämpfung	$\Delta L_W$	[1], l = 2,5 m	1,9	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	–
g	Gitter	$\Delta L_W$	Anhang E.8; Ebene, S = 350 cm <sup>2</sup>	15,3	9,7	4,9	1,8	0,5	0,1	–
h	Raum-dämpfung	$10 \lg 4/A$	$A = A_{\text{ref}} = 10 \text{ m}^2$	–4,0	–4,0	–4,0	–4,0	–4,0	–4,0	–
		$L_{n,d} (g)$	Gl. (3) = $a' - (b+c+d+e+f+e'+g)+h$	35,2	42,0	39,7	24,6	11,2	7,6	32
h		$L_{n,d} (f)$	wie (g), abzüglich Kanaldämpfung f	37,0	42,2	40,0	24,9	11,8	8,2	33

Der resultierende abgeglichene A-bewertete Schalldruckpegel im Raum aufgrund des Gebläsegeräusches an den beiden Auslassöffnungen liegt also bei 36 dB, der C-bewertete Pegel für den gleichen Frequenzbereich beträgt dann 48 dB.

Bei Berücksichtigung auch des Direktfeldes in einem Abstand von 2 m [Gleichung (3b)] wird ein Ergebnis erhalten, das höchstens 1 dB höher liegt.

Tabelle I.2 — Berechnungsbeispiel für den in einen Raum (h) nach Bild I.1 abgestrahlten Schall; Strömungsgeräusch des Schalldämpfers durch Auslassöffnungen (Gitter)

Nr.	Element	Größe	Bemerkung/Quelle	63	125	250	500	1 000	2 000	A
c	Quelle	$L_W$	[1]; $\Delta P = 50 \text{ Pa}$ , $v = 5 \text{ m/s}$	28,0	24,0	20,0	16,0	8,0		17
d-h		$\Sigma \Delta L_W$	wie zuvor	23,9	14,1	9,4	6,5	6,8	7,4	–
		$10 \lg 4/A$								
		$L_{n,d} (g)$		4,1	9,9	10,6	9,5	1,2	–7,4	9

Da der Pegel durch eine Öffnung nur 9 dB beträgt, kann dieser Beitrag vernachlässigt werden.

**Tabelle I.3 — Berechnungsbeispiel für den in einen Raum (h) nach Bild I.1 abgestrahlten Schall; Strömungsgeräusch der Austrittsöffnungen (Gitter)**

Nr.	Element	Größe	Bemerkung/Quelle	63	125	250	500	1 000	2 000	A
f		$L_W$	Hersteller; bei etwa 5 m/s	33,0	34,0	30,0	31,0	31,0	22,0	34
h	Raumdämpfung	$10 \lg \frac{4}{A}$	$A = A_{ref} = 10 \text{ m}^2$	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-4,0	-
		$L_{n,d} (g)$	Gl. (3) = $a - (b+c+d+e+f+g)+h$	29,0	30,0	26,0	27,0	27,0	18,0	30
		$L_{n,d} (f)$	wie h.	29,0	30,0	26,0	27,0	27,0	18,0	30

Der sich ergebende abgeglichen A-bewertete Schalldruckpegel im Raum aufgrund des Strömungsgeräusches an den Luftauslässen (zwei Gitter) liegt also bei 33 dB, der C-bewertete Pegel für den gleichen Frequenzbereich beträgt dann 38 dB. Damit liegt er unter dem Gebläsegeräusch, kann jedoch nicht vernachlässigt werden.

**Tabelle I.4 — Berechnungsbeispiel für den in einen Raum (h) nach Bild I.1 abgestrahlten Schall; Gesamtschalldruckpegel aufgrund von Gebläse, Strömungsgeräusch-Schalldämpfer und Strömungsgeräuschgitter**

Nr.	Element	Größe	Bemerkung/Quelle	63	125	250	500	1 000	2 000	A
	Raum, gesamt	$L_{n,d}$	Gl. (2) mit Ergebnissen nach Tabellen I.1, I.2 und I.3	40,0	45,4	43,0	32,1	30,2	21,4	37
		$L_d$ (Gebläse)	$A = 0,16 \text{ V/T} = 0,16 \cdot 90/0,7$	36,8	42,3	39,9	28,9	27,0	18,3	34

Der tatsächliche resultierende A-bewertete Schalldruckpegel im Raum aufgrund der Lüftungsanlage liegt also bei 34 dB, der entsprechende C-bewertete Pegel beträgt dann 45 dB.

**Tabelle I.5 — Berechnungsbeispiel für den von Kanalelement e nach Bild I.1 abgestrahlten Schall**

Nr.	Element	Größe	Bemerkung/Quelle	63	125	250	500	1 000	2 000	A
	Gebläse	$L_W$ in e	wie oben, a – d	64,0	61,0	54,0	36,0	22,0	18,0	49
e	Kanal	$R_{io}$	[2]	50,0	55,0	55,0	52,0	44,0	35,0	-
e		$\Delta L_W$	Gl. (13); nahe der Decke; $\varnothing 200 \text{ mm}; l = 2 \text{ m}$	34,0	39,0	39,0	36,0	28,0	19,0	-
		$L_{n,d}$	Gl. (2)	30,0	22,0	15,0	0,0	-6,0	-1,0	-
		$L_d$	$A = 0,16 \text{ V/T} = 0,16 \cdot 30/1,2$	34,0	26,0	19,0	4,0	-2,0	3,0	16

Der resultierende A-bewertete Schalldruckpegel in dem geschlossenen Raum aufgrund des Gebläsegeräusches liegt dann also bei 16 dB, der C-bewertete Schalldruckpegel für den gleichen Frequenzbereich beträgt 34 dB.

## I.2 Beispiel für eine Whirlwanne

Bild I.2 zeigt eine Whirlwanne, die auf dem Fußboden in einem Badezimmer aufgestellt ist (Schallemissionsraum) und an einer Seite an der Wand befestigt ist; sowohl auf den Fußboden als auch auf die Wand wird ein bestimmter Körperschallleistungspegel übertragen. Der Fußboden ist ein 20 cm starker Betonfußboden, die Wand ist eine 10 cm dicke Betonwand. In diesem Beispiel wird der diagonal in den Raum übertragene Körperschall berechnet. Die Übertragungswege (2 je übertragenem Leistungspegel) sind in Bild I.3 angegeben.

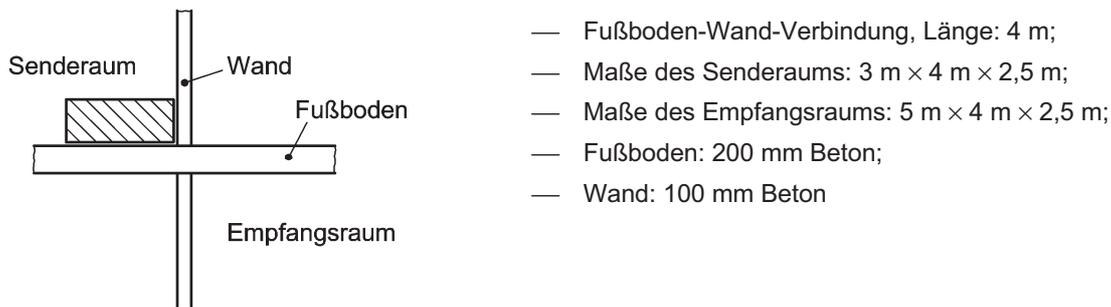


Bild I.2 — Beispiel für eine Situation mit einer Whirlwanne

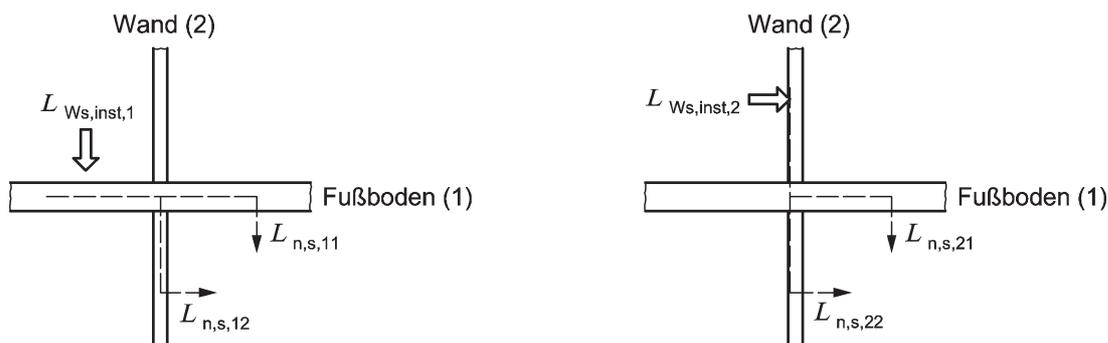


Bild I.3 — Beteiligte Übertragungswege

Jeder Flankenschalldruckpegel  $L_{n,s,ij}$  wird nach Gleichung (18a) berechnet (siehe 4.4.1) aus der entsprechenden installierten Körperschalleistung, dem Anpassungs-Ausdruck und dem Flankenschalldämmkoeffizienten; für 18a ergibt sich somit:

$$L_{n,s,ij} = L_{Ws,inst,i} - D_{sa,i} - R_{ij} - 4$$

### Messung der Whirlwanne im Prüfstand (prEN 15657-1)

Im Prüfstand wird die Whirlwanne in einer aus drei Platten bestehenden Prüfanordnung montiert, was zu drei charakteristischen Leistungskomponenten  $L_{Ws,n,i}$  für die Empfangsplatten führt (wobei die Leistung im Hinblick auf eine 10 cm dicke Betonplatte mit der charakteristischen Admittanz  $Y_{\infty,rec} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$  korrigiert ist). Die Ergebnisse der Messungen werden im Terzband angegeben.

### Installierte Körperschalleistung

In dem Beispiel ist die Whirlwanne nur mit dem Fußboden verbunden [Index (1)] und auf einer Seite mit der Wand [Index (2)]; es werden also nur zwei Leistungskomponenten betrachtet.

Jede installierte Leistung  $L_{Ws,inst,i}$  wird wie folgt berechnet:

$$L_{Ws,inst,i} = L_{Ws,n,i} + 10 \lg \frac{Y_{\infty,i}}{Y_{\infty,rec}}$$

Dabei ist  $Y_{\infty,i}$  die charakteristische Admittanz des Empfängers (Fußboden oder Wand), die nach prEN 15657-1 berechnet wird.

In der untersuchten Konfiguration ist  $Y_{\infty,2} = 5 \cdot 10^{-6}$  m/Ns für die Wand und  $Y_{\infty,1} = 1,25 \cdot 10^{-6}$  m/Ns für den Fußboden.

#### *Anpassungs-Ausdruck*

Der Anpassungs-Ausdruck wird für jeden Empfänger (Fußboden und Wand) nach Gleichung (20b) berechnet (siehe 4.4.4). Gleichung (20b) kann wie folgt angegeben werden:

$$D_{sa,i} = 10 \lg \eta_i - R_i + 10 \lg (2\pi f \times m_i / \rho c) - 10 \lg \sigma_i$$

Dabei ist  $\eta_i$  der Dämmfaktor des Empfängers und  $R_i$  der Schalldämmkoeffizient.

#### *Flankenschalldämmkoeffizient*

Die vier Flankenschalldämmkoeffizienten  $R_{ij}$  werden nach EN 12354-1 berechnet.

Tabelle I.6a und Tabelle I.6b geben die ausführliche Berechnung in Oktavbändern des Schalldruckpegels an, der im Empfangsraum durch die Leistungskomponenten des Fußbodens und der Wand erzeugt werden; Tabelle I.7 gibt den gesamten erzeugten Schalldruckpegel an.

**Tabelle I.6a — Abgeglicherer Schalldruckpegel  $L_{n,s,1}$ , erzeugt im Empfangsraum durch die Leistungskomponente des Fußbodens**

Element	Größe	63	125	250	500	1 000	2 000	A
Quelle (Prüfstand)	$L_{wsn,1}$	<b>67,6</b>	<b>67,3</b>	<b>64,4</b>	<b>48,4</b>	<b>42,5</b>	<b>41,3</b>	
Quelle (installiert)	$L_{wsn,inst,1}$	61,6	61,3	58,4	42,4	36,5	35,3	
Dämmfaktor	$10 \lg \eta$	-11,5	-12,5	-13,5	-14,5	-15,5	-16,5	
R-Koeffizient	$R$	42,2	41,4	49,3	57,7	63,9	71,7	
Abstrahlungseffizienz	$10 \lg \sigma$	-1,0	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
Anpassungs-Ausdruck	$D_{s,a}$	-26,1	-24,8	-30,3	-36,6	-40,8	-46,6	
$R_{ij}$ (Flanke), EN 12354-1	$R_{11}$	48,4	48,9	57,3	66,2	72,9	81,2	
	$R_{12}$	48,0	48,9	56,8	65,6	72,4	80,6	
Abgeglicherer Schall- druckpegel	$L_{n,s,11}$	35,4	33,3	27,4	8,8	0,4	-3,3	<b>22</b>
	$L_{n,s,12}$	35,8	33,2	27,8	9,4	0,9	-2,7	<b>22</b>
	$L_{n,s,1}$	38,6	36,3	30,6	12,2	3,7	0,0	<b>25</b>

**Tabelle I.6b — Abgeglicherer Schalldruckpegel  $L_{n,s,2}$ , erzeugt im Empfangsraum durch die Leistungskomponente der Wand**

Element	Größe	63	125	250	500	1 000	2 000	A
Quelle (Prüfstand)	$L_{wsn,2}$	<b>54,6</b>	<b>55,6</b>	<b>56,1</b>	<b>38,8</b>	<b>31,2</b>	<b>32,0</b>	
Quelle (installiert)	$L_{wsn,inst,2}$	54,6	55,6	56,1	38,8	31,2	32,0	
Dämmfaktor	$10 \lg \eta$	-11,5	-12,5	-13,5	-14,5	-15,5	-16,5	
R-Koeffizient	$R$	37,9	36,6	44,2	52,2	58,2	66,2	
Abstrahlungseffizienz	$10 \lg \sigma$	-8,0	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Anpassungs-Ausdruck	$D_{s,a}$	-17,9	-19,5	-28,1	-34,1	-38,1	-44,1	
$R_{ij}$ (Flanke), EN 12354-1	$R_{21}$	47,5	48,9	56,8	65,6	72,4	80,6	
	$R_{22}$	47,7	48,7	56,4	64,9	72,0	80,0	
Abgeglicherer Schalldruckpegel	$L_{n,s,21}$	21,0	22,2	23,4	3,4	-7,1	-8,5	<b>16</b>
	$L_{n,s,22}$	20,8	22,5	23,8	4,0	-6,7	-7,9	<b>16</b>
	$L_{n,s,2}$	23,9	25,4	26,6	6,7	-3,9	-5,2	<b>19</b>

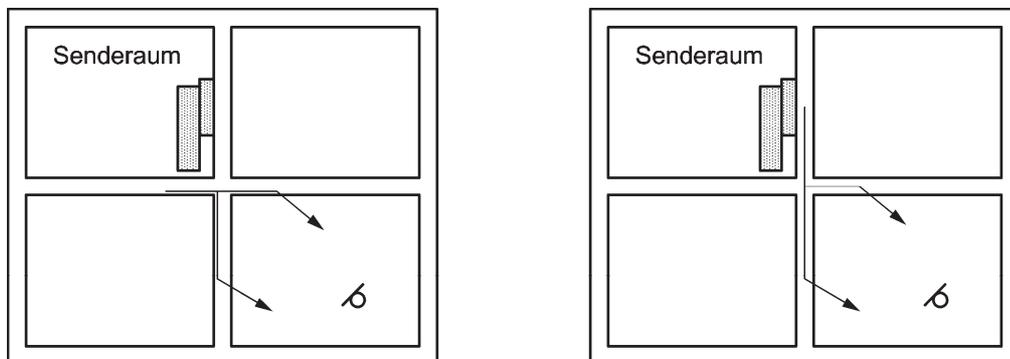
**Tabelle I.7 — Abgeglicherer Schalldruckpegel  $L_{n,s}$ , erzeugt im Empfangsraum durch die Whirlwanne**

Abgeglicherer Schalldruckpegel	63	125	250	500	1 000	2 000	A
$L_{n,s,1}$	39	36	31	12	4	0	<b>25</b>
$L_{n,s,2}$	24	25	27	7	-4	-5	<b>19</b>
$L_{n,s, total}$	39	37	32	13	4	1	<b>26</b>

Der durch die Whirlwanne erzeugte A-bewertete Schalldruckpegel im Empfangsraum beträgt also 26 dB.

### I.3 Beispiel für ein Sanitärsystem

Bild I.4 zeigt eine Situation mit einem Empfangsraum, der sich diagonal unter einem Bad mit einem Spülkasten in einem System mit vorgesetzter Wand befindet, mit Verbindungselementen sowohl zur Wand als auch zum Fußboden. Die betrachteten Übertragungswege des Körperschalls sind ebenfalls angegeben.



- Senderaum: 4,52 m × 3,40 m, Höhe 3,0 m; Empfangsraum: 4,52 m × 4,50 m, Höhe 2,75 m;
- Fußboden/Decke: 180 mm Stahlbeton,  $\rho = 2\,300 \text{ kg/m}^3$ ,  $m' = 414 \text{ kg/m}^2$ ;
- Installationswand (Trennwand) und Wand im darunter befindlichen Raum: 100-mm-Gipsblöcke,  $\rho = 920 \text{ kg/m}^3$ ,
- $m' = 92 \text{ kg/m}^2$ , starr mit den umliegenden Konstruktionen ohne elastisches Material verbunden;
- sonstige Seitenwände: 240-mm-Calciumsilicatziegel,  $\rho = 2\,000 \text{ kg/m}^3$ ,  $m' = 490 \text{ kg/m}^2$ , mit Verkleidung;
- diese Wände werden im weiteren Verlauf vernachlässigt.

**Bild I.4 — Beispiel für eine Situation mit Sanitäreinrichtungen im Senderaum; im Senderaum wird die Wand durch Wandkontakte und der Fußboden durch Fußbodenkontakte des Toilettensystems mit vorgesetzter Wand und Spülkasten angeregt**

Die angewendeten Daten der Quelle wurden durch Messungen mittels des Empfangsplattenverfahrens nach prEN 15657-1 erhalten. Das zur Voraussage verwendete Anregungsspektrum ist ein Spektrum der maximalen Schalleistung. Das Spektrum wurde erhalten durch Aufzeichnung des vollständigen Spülvorgangs (55 Sekunden) mit Kurzzeit- $L_{\text{eq}}$  und Ermitteln der maximalen Schalleistung innerhalb dieser aufgezeichneten Zeiten für jedes Terzband (ungünstigste Situation für alle Frequenzbänder und alle Zeitintervalle). Die gemessenen Schalleistungspegel und die abgeleiteten Quellengrößen sind in Tabelle I.8 angegeben.

**Tabelle I.8 — Körperschalleistungspegel der Quelle (gemessen nach prEN 15657-1, wie im Gebäude installiert und charakteristischem Pegel nach EN 12354-5); in Oktavbändern und A-bewertet**

Größe	Bemerkung/Quelle	Daten	63	125	250	500	1 000	2 000	A
$L_{W,s; \text{ wall}}$	gemessen	$Y_{\text{plate}} = 5,34 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	61,7	59,8	47,2	44,9	38,8	27,2	48
$L_{w, \text{ installed}}$	$+10 \lg Y_{\text{wall}}/Y_{\text{plate}}$	$Y_{\text{wall}} = 24,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	68,2	66,3	53,7	51,5	45,4	33,7	54
$L_{w, \text{ sc}}$	$+10 \lg Y_{\text{source}}/Y_{\text{plate}}$	$Y_{\text{source}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/Ns}$	84,4	82,5	69,9	67,6	61,6	49,9	70
$L_{W,s; \text{ floor}}$	gemessen	$Y_{\text{plate}} = 5,34 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	57,4	56,2	44,0	42,4	34,9	28,9	44
$L_{w, \text{ installed}}$	$+10 \lg Y_{\text{wall}}/Y_{\text{plate}}$	$Y_{\text{floor}} = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	52,3	51,1	38,9	37,3	29,8	23,8	39
$L_{w, \text{ sc}}$	$+10 \lg Y_{\text{source}}/Y_{\text{plate}}$	$Y_{\text{source}} = 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ m/Ns}$	80,1	78,9	66,7	65,1	57,6	51,6	67

Die resultierenden Schalldruckpegel werden für die beiden Übertragungswege für Wand- und Fußbodenanregung getrennt berechnet und sind in Tabelle I.9 angegeben.

**Tabelle I.9 — Resultierende Körperschallpegel für die Situation in Bild I.5 und die Quelldaten nach Tabelle I.8**

Größe	Bemerkung/Quelle	Daten	63	125	250	500	1000	2000	A
$L_{Wsc,wall}$	Wandanregung		84,4	82,5	69,9	67,6	61,6	49,9	70
$D_{c,wall}$	Wand	$Y_{wall} = 24,1 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	
$D_{sa,wall}$	Wand	Gl. (20b), $m' = 92 \text{ kg/m}^2$	-13,6	-17,3	-17,4	-20,0	-26,9	-32,9	
$R_{ij,ref}$	Wand > Fußboden; EN 12354-1	$S_{ref} = 10 \text{ m}^2$	43,0	46,0	50,2	54,7	64,6	73,0	
$10 \lg(S_i/S_{ref})$		$S_i = 12,8 \text{ m}^2$	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	
$10 \lg(A_{ref}/4)$		$A_{ref} = 10 \text{ m}^2$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
$L_{n,s,ij}$	$ij = \text{Weg}$ Wand > Fußboden	Gleichung (18)	33,8	32,6	15,9	11,7	2,6	-11,4	18
$R_{ij,ref}$	Wand > Wand; EN 12354-1	$S_{ref} = 10 \text{ m}^2$	37,0	41,2	35,9	37,7	49,0	57,8	
$L_{n,s,ij}$	$ij = \text{Weg}$ Wand > Wand	Gleichung (18)	39,8	37,4	30,1	28,7	18,3	3,8	29
$L_{Wsc,floor}$	Fußbodenanregung		80,1	78,9	66,7	65,1	57,6	51,6	67
$D_{c,floor}$	Fußboden	$Y_{floor} = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ m/Ns}$	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	27,8	
$D_{sa,floor}$	Fußboden	Gl. (20b), $m' = 414 \text{ kg/m}^2$	-15,5	-19,4	-26,7	-33,2	-39,1	-44,8	
$R_{ij,ref}$	Fußboden > Fußboden; EN 12354-1	$S_{ref} = 10 \text{ m}^2$	42,4	45,9	50,1	54,7	64,6	73,0	
$10 \lg(S_i/S_{ref})$		$S_i = 15,4 \text{ m}^2$	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	
$10 \lg(A_{ref}/4)$		$A_{ref} = 10 \text{ m}^2$	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	
$L_{n,s,ij}$	$ij = \text{Weg}$ Fußboden > Fußboden	Gleichung (18)	19,5	18,7	9,7	9,9	-1,5	-10,3	10
$R_{ij,ref}$	Fußboden > Wand; EN 12354-1	$S_{ref} = 10 \text{ m}^2$	29,1	32,3	43,7	53,5	62,1	70,1	
$L_{n,s,ij}$	$ij = \text{Weg}$ Fußboden > Wand	Gleichung (18)	32,8	32,3	16,1	11,1	1,0	-7,4	18
$L_{n,s} \text{ total}$		Gleichung (17)	41,4	39,6	30,5	28,9	18,5	4,4	29

Der durch den Spülkasten erzeugte abgeglichene A-bewertete Schalldruckpegel im Empfangsraum beträgt also 29 dB.

## Literaturhinweise

- [1] VDI 2081, *Geräuscherzeugung und Lärminderung in Raumluftechnischen Anlagen*, VDI, 2000
- [2] 2003 ASHRAE Handbook — *Heating, Ventilating and Air-conditioning Applications*, Chapter 47, Sound and vibration control, ASHREA, 2003
- [3] ARI-standard 885, *Procedures for estimating occupied space sound levels in the application of air terminals and air outlets*, 1998
- [4] EN 12828, *Heizungssysteme in Gebäuden — Planung von Warmwasser-Heizungsanlagen*
- [5] C Simmons, *Measurement of Noise from Radiator Valves in the laboratory — A Proposal for a New Nordtest Method*, SP Report 1996:31
- [6] VDI 2566, *Blatt 1: Schallschutz bei Aufzugsanlagen mit Triebwerksraum; Blatt 2: Schallschutz bei Aufzugsanlagen ohne Triebwerksraum*, VDI, 2001/2004
- [7] T Alber, M Yankonis, HM Fischer and BM Gibbs, *A new method to describe valve noise*, CFA/DAGA Strasbourg, 2004
- [8] M Späh, HM Fischer and BM Gibbs, *Measurement of structure-borne sound power of mechanical installations*, CFA/DAGA Strasbourg, 2004
- [9] M Villot, *Structure-borne sound from waste water installations in buildings*, Proceedings Int. Congress on Sound and Vibration Stockholm, 2003
- [10] GS Jagt, van der, *Modelling of structure-borne sound transmission in pipe systems to building structures — a Framework*, Proceedings Internoise Nice, 2000
- [11] PH Heringa, e.a., *Structure-borne sound from domestic appliances — Characterisation of emission and transmission*, Internoise Aignon, 1988
- [12] VDI 2715, *Lärminderung an Warm- und Heißwasser-Heizungsanlagen*, VDI, 2000
- [13] M Villot and C Guigou-Carter, *Airborne sound insulation; case of a small airborne sound source close to a wall*, ICA Kyoto Japan, 2004, Proceedings
- [14] JW Verheij, *Multi-path sound transfer from resiliently mounted shipboard machinery*, PhD Thesis, TNO TPD Delft, 1982
- [15] AT Moorhouse, *On the characteristic power of structure-borne sound sources*, J. of Sound and Vibration **248** (2001), 441-459
- [16] T Hiramatsu, e.a., *Studies on the reference vibration source to be used for the determination of vibromotive force of machinery by the reception plate method*, Internoise Avignon, 1988
- [17] E Gerretsen, *Modelling structure-borne sound from equipment in buildings — current developments in EN 12354-5*, Proc. ICA 2004, Kyoto, 2683-2686
- [18] K-J, Buhlert, J Feldmann, *A measuring procedure for determining structure-borne sound and its transmission*, Acustica **42** (1979), 108-113
- [19] VDI 3733, *Geräusche bei Rohrleitungen*, VDI, 1996

- [20] WB Marx Wöhle, *Structural sound transmission in buildings — Comparison of experimentally observed values and theoretically evaluated values using the SEA method (in German)*, *Acustica* **72** (1990), 258-268
- [21] Robert JM Craik, *Sound transmission through Buildings using Statistical Energy Analysis*, Gower Publishing Ltd, Hamshire, Vermont, 1996
- [22] LM. Cremer, EE Heckl, Ungar, *Structure-borne sound*, Springer-Verlag, Berlin, 1988
- [23] E Gerretsen, *Calculation of airborne and impact sound insulation between dwellings*, *Applied Acoustics* **19** (1986), 245-264
- [24] BAT. Petersson, *Structural acoustic power transmission by point moment and force excitation, part II: plate-like structures*, *J. of Sound&Vibration* **160** (1993), 67-91
- [25] D Lubman, *Precision of reverberant sound power measurements*, *JASA* **56** (1974), 523-533
- [26] C Simmons, *Measurements of sound pressure levels at low frequencies in rooms — Comparison of available methods and standards with respect to microphone positions*, *Acta Acustica* **85** (1999), 88-100
- [27] M Vorländer, *Revised relation between the sound power and the average sound pressure level in rooms and consequences for acoustic measurements*, *Acustica* **81** (1995), 332-343
- [28] RV Waterhouse, *Interference patterns in reverberant sound fields*, *JASA* **27** (1955), 247-258
- [29] EN 1151-2, *Pumpen — Kreiselpumpen — Umwälzpumpen mit elektrischer Leistungsaufnahme bis 200 W für Heizungsanlagen und Brauchwassererwärmungsanlagen für den Hausgebrauch — Teil 2: Geräuschprüfvorschrift (vibro-akustisch) zur Messung von Körperschall und Flüssigkeitsschall*
- [30] EN 12354-6:2003, *Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 6: Schallabsorption in Räumen*
- [31] EN 13141-3, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 3: Dunstabzugshauben für den Hausgebrauch*
- [32] EN 13141-5, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfung von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 5: Hauben und Dach-Fortluftdurchlässe*
- [33] EN 13141-6, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 6: Baueinheiten für Abluftanlagen für eine einzelne Wohnung*
- [34] EN 13141-7, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 7: Leistungsprüfung von mechanischen Zuluft- und Ablufteinheiten (einschließlich Wärmerückgewinnung) für Lüftungsanlagen in Einfamilienhäusern*
- [35] ISO 5135, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise from air-terminal devices, air-terminal units, dampers and valves by measurements in a reverberation room*
- [36] ISO 9611, *Acoustics — Characterization of sources of structure-borne sound with respect to sound radiation from connected structures — Measurement of velocity at the contact points of machinery when resiliently mounted*
- [37] EN ISO 11546-1, *Akustik — Bestimmung der Schalldämmung von Schallschutzkapseln — Teil 1: Messungen unter Laborbedingungen (zum Zweck der Kennzeichnung) (ISO 11546-1:1995)*
- [38] EN 14366:2004, *Messung der Geräusche von Abwasserinstallationen im Prüfstand*

- [39] prEN 15657-1, *Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden — Messung des Luft- und Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand — Teil 1: Vereinfachte Fälle in denen die Admittanzen der Anlagen wesentlich höher sind als die der Empfänger am Beispiel von Whirlwannen*
- [40] EN 13141-4, *Lüftung von Gebäuden — Leistungsprüfungen von Bauteilen/Produkten für die Lüftung von Wohnungen — Teil 4: Ventilatoren in Lüftungsanlagen für Wohnungen*
- [41] EN ISO 16032, *Akustik — Messung des Schalldruckpegels von haustechnischen Anlagen in Gebäuden — Standardverfahren (ISO 16032:2004)*
- [42] EN ISO 5136, *Akustik — Bestimmung der von Ventilatoren und anderen Strömungsmaschinen in Kanäle abgestrahlten Schalleistung — Kanalverfahren (ISO 5136:2003)*