

DIN EN ISO 12354-4



ICS 91.120.20

Ersatz für
DIN EN 12354-4:2001-04

**Bauakustik –
Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den
Bauteileigenschaften –
Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie (ISO 12354-4:2017);
Deutsche Fassung EN ISO 12354-4:2017**

Building acoustics –
Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements –
Part 4: Transmission of indoor sound to the outside (ISO 12354-4:2017);
German version EN ISO 12354-4:2017

Acoustique du bâtiment –
Calcul de la performance acoustique des bâtiments à partir de la performance des éléments –
Partie 4: Transmission du bruit intérieur à l'extérieur (ISO 12354-4:2017);
Version allemande EN ISO 12354-4:2017

Gesamtumfang 32 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12354-4:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden“, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ erarbeitet.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 005-55-75 AA „Nachweisverfahren, Bauteilkatalog, Sicherheitskonzept“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau) verantwortlich.

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 7235	siehe	DIN EN ISO 7235
ISO 10140-1	siehe	DIN EN ISO 10140-1
ISO 16283-3	siehe	DIN EN ISO 16283-3

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12354-4:2001-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle Überarbeitung des gesamten Dokumentes;
- b) Aktualisierung von Abschnitt 3;
- c) Überarbeitung von Abschnitt 4.

Frühere Ausgaben

DIN EN 12354-4: 2001-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7235, *Akustik — Labormessungen an Schalldämpfern in Kanälen — Einfügungsdämpfung, Strömungsgeräusch und Gesamtdruckverlust*

DIN EN ISO 10140-1, *Akustik — Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand — Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte*

DIN EN ISO 16283-3, *Akustik — Messung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen am Bau — Teil 3: Fassadenschalldämmung*

Deutsche Fassung
Bauakustik —
Berechnung der akustischen Eigenschaften
von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften —
Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie
(ISO 12354-4:2017)

Building acoustics —
Estimation of acoustic performance of buildings
from the performance of elements —
Part 4: Transmission of indoor sound to the outside
(ISO 12354-4:2017)

Acoustique du bâtiment —
Calcul de la performance acoustique des bâtiments
à partir de la performance des éléments —
Partie 4: Transmission du bruit intérieur à l'extérieur
(ISO 12354-4:2017)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. April 2017 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe.....	6
3.1 Größen zur Beschreibung der Gebäudeeigenschaften.....	7
3.2 Größen zur Beschreibung der Bauteileigenschaften.....	7
3.3 Weitere Begriffe und Größen.....	8
4 Berechnungsmodell.....	9
4.1 Allgemeine Grundlagen.....	9
4.2 Ermittlung punktförmiger Ersatzschallquellen.....	10
4.3 Ermittlung des Schalleistungspegels der punktförmigen Ersatzschallquellen.....	10
4.3.1 Allgemeines.....	10
4.3.2 Segment von strukturellen Elementen der Gebäudehülle.....	11
4.3.3 Aus Öffnungen bestehendes Segment.....	12
4.4 Ermittlung der Richtwirkungskorrektur für eine punktförmige Ersatzschallquelle.....	12
4.5 Einschränkungen.....	13
5 Genauigkeit.....	13
Anhang A (normativ) Liste der Formelzeichen.....	14
Anhang B (informativ) Schallfeld im Gebäudeinnern.....	16
Anhang C (informativ) Schalldämm-Maß.....	17
Anhang D (informativ) Richtwirkung der Schallabstrahlung.....	18
Anhang E (informativ) Vereinfachtes Modell zur Vorausberechnung der Außenschalldruckpegel.....	19
Anhang F (informativ) Anwendung des Modells auf Einzahlangaben.....	22
Anhang G (informativ) Berechnungsbeispiel.....	24
Literaturhinweise.....	30

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12354-4:2017) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2018, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2018 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 12354-4:2000.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12354-4:2017 wurde von CEN als EN ISO 12354-4:2017 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung von Nationalen Normungsorganisationen (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird normalerweise von ISO Technischen Komitees durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale Organisationen, staatlich und nicht-staatlich, in Liaison mit ISO, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) bei allen elektrotechnischen Themen zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Im Besonderen sollten die für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten notwendigen Annahmekriterien beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der empfangenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname wird als Information zum Nutzen der Anwender angegeben und stellt keine Anerkennung dar.

Eine Erläuterung der Bedeutung ISO-spezifischer Benennungen und Ausdrücke, die sich auf Konformitätsbewertung beziehen, sowie Informationen über die Beachtung der Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) zu technischen Handelshemmnissen (TBT, en: Technical Barriers to Trade) durch ISO enthält der folgende Link: www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden“, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“, Unterkomitee SC 2 „Building acoustics“, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese erste Ausgabe ersetzt ISO 15712-4:2005, die technisch überarbeitet wurde.

Eine Liste aller Teile der Normenreihe ISO 12354 ist auf der Internetseite der ISO verfügbar.

Einleitung

Dieses Dokument ist Teil einer Normenreihe, in der bauakustische Berechnungsmodelle festgelegt werden.

Obwohl dieses Dokument für die wesentlichen Arten von Bauwerken gilt, kann es nicht alle Arten von Konstruktionen berücksichtigen. Es stellt einen Ansatz dar, um Erfahrungen für künftige Verbesserungen und Entwicklungen sammeln zu können.

Die Genauigkeit dieses Dokuments allein ist schwer festzulegen, da es nur ein Glied in der Kette vom im Gebäudeinneren herrschenden Schallpegel über die Schallabstrahlung bis zur Schallausbreitung im Freien ist; das erst- und das letztgenannte Glied werden nicht in dieser Norm behandelt. Die Genauigkeit kann erst nach umfangreichen Vergleichen mit vor Ort erhobenen Daten im Zusammenspiel mit anderen Vorausberechnungsnormen, d. h. denjenigen für die Schallausbreitung im Freien, festgelegt werden. Es liegt im Verantwortungsbereich der Anwender (d. h. einer Person, einer Organisation, der Behörden), die Folgen der Genauigkeit all dieser Mess- und Vorhersageverfahren zu berücksichtigen, indem sie Anforderungen an die Eingangsdaten festlegen und/oder einen Sicherheitsbereich für die Ergebnisse einbeziehen oder andere Korrekturfaktoren anwenden.

Es ist für Fachleute auf dem Gebiet der Akustik bestimmt und bildet den Rahmen für die Entwicklung von Anwendungsdokumenten und Hilfsmitteln für andere Anwender auf dem Gebiet des Hoch- und Industriebaus unter Berücksichtigung örtlicher Gegebenheiten.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein Berechnungsmodell für den Pegel der von der Gebäudehülle infolge von Luftschall im Innern des Gebäudes abgestrahlten Schalleistung fest. Die Berechnung geschieht hauptsächlich auf der Grundlage von im Gebäude gemessenen Schalldruckpegeln und von Messdaten, die die Schallübertragung durch die jeweiligen Bauelemente und durch Öffnungen in der Gebäudehülle kennzeichnen. Zusammen mit denjenigen anderer Schallquellen im Gebäude oder vor der Gebäudehülle sind diese Schalleistungspegel die Grundlage für die Berechnung des Schalldruckpegels in einer bestimmten Entfernung von einem Gebäude als Maß für die akustischen Eigenschaften von Gebäuden.

Die Vorausberechnung des Innenschalldruckpegels aus der Kenntnis der Schallquellen von Räumen fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments.

Die Vorausberechnung der Schallausbreitung im Freien fällt nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments.

ANMERKUNG Für einfache Ausbreitungsbedingungen wird jedoch im Anhang E ein Verfahren zur Abschätzung des Schalldruckpegels gegeben.

In diesem Dokument werden die Grundlagen des Berechnungsmodells beschrieben, die erforderlichen Größen aufgeführt und dessen Anwendungen und Einschränkungen angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

ISO 7235, *Acoustics — Laboratory measurement procedures for ducted silencers and air-terminal units — Insertion loss, flow noise and total pressure loss*

ISO 10140-1:2016, *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 1: Application rules for specific products*

ISO 16283-3, *Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Airborne sound insulation of façades*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe sowie die in Anhang A angeführten Symbole und Einheiten.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1 Größen zur Beschreibung der Gebäudeeigenschaften

3.1.1

Schalleistungspegel

L_W

Schalleistungspegel einer punktförmigen Ersatzschallquelle

3.1.2

Richtwirkungskorrektur

D_c

Abweichung in Dezibel des Schalldruckpegels einer Punktschallquelle in einer bestimmten Richtung vom Schalldruckpegel einer ungerichtet abstrahlenden Punktschallquelle mit demselben Schalleistungspegel

3.2 Größen zur Beschreibung der Bauteileigenschaften

ANMERKUNG Für die Berechnungen können zusätzliche Angaben über Ausführungen erforderlich sein, zum Beispiel die Form einer Gebäudehülle, Flächen usw.

3.2.1

Schalldämm-Maß

R

zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der auf ein Prüfobjekt treffenden Schalleistung W_1 zu der durch den Prüfgegenstand übertragenen Schalleistung W_2 , der bestimmt wird aus:

$$R = \left(10 \lg \frac{W_1}{W_2} \right) \text{dB}$$

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Größe muss nach ISO 10140-1:2016, Anhänge A, B, C und D oder ISO 16283-1 bestimmt werden.

3.2.2

Norm-Schallpegeldifferenz eines kleinen Bauteils

$D_{n,e}$

Differenz der in zwei Räumen mit einer Schallquelle in einem der beiden Räume erzeugten räumlich und zeitlich gemittelten Schalldruckpegel, wobei die Schallübertragung nur durch ein kleines technisches Bauteil erfolgt (z. B. Lüftungsöffnungen, Elektrokabelkanäle, Dichtungssysteme bei Durchführungen), die wie folgt bestimmt wird:

$$D_{n,e} = L_1 - L_2 - \left(10 \lg \left(\frac{A}{A_0} \right) \right) \text{dB}$$

Dabei ist A die äquivalente Schallabsorptionsfläche im Empfangsraum, in Quadratmeter.

Anmerkung 1 zum Begriff: $D_{n,e}$ ist auf die äquivalente Schallabsorptionsfläche (A_0) im Empfangsraum normiert; $A_0 = 10 \text{ m}^2$.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Größe muss nach ISO 10140-1:2016, Anhang E, bestimmt werden.

3.2.3

Einfügungsdämpfung

D

<eines Bauteils> Minderung des Schalleistungspegels an einem bestimmten Ort hinter dem Bauteil infolge der Einfügung des Bauteils in einen Kanal anstelle eines hartwandigen Kanalabschnitts

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Größe muss nach ISO 7235 bestimmt werden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei Bauteilen, für welche dieses Dokument nicht gilt, sollten gleichwertige Verfahren angewandt werden.

3.3 Weitere Begriffe und Größen

3.3.1

Schalldruckpegel

L_p

Schallmaß des im Gebäude und von zum Gebäude gehörenden Schallquellen erzeugten Schalls an einem Aufpunkt außerhalb des Gebäudes, das in der Regel nach den vor Ort herrschenden Erfordernissen (Festlegung geeigneter Messpunkte, Mittelungszeiten und Betriebsbedingungen der Quelle) ermittelt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Schalldruckpegel wird üblicherweise A-bewertet angegeben.

3.3.2

Gesamtausbreitungsdämpfung

A_{tot}

Schallpegeldifferenz zwischen der abgestrahlten Schalleistung und dem Schalldruck an einem Aufpunkt im Abstand d von der Gebäudehülle infolge aller Ausbreitungseinflüsse

Anmerkung 1 zum Begriff: Ausbreitungseinflüsse umfassen geometrische Divergenz, Luftabsorption, Bodeneinflüsse, Abschirmung usw.

3.3.3

Diffusitätsterm

C_d

Pegeldifferenz zwischen dem Schalldruckpegel in einem Abstand von 1 m bis 2 m von der nach innen weisenden Bauteiloberfläche und dem Intensitätspegel des senkrecht auf dasselbe Bauteil einfallenden Schalls

Anmerkung 1 zum Begriff: Für ein diffuses Feld und reflektierende Wände ist der Diffusitätsterm $C_d = -6$ dB; unter abweichenden Bedingungen kann er einen Wert zwischen 0 dB und -6 dB annehmen.

3.3.4

Innenschalldruckpegel

$L_{p,\text{in}}$

Schalldruckpegel im Innern des Gebäudes im Abstand von 1 m bis 2 m vom betrachteten Bauteil oder Segment der Gebäudehülle

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem diffusen Schallfeld entspricht dies dem mittleren Schalldruckpegel im diffusen Schallfeld.

3.3.5

punktförmige Ersatzschallquelle

Punktschallquelle, bei der der abgestrahlte Schall derselbe wie bei einem Segment der Gebäudehülle ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Segment kann aus einem oder mehreren Bauteilen oder einer oder mehreren Öffnungen bestehen.

4 Berechnungsmodell

4.1 Allgemeine Grundlagen

Der Gesamtschalldruckpegel an einem Aufpunkt in einem bestimmten Abstand von einem Gebäude wird durch die folgenden Beiträge ermittelt:

- Schall, der von den die Gebäudehülle bildenden Bauteilen infolge des innen herrschenden Schalldruckpegels abgestrahlt wird;
- Schall, der von einzelnen Schallquellen abgestrahlt wird, die im oder außen am Gebäude montiert sind;
- Schallausbreitung im Freien (Einflüsse des Abstands, der Luftabsorption, des Bodens, von Abschirmungen und Reflexionen usw.).

Die Schallabstrahlung von der Gebäudehülle darf durch die Abstrahlung einer oder mehrerer punktförmiger Ersatzschallquellen dargestellt werden. Jede Punktschallquelle kann den Beitrag eines Segments der Gebäudehülle oder einer Gruppe von einzelnen Schallquellen darstellen. Die Anzahl der notwendigen Punktschallquellen, die das Gebäude ausreichend gut nachbilden, hängt vom Abstand eines jeden Aufpunktes vom Gebäude und von der Änderung der Ausbreitungsbedingungen ab. Im Allgemeinen wird die Gebäudehülle durch mindestens eine Punktschallquelle für jede Seite, d. h. Wände und Dachflächen, dargestellt. Häufig sind jedoch für jede Seite mehrere Punktschallquellen notwendig.

Der Schalldruckpegel an einem Aufpunkt außerhalb des Gebäudes wird dann nach der Gleichung (1) aus den Beiträgen der einzelnen punktförmigen Ersatzschallquellen ermittelt:

$$L_p = L_W + D_c - A_{\text{tot}} \quad (1)$$

Dabei ist

- L_p der Schalldruckpegel am Aufpunkt außerhalb des Gebäudes infolge der Schallabstrahlung einer punktförmigen Ersatzschallquelle, in Dezibel;
- L_W der Schalleistungspegel der punktförmigen Ersatzschallquelle, in Dezibel;
- D_c die Richtwirkungskorrektur der punktförmigen Ersatzschallquelle in Richtung des Aufpunktes, in Dezibel;
- A_{tot} die im Verlauf der Schallausbreitung von der punktförmigen Ersatzschallquelle zum Aufpunkt auftretende Gesamtausbreitungsdämpfung, in Dezibel.

Das in diesem Dokument beschriebene Berechnungsmodell ist beschränkt auf die Berechnung des Schalleistungspegels von punktförmigen Ersatzschallquellen für die Bauteile und Öffnungen in der Gebäudehülle auf der Grundlage von Daten über

- den Innenschalldruckpegel und
- die Bauteile, die die Gebäudehülle bilden.

Das Modell gibt auch Hinweise darauf, in welchem Maß Richtwirkungskorrekturen für verschiedene Bauteile erwartet werden können. Der Innenschalldruckpegel wird im Allgemeinen der äquivalente Schalldruckpegel für eine festgelegte Mittelungszeit nach den einschlägigen Anforderungen sein. Es können jedoch auch andere Pegelarten verwendet werden, z. B. der Spitzenwert des Pegels. Die Berechnung des Innenschalldruckpegels ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.

Die Berechnung des Beitrags einer einzelnen Schallquelle ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.

Die für die Vorausberechnung des Schalldruckpegels am Aufpunkt erforderliche Gesamtausbreitungsdämpfung A_{tot} kann nach den verfügbaren Verfahren für die Berechnung der Schallausbreitung im Freien abgeschätzt werden. Dabei kann die Schallquelle als punktförmig angenommen werden. Die Berechnung dieser Ausbreitungseffekte ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.

ANMERKUNG Ein solches Verfahren wird in ISO 9613-2 angegeben, wo die Gesamtausbreitungsdämpfung mit A bezeichnet wird. Die Gesamtausbreitungsdämpfung ergibt sich aus der Addition der Dämpfung infolge bestimmter Ausbreitungseinflüsse, wie z. B. geometrischer Divergenz, Luftabsorption, Bodeneffekt, Abschirmung usw.

Für einfache Ausbreitungsbedingungen wird jedoch im Anhang E ein Verfahren zur Abschätzung des Schalldruckpegels gegeben.

Ein Berechnungsbeispiel wird in Anhang G gegeben.

4.2 Ermittlung punktförmiger Ersatzschallquellen

Die zur Schallabstrahlung beitragenden Bauteile werden in zwei Gruppen eingeteilt:

- ebene Strahler wie z. B. Bauteile der Gebäudehülle, d. h. Wände, Dach, Fenster, Türen, einschließlich kleiner Bauteile mit einer Fläche von typischerweise weniger als 1 m^2 wie z. B. Gitter und Öffnungen;
- größere Öffnungen mit einer Fläche von typischerweise 1 m^2 oder mehr, d. h. große Lüftungsöffnungen, offene Türen und offene Fenster.

Zur Berechnung der Schallausbreitung außerhalb des Gebäudes kann jedes Bauteil durch eine punktförmige Ersatzschallquelle dargestellt werden. Das Gebäude darf jedoch ebenfalls in größere Segmente unterteilt werden, die jeweils durch eine punktförmige Ersatzschallquelle dargestellt werden. Für die Bildung der Segmente gelten die folgenden Regeln:

- die Bedingungen für die Schallausbreitung bis zu den nächsten interessierenden Aufpunkten (A_{tot}) sind für alle Bauteile eines Segments gleich;
- der Abstand zum nächsten interessierenden Aufpunkt ist größer als das Doppelte der größten Abmessung des betreffenden Segments;
- für die Bauteile eines Segments ist derselbe Innenschalldruckpegel anzusetzen;
- für die Bauteile eines Segments ist dieselbe Richtwirkung anzusetzen.

Ist mindestens eine dieser Bedingungen nicht erfüllt, sind andere Segmente zu wählen, z. B. durch Unterteilung in kleinere Segmente, bis alle Bedingungen erfüllt sind.

Soweit nicht durch das Schallausbreitungsmodell anderweitig vorgegeben, wird die punktförmige Ersatzschallquelle, die ein vertikal angeordnetes Segment nachbildet, bei halber Breite und auf zwei Dritteln der Höhe des Segments angeordnet; in allen anderen Fällen ist sie im Mittelpunkt des Segments anzuordnen.

4.3 Ermittlung des Schalleistungspegels der punktförmigen Ersatzschallquellen

4.3.1 Allgemeines

Für jedes Segment wird der Schalleistungspegel aus folgenden Eingangsdaten ermittelt:

- Innenschalldruckpegel: $L_{p,in}$;
- Schalldämm-Maß eines großen Bauteils i der Gebäudehülle: R_i ;
- Norm-Schallpegeldifferenz eines kleinen Bauteiles i : $D_{n,e,i}$;
- Einfügungsdämpfungsmaß eines Schalldämpferbauteils für die Öffnung i : D_i ;
- Fläche des Bauteils oder der Öffnung i : S_i .

4.3.2 Segment von strukturellen Elementen der Gebäudehülle

Der Schallleistungspegel für die punktförmige Ersatzschallquelle wird durch die Gleichung (2) bestimmt:

$$L_W = L_{p,in} + C_d - R' + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (2)$$

Dabei ist

$L_{p,in}$ der Schalldruckpegel im Abstand von 1 m bis 2 m von der Innenseite des Segments, in Dezibel;

C_d der Diffusitätsterm für das Innenschallfeld am Segment, in Dezibel;

R' das Bau-Schalldämm-Maß für das Segment, in Dezibel;

S die Fläche des Segments, in Quadratmeter;

S_0 die Bezugsfläche, in Quadratmeter; $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

Das Bau-Schalldämm-Maß für das Segment ergibt sich aus den Daten der zusammengefassten Bauteile i , nach der Gleichung (3):

$$R' = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} 10^{-R_i/10} + \sum_{i=m+1}^{m+n} \frac{A_0}{S} 10^{-D_{n,e,i}/10} \right) \quad (3)$$

Dabei ist

R_i das Schalldämm-Maß des Bauteils i , in Dezibel;

S_i die Fläche des Bauteils i , in Quadratmeter;

$D_{n,e,i}$ die Norm-Schallpegeldifferenz für das kleine Bauteil i , in Dezibel;

A_0 die Bezugsabsorptionsfläche, in Quadratmeter; $A_0 = 10 \text{ m}^2$;

m die Anzahl großer Bauteile im Segment;

n die Anzahl kleiner Bauteile im Segment.

Anhang B enthält Angaben zum Innenschalldruckpegel und zur Diffusität des Schallfeldes. Diese hängen ab von der Art des umschlossenen Raumes und von den inneren Bedingungen für die Bauteile der Gebäudehülle.

ANMERKUNG 1 Für ein ideales diffuses Schallfeld und nichtabsorbierende Bauteile ist im Allgemeinen $C_d = -6$ dB; für Räume, wie sie im industriellen Umfeld üblich sind mit nicht absorbierenden Segmenten an der Innenseite ist ein Wert von $C_d = -5$ dB geeigneter.

ANMERKUNG 2 Der Beitrag des Körperschalls zur Schallabstrahlung ist im Modell nicht berücksichtigt. Er könnte in grober Näherung durch ein korrigiertes Schalldämm-Maß berücksichtigt werden; in Anhang C werden hierzu einige Hinweise gegeben.

Anhang C enthält Angaben über das anzusetzende Schalldämm-Maß.

4.3.3 Aus Öffnungen bestehendes Segment

Der Schalleistungspegel für die punktförmige Ersatzschallquelle wird durch die Gleichung (4) bestimmt:

$$L_W = L_{p,in} + C_d + 10 \lg \sum_{i=1}^o \frac{S_i}{S_0} 10^{-D_i/10} \quad (4)$$

Dabei ist

- S_i die Fläche der Öffnung i , in Quadratmeter;
- D_i das Einfügungsdämpfungsmaß des Schalldämpfers in der Öffnung i , in Dezibel;
- o die Anzahl der Öffnungen im Segment.

Die Berechnung des Schalleistungspegels wird auf der Grundlage von akustischen Daten für die Bauteile in Frequenzbändern (Terz- oder Oktavbänder) durchgeführt. Die Berechnung wird mindestens für die Oktavbänder mit Mittenfrequenzen von 125 Hz bis 2 000 Hz oder die Terzbänder mit Mittenfrequenzen von 100 Hz bis 3 150 Hz durchgeführt. Liegen akustische Daten für einen weiterreichenden Frequenzbereich vor, so können die Berechnungen auf diesen nach oben oder unten erweiterten Frequenzbereich ausgedehnt werden. Angaben zur Luftschalldämmung im tieferen Frequenzbereich bis zu 50 Hz können ISO 12354-1:2017, Anhang I, entnommen werden. Die Aspekte der Messung der Schalldämmung von Fassaden im tiefen Frequenzbereich am Bau werden in ISO 16283-3 eingehend behandelt.

ANMERKUNG Für eine grobe Abschätzung kann es ausreichend sein, das Modell direkt auf A-bewertete Pegel und Einzahlangaben der Bauteileigenschaften in Übereinstimmung mit ISO 717-1 anzuwenden. Hinweise dafür sind im Anhang F gegeben.

4.4 Ermittlung der Richtwirkungskorrektur für eine punktförmige Ersatzschallquelle

Die Richtwirkungskorrektur D_c enthält die den abstrahlenden Bauteilen und Öffnungen eigene Richtwirkung, die durch das Richtwirkungsmaß D_1 beschrieben wird. Sie kann ebenfalls den Einfluss benachbarter schallharter Oberflächen (Reflexion und Abschirmung) enthalten, was durch das Raumwinkelmaß D_Ω beschrieben wird.

Für eine bestimmte Richtung muss die Richtwirkungskorrektur nach Gleichung (5) berechnet werden:

$$D_c = D_I + D_\Omega = D_I + 10 \lg \frac{4\pi}{\Omega} \quad (5)$$

Dabei ist

D_I das Richtwirkungsmaß, in Dezibel;

D_Ω das Raumwinkelmaß, in Dezibel;

Ω der Raumwinkel, in den hinein abgestrahlt wird, in Steradian.

Ob das Raumwinkelmaß in der Richtwirkungskorrektur berücksichtigt werden muss oder nicht, hängt von dem zur Anwendung gebrachten Ausbreitungsmodell ab. Werden Reflexionen am Boden und an anderen Oberflächen durch Spiegelschallquellen berücksichtigt, muss das Raumwinkelmaß mit $D_\Omega = 0$ dB angesetzt werden. Handelt es sich jedoch bei den reflektierenden Flächen um Teile der Gebäudehülle selbst, so wird empfohlen, die Einflüsse dieser Flächen durch das Raumwinkelmaß zu berücksichtigen. Bei der Angabe der Richtwirkungskorrektur muss daher das Maß des eingeschlossenen Raumwinkels eindeutig angegeben werden.

Anhang D enthält Angaben zur Richtwirkungskorrektur.

4.5 Einschränkungen

Obwohl große, homogene Bauteile, z. B. eine komplette Seitenwand, eine spezielle Richtcharakteristik aufweisen können, bei der die Abstrahlung bevorzugt in bestimmte Richtungen erfolgt, sind diese Einflüsse im Modell nicht berücksichtigt.

Der mögliche Beitrag von Körperschall durch Maschinen im Gebäude ist nicht im Modell enthalten, jedoch werden in Anhang C Hinweise auf eine näherungsweise Berücksichtigung gegeben.

5 Genauigkeit

Die Vorhersagegenauigkeit des gegebenen Modells hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab: der Genauigkeit der Eingangsdaten, der Übereinstimmung der Bausituation mit dem Modell, der Art der beteiligten Bauteile, der Geometrie der Bausituation, der Art der zu berechnenden Größe und der handwerklichen Qualität bei der Bauausführung. Daher ist eine allgemeine Angabe über die Genauigkeit für alle Arten von Situationen und Anwendungen nicht möglich. Vielmehr müssen Daten über die Genauigkeit durch Vergleich der Ergebnisse von Modellberechnungen mit verschiedenen Situationen am Bau gesammelt werden.

Es ist ratsam, bei der Anwendung einer Vorhersage die Eingangsdaten zu variieren. Dies gilt insbesondere in komplizierten Bausituationen und bei selten vorkommenden Bauteilen mit fragwürdigen Eingangsdaten. Die erhaltene Variation der Ergebnisse liefert einen Eindruck von der zu erwartenden Genauigkeit in diesen Situationen unter Annahme einer ähnlich guten Bauausführung.

Anhang A (normativ)

Liste der Formelzeichen

Tabelle A.1 — Liste der Formelzeichen

Zeichen	Physikalische Größe	Einheit
A_0	Bezugsabsorptionsfläche; $A_0 = 10 \text{ m}^2$	m^2
A_{tot}	Gesamtausbreitungsdämpfung infolge Ausbreitung im Freien, ausgehend von einer Punktschallquelle	dB
$A'_{\text{tot},j}$	geschätzte Gesamtausbreitungsdämpfung infolge Ausbreitung im Freien für eine vereinfachte Ausbreitungssituation für eine Gebäudeseite	dB
C_d	Diffusitätsterm für das Innenschallfeld an einem Segment oder einer Gebäudeseite	dB
c_0	Schallgeschwindigkeit in Luft (ungefähr 340 m/s)	m/s
D_c	Richtwirkungskorrektur für eine punktförmige Ersatzschallquelle	dB
D_I	Richtwirkungsmaß für eine punktförmige Ersatzschallquelle	dB
D_Ω	Raumwinkelmaß für eine punktförmige Ersatzschallquelle	dB
$D_{n,e,i}$	Norm-Schallpegeldifferenz für ein kleines Bauteil i	dB
D_i	Einfügungsdämpfungsmaß für einen Schalldämpfer für Öffnung i	dB
d	Abstand vom Aufpunkt zur Mitte der Gebäudeseite	m
d_\perp	senkrechter Abstand vom Aufpunkt zur Gebäudeseite	m
d_0	Bezugsabstand; $d_0 = 1 \text{ m}$	m
f	Frequenz	Hz
h_1, h_2	senkrechte Abstände zu den beiden Begrenzungen einer Gebäudeseite von der Projektion des Aufpunktes auf die Gebäudeseite	m
i	Zählindex für ein Bauteil oder eine Öffnung, das/die zu einem Segment des Gebäudes gehört	—
j	Zählindex für ein Segment oder eine Gebäudeseite	—
l_1, l_2	horizontale Abstände zu den beiden Begrenzungen einer Gebäudeseite von der Projektion des Aufpunktes auf die Gebäudeseite	m
$L_{p,d}$	Schalldruckpegel an einem Aufpunkt im Abstand d außerhalb des Gebäudes	dB bezogen auf $20 \mu\text{Pa}$
$L_{p,in}$	Schalldruckpegel im Abstand von 1 m bis 2 m von der Innenseite eines Segments oder einer Gebäudeseite	dB bezogen auf $20 \mu\text{Pa}$
L_W	Schalleistungspegel einer punktförmigen Ersatzschallquelle	dB bezogen auf 1 pW

Zeichen	Physikalische Größe	Einheit
m	Anzahl der großen Bauteile im Segment oder in der Gebäudeseite j	—
n	Anzahl der kleinen Bauteile im Segment oder in der Gebäudeseite j	—
o	Anzahl der Öffnungen im Segment oder in der Gebäudeseite j	—
R_i	Schalldämm-Maß des Bauteils i	dB
R'	Bau-Schalldämm-Maß für ein Segment oder eine Gebäudeseite	dB
S_i	Fläche des Bauteils oder der Öffnung i	m ²
S	Fläche eines Segments oder einer Gebäudeseite	m ²
S_0	Bezugsfläche; $S_0 = 1 \text{ m}^2$	m ²
Φ	Winkel zwischen der Ausrichtung einer punktförmigen Ersatzschallquelle und der Richtung von dieser Quelle zum Aufpunkt	°
Ω	Raumwinkel, in den die Abstrahlung erfolgt	sr

Anhang B (informativ)

Schallfeld im Gebäudeinnern

Der Innenschalldruckpegel, der für die Vorausberechnung der Schallabstrahlung relevant ist, ist der Schalldruckpegel in einem Abstand von 1 m bis 2 m von der Innenseite der Gebäudehülle. Er wird als Eingangswert für das in diesem Dokument beschriebene Modell betrachtet. Dieser Schalldruckpegel kann sich aus Messungen unter den tatsächlichen Gegebenheiten, Messungen in ähnlichen Situationen oder aus Berechnungen, z. B. mittels empirischer Modelle, mittels Modellen mit Spiegelschallquellen oder mittels Modellen mit Strahlverfolgungstechniken (Ray-Tracing) ergeben.

Der Wert des Diffusitätsterms C_d wird beeinflusst vom Grad der Diffusität des Schallfeldes im Gebäudeinnern und der raumseitigen Absorption des betrachteten Segments der Gebäudehülle. In Tabelle B.1 sind Angaben zu diesem Wert für verschiedene Räume enthalten.

Tabelle B.1 — Angaben zum Wert des Diffusitätsterms für verschiedene Räume auf der Grundlage einer allgemeinen Beschreibung der Räume und örtlicher Oberflächeneigenschaften der Innenseite der Gebäudehülle

Situation	C_d dB
relativ kleine, gleichförmige Räume (diffuses Feld) vor reflektierender Oberfläche	-6
relativ kleine, gleichförmige Räume (diffuses Feld) vor absorbierender Oberfläche	-3
große, flache oder lange Hallen, viele Schallquellen (durchschnittliches Industriegebäude) vor reflektierender Oberfläche	-5
Industriegebäude, wenige dominierende und gerichtet abstrahlende Schallquellen vor reflektierender Oberfläche	-3
Industriegebäude, wenige dominierende und gerichtet abstrahlende Schallquellen vor absorbierender Oberfläche	0

Anhang C **(informativ)**

Schalldämm-Maß

Die Schalldämm-Maße von Bauteilen können sowohl durch Messungen im Prüfstand nach ISO 10140-2 als auch durch Messungen der Fassadenschalldämmung am Bau nach ISO 16283-3 gewonnen werden. Einige Angaben über das Schalldämm-Maß nach diesen Normen sind auch in ISO 12354-1 und ISO 12354-3 enthalten.

Die Abmessungen der Bauteile und die Befestigungsverfahren weichen jedoch im Allgemeinen deutlich von den bei Prüfstandmessungen verwendeten ab. Dies kann zu großen Abweichungen zwischen den aus Prüfstandmessungen gewonnenen akustischen Daten der Bauteile und den Werten in der tatsächlichen Situation führen. Darüber hinaus wird das Schalldämm-Maß von miteinander verbundenen Bauteilen gewöhnlich durch die Schallübertragung über die Stoßstellen zwischen den Bauteilen und die Abdichtung von Schlitz- und kleinen Öffnungen begrenzt. Diese Übertragung ist schwer vorhersagbar und wird im Allgemeinen durch Messungen im Prüfstand nicht angemessen nachgebildet. Aus diesen Gründen wird dringend empfohlen, Daten zu verwenden, die aus repräsentativen Messungen am Bau gewonnen wurden. Werden Werte aus Prüfstandmessungen verwendet, ist es ratsam, das sich ergebende Schalldämm-Maß für ein Segment in jedem Frequenzband auf einen praktischen Höchstwert zu begrenzen, der für die Art der Konstruktionen und die betrachtete Situation zutreffend ist.

Eine Direktanregung des Gebäudes durch Schallquellen in seinem Innern führt zur Körperschallübertragung durch das Gebäude, die zur Schallabstrahlung beitragen könnte. Eine Abschätzung dieses Beitrags kann in Übereinstimmung mit den entsprechenden Abschnitten von EN 12354-5 gewonnen werden.

Anhang D (informativ)

Richtwirkung der Schallabstrahlung

D.1 Allgemeines

Große homogene Konstruktionen besitzen oberhalb der kritischen Frequenz eine Richtwirkung, die insgesamt zu einer höheren Schallabstrahlung parallel zur Ebene als in senkrechter Richtung führt. Aufgrund von Inhomogenitäten in praktischen Ausführungen und Undichtigkeiten ist dies in der Regel jedoch nicht von großer Bedeutung. Große ebene Konstruktionen strahlen Schall im Wesentlichen nur in eine Halbkugel ab, d. h. der Raumwinkel, in den die Abstrahlung erfolgt, beträgt $\Omega = 2\pi$, was zu $D_c = +3$ dB führt. In der Praxis schwankt die Richtwirkungskorrektur vor einer Ebene zwischen $D_c = +5$ dB und $D_c = -5$ dB. Es darf ein Mittelwert von $D_c = 0$ dB für Abstrahlwinkel zwischen 0° und 90° bezogen auf die Flächennormale angenommen werden.

D.2 Öffnungen

Öffnungen strahlen im Allgemeinen hauptsächlich senkrecht zur Öffnungsfläche ab. Das Richtwirkungsmaß schwankt in grober Näherung zwischen $D_1 = +2$ dB and $D_1 = -10$ dB. Wird ein Schalldämpfer angebracht (Absorptionsschalldämpfer, ausgekleideter Kanal), kann die Richtwirkung senkrecht zur Öffnungsfläche noch ausgeprägter sein.

Bei einer Öffnung in einer Ebene oder nahe (d. h. im Abstand von weniger als einer Wellenlänge) bei einer oder mehreren reflektierenden Flächen kann der Einfluss dieser Ebenen durch die Richtwirkungskorrektur berücksichtigt werden, indem der Raumwinkel betrachtet wird, in den hinein Schall abgestrahlt werden kann. Liegt die Öffnung weit von der Ebene entfernt, z. B. am Ende eines Kanals, der durch die Ebene hindurchtritt, erfolgt die Abstrahlung in alle Richtungen, und die Richtwirkungskorrektur sollte ausschließlich das Richtwirkungsmaß der Öffnung selbst beinhalten. Die Ebene wird dann im Rahmen der Ausbreitungsrechnung als reflektierendes Objekt berücksichtigt.

Anhang E (informativ)

Vereinfachtes Modell zur Vorausberechnung der Außenschalldruckpegel

Durch das vereinfachte Modell entfällt die Notwendigkeit, ein Gitter von punktförmigen Ersatzschallquellen zu konstruieren. Dies wird dadurch erreicht, dass das Ergebnis der Gitterberechnung unter einschränkenden Randbedingungen angegeben wird, so dass sich der Schalldruckpegel des von der Gebäudeseite abgestrahlten Schalls unmittelbar ergibt. Dieses Verfahren gilt für die folgenden Situationen:

- derselbe Innenschalldruckpegel gilt für den gesamten Teil der jeweiligen Gebäudeseite;
- der Abstand zum Aufpunkt ist relativ klein;
- der Abstand von großen Öffnungen zum Aufpunkt ist groß gegenüber deren Abmessungen;
- Beiträge einzelner Schallquellen werden nicht berücksichtigt;
- zwischen der Gebäudehülle und dem Aufpunkt sind keine Abschirmungen vorhanden;
- die Geländeoberfläche ist größtenteils hart.

Der Abstand zur Seite des Gebäudes darf im Verhältnis zu den Gebäudeabmessungen klein sein, er darf aber nicht so groß sein, dass meteorologische Einflüsse (weniger als etwa 100 m) oder Strahlungsbeiträge von anderen Gebäudeseiten wesentlich würden. Die letztgenannte Annahme trifft gewöhnlich zu, solange der Pegel der von der jeweiligen anderen Seite des Gebäudes abgestrahlten Schalleistung nicht wesentlich größer ist als für die betrachtete Gebäudeseite.

Es wird angenommen, dass die betrachtete Gebäudeseite den Schall gleichförmig über die gesamte Fläche abstrahlt, sodass sich ein Gesamtschallleistungspegel ergibt. Durch die Nachbildung der Gebäudeseite durch mehrere identische punktförmige Ersatzschallquellen kann die Dämpfung infolge geometrischer Divergenz für die Gebäudehülle als Ganzes aus der Dämpfung infolge geometrischer Divergenz für eine Punktschallquelle ermittelt werden, indem unter Annahme einer für den betrachteten Abstand ausreichenden Punktschallquellendichte über alle punktförmigen Ersatzschallquellen summiert wird. Zusammen mit der Abstrahlung der Seite des Gebäudes in eine Viertelkugel, die durch die Gebäudeseite selbst und den harten Boden begrenzt wird, ergibt sich daraus ein Ausdruck für die Gesamtausbreitungsdämpfung, der für dieses vereinfachte Modell als geschätzte Gesamtausbreitungsdämpfung A'_{tot} bezeichnet wird.

Durch die Annahme, dass die Abstrahlung nur in einen Viertelraum hinein erfolgt, was wiederum zu einem Beitrag von +6 dB zur Richtwirkungskorrektur vor der Gebäudeseite führt, sind die sich ergebenden Schalldruckpegel im Allgemeinen sichere Schätzungen. In den Fällen, wo der Boden zwischen dem Gebäude und dem Aufpunkt im Wesentlichen absorbierende Eigenschaften hat, wird der Schalldruckpegel höchstens um einige wenige Dezibel überschätzt.

Der resultierende Schalldruck am Aufpunkt vor einer Gebäudeseite ergibt sich aus der Gleichung (E.1):

$$L_p = 10 \lg \left(10^{L_{W,e}/10} + 10^{L_{W,o}} \right) - A'_{\text{tot}} \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

- $L_{W,e}$ der Schalleistungspegel der gesamten Seite der Gebäudehülle, in Dezibel;
- $L_{W,o}$ der Schalleistungspegel für die (Gruppe von) Öffnungen in der Gebäudeseite, in Dezibel;
- A'_{tot} die geschätzte Gesamtausbreitungsdämpfung aufgrund von geometrischer Divergenz, Richtwirkung und Bodeneffekt, die sich nach dem vereinfachten Ausbreitungsmodell für die Gebäudeseite ergibt, in Dezibel.

Der Schalleistungspegel für die betrachtete Seite der Gebäudehülle als Ganzes und für die betrachtete zusammengefasste Gruppe von Öffnungen wird nach 4.3 berechnet.

Für Aufpunkte vor der betrachteten Gebäudeseite ergibt sich die geschätzte Gesamtausbreitungsdämpfung aus Gleichung (E.2) (siehe Bild E.1):

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{S_0}{\pi S} \left(\tan^{-1} \frac{l_1}{d_{\perp}} + \tan^{-1} \frac{l_2}{d_{\perp}} \right) \left(\tan^{-1} \frac{h_1}{d_{\perp}} + \tan^{-1} \frac{h_2}{d_{\perp}} \right) \quad (\text{E.2})$$

Dabei ist

- d_{\perp} der senkrechte Abstand vom Aufpunkt zur Ebene der Gebäudeseite, in Meter;
- S die Fläche der Gebäudeseite, in Quadratmeter;
- S_0 die Bezugsfläche, in Quadratmeter; $S_0 = 1 \text{ m}^2$;
- l_1, l_2 die horizontalen Abstände zu den beiden Begrenzungen der Gebäudeseite von der Projektion des Aufpunktes auf die Gebäudeseite, in Meter;
- h_1, h_2 die vertikalen Abstände zu den beiden Begrenzungen der Gebäudeseite von der Projektion des Aufpunktes auf die Gebäudeseite, in Meter.

ANMERKUNG 1 Bei der Herleitung dieser Gleichung ausgehend von der Abstrahlung von Punktschallquellen wurde eine Näherung verwendet, die für Abstände gilt, die groß sind im Verhältnis zu den Abmessungen der abstrahlenden Gebäudeseite. Jedoch hat sich gezeigt, dass hieraus für kleinere Abstände Werte resultieren, die nachgewiesenermaßen realistischer sind als die sich bei korrekter Herleitung ergebenden. Dies liegt an der tatsächlichen Richtwirkung einer abstrahlenden Gebäudeseite.

ANMERKUNG 2 Für einen Aufpunkt vor der Seitenmitte ($d = d_{\perp}$, $l_1 = l_2$, $h_1 = h_2$) vereinfacht sich die Gleichung wie folgt:

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{4S_0}{\pi S} \tan^{-1} \frac{L}{2d} \tan^{-1} \frac{H}{2d}$$

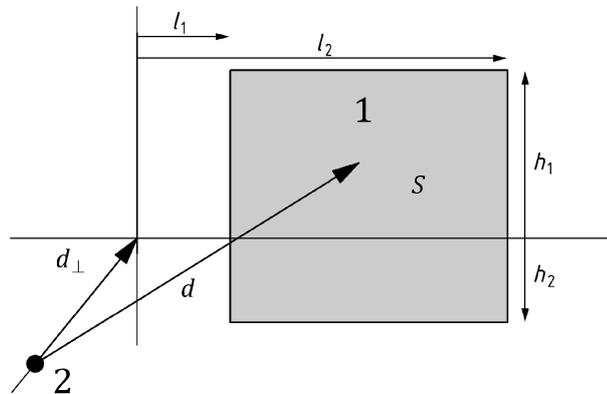
Dabei ist

- L die Breite ($= 2 l_1 = 2 l_2$);
- H die Höhe der schallabstrahlenden Fläche in Meter; ($S = L H$).

ANMERKUNG 3 Für einen Abstand, der größer als die größte Abmessung der Gebäudeseite ist, vereinfacht sich die Gleichung für die Dämpfung wie folgt:

$$A'_{\text{tot}} = -10 \lg \frac{S_0}{\pi d^2}$$

Dabei ist d der Abstand zur Mitte der Ebene in Meter.



Legende

- 1 Gebäudeseite
- 2 Aufpunkt

Bild E.1 — Veranschaulichung der geometrischen Situation bei einer schallabstrahlenden Gebäudeseite und einem Aufpunkt

Wenn die Projektion des Aufpunkts außerhalb der schallabstrahlenden Fläche S liegt, werden die kleinsten Werte von l und/oder h negativ eingesetzt, d.h. der entsprechende \tan^{-1} -Term wird von dem jeweils anderen subtrahiert. Anderenfalls werden beide Abstände l und/oder h positiv eingesetzt.

Der Schalldruckpegel in einem Abstand, der wesentlich kleiner ist als die Abmessungen der Gebäudeseite, kann örtlich von dem berechneten mittleren Pegel abweichen, wenn die Schalldämm-Maße der zusammengefassten Teile sehr stark schwanken oder der Abstand zu Öffnungen und Schallquellen zu gering ist.

Da der Dämpfungsterm frequenzunabhängig ist, können die Berechnungen des A-bewerteten Schalldruckpegels aus den A-bewerteten Schalleistungspegeln unmittelbar durchgeführt werden.

ANMERKUNG 4 Bei einem Aufpunkt in sehr geringem Abstand von z. B. 1 m von einem Teil der Gebäudehülle kann unter der Annahme, dass der Aufpunkt wesentlich weiter vom Boden entfernt ist als von der Gebäudehülle, in den Gleichungen (2), (E.1) und (E.2) die Bodenreflexion vernachlässigt und wie folgt vereinfacht werden:

$$L_{p,d=1m} = L_{p,in} + C_d - R' + 4$$

Diese Beziehung kann zur Abschätzung des Bau-Schalldämm-Maßes dieses Teils der Gebäudehülle aus Messungen vor Ort benutzt werden.

Anhang F (informativ)

Anwendung des Modells auf Einzahlangaben

F.1 Allgemeines

In einigen Fällen sind nur der A-bewertete Schalldruckpegel innerhalb des Gebäudes und die bewerteten Daten der die Gebäudehülle bildenden Bauteile bekannt. In diesen Fällen können die folgenden Leitlinien zur Ermittlung eines groben Schätzwerts der A-bewerteten Schalleistungspegel nach 4.3 angewandt werden.

F.2 Eingangsdaten

Folgende Eingangsdaten sind in Betracht zu ziehen:

- der A-bewertete Schalldruckpegel $L_{pA,in}$ in Dezibel innerhalb des Gebäudes;
- das bewertete Schalldämm-Maß R_w und die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} in Übereinstimmung mit ISO 717-1 der großen Bauteile der Gebäudehülle;
- die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ für das Bauteil und die Spektrum-Anpassungswerte C und C_{tr} in Übereinstimmung mit ISO 717-1 der kleinen Bauteile der Gebäudehülle.

F.3 Modell für Einzahlangaben

In Übereinstimmung mit Gleichung (F.1) wird der A-bewertete Schalleistungspegel L_{WA} , der von einem Segment von Bauteilen der Gebäudehülle abgestrahlt wird, wie folgt abgeschätzt:

$$L_{WA} = L_{pA,in} - 6 - X'_{As} + 10 \lg \frac{S}{S_0} \quad (F.1)$$

Dabei ist

- $L_{pA,in}$ der A-bewertete Schalldruckpegel im Abstand von 1 m bis 2 m von der Innenseite des Segments j , in Dezibel;
- X'_{As} die Kenngröße für die A-bewertete Schallpegeldifferenz beim Durchgang durch das Segment j bei einem Quellenspektrum s , in Dezibel;
- S die Fläche des Segments j , in Quadratmeter;
- S_0 die Bezugsfläche, in Quadratmeter; $S_0 = 1 \text{ m}^2$.

ANMERKUNG In einigen Ländern wird X'_{A1} als bewertetes Schalldämm-Maß R'_A angegeben und X'_{A2} als bewertetes Schalldämm-Maß R'_{Atr} .

Die Kennzeichnung der A-bewerteten Schallpegeldifferenz für das Segment ergibt sich aus den Daten der zusammengefassten Bauteile i nach Gleichung (F.2):

$$X'_{As} = -10 \lg \left(\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{S} 10^{-(R_{w,i}+C_{s,i})/10} + \sum_{i=1}^m \frac{A_0}{S} 10^{-(D_{n,e,w,1}+C_{s,i})/10} \right) \quad (\text{F.2})$$

Dabei ist

- $R_{w,i}$ das bewertete Schalldämm-Maß des Bauteils i , in Dezibel;
- $D_{n,e,w,i}$ die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz eines kleinen Bauteils i , in Dezibel;
- $C_{s,i}$ der Spektrum-Anpassungswert des Bauteils i für das Spektrum s , in Dezibel;
- S_i die Fläche des Bauteils i , in Quadratmeter;
- A_0 die Bezugsabsorptionsfläche, in Quadratmeter; $A_0 = 10 \text{ m}^2$;
- m die Anzahl der großen Bauteile des Segments;
- n die Anzahl der kleinen Bauteile des Segments.

In ISO 717-1 bezieht sich das Spektrum $s = 1$ auf A-bewertetes Rosa Rauschen, wobei der Spektrum-Anpassungswert mit C bezeichnet wird; dieses Spektrum gilt auch für Geräusche in Betrieben, bei denen mittel- und hochfrequentes Geräusch vorherrscht (ISO 717-1:2013, Anhang A). Das Spektrum $s = 2$ bezieht sich auf A-bewerteten Straßenverkehrslärm, wobei der Spektrum-Anpassungswert mit C_{tr} bezeichnet wird; dieses Spektrum gilt auch für Betriebe, in denen tief- und mittelfrequentes Geräusch vorherrscht sowie für Diskotheken.

F.4 Einschränkungen

Da das Verfahren für die Beurteilung der Einzahlangaben des Schalldämm-Maßes ein Spektrum im Gebäudeinnern mit vorherrschend hohen oder niedrigen Frequenzen voraussetzt, hängt die Genauigkeit des geschätzten A-bewerteten Schalleistungspegels von der Übereinstimmung zwischen dem tatsächlichen Spektrum des Schalls im Gebäudeinnern und dem gewählten festgelegten Spektrum in Übereinstimmung mit ISO 717-1 ab. Der A-bewertete Schalleistungspegel kann jedoch für solche Spektren, bei denen die bestimmenden Geräuschanteile bei Frequenzen um und unterhalb 250 Hz liegen, immer noch zu gering eingeschätzt werden.

Das Schallfeld im Gebäudeinnern sollte diffus sein. Diese Bedingung wird in abgeschlossenen, vergleichsweise gleichförmigen Räumen mit geringer Schallabsorption erfüllt.

Anhang G (informativ)

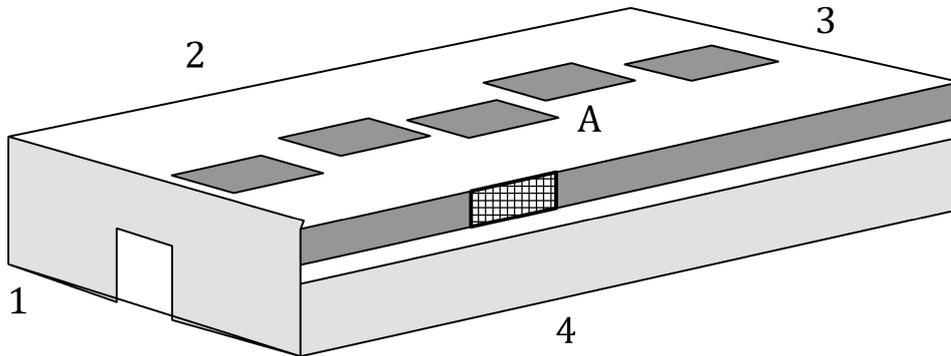
Berechnungsbeispiel

G.1 Bausituation

G.1.1 Allgemeines

Industriegebäude, Breite 60 m, Länge 100 m, Höhe 10 m (siehe Bild G.1)

- Seite 1, 10 m × 60 m: 100 mm Leichtbeton mit großem Industrietor 6 m × 4 m;
- Seite 2, 10 m × 100 m: 100 mm Leichtbeton mit Verglasung über die gesamte Länge; Höhe 1 m, 4 mm Glas, teilweise zu öffnen;
- Seite 3, 10 m × 60 m: 100 mm Leichtbeton mit einer kleinen Tür 1 m × 2 m;
- Seite 4, 10 m × 100 m: wie Seite 2, mit schallgedämpfter Lüftungsöffnung (Gesamtöffnung 1 m × 4 m);
- Seite 5, 60 m × 100 m: biegeweiches Metaldach mit fünf verglasten Oberlichtern (2 m × 2 m) auf der Mittellinie.



Legende

- 1, 2, 3, 4 Gebäudeseiten
A Dach

Bild G.1 — Darstellung eines Gebäudes als Beispiel

Der Schalldruckpegel in der Nähe der Wände und des Dachs ist gleich, siehe Aufstellung in Tabelle G.1.

Die akustischen Eigenschaften der Gebäudebauteile sind in Tabelle G.2. angegeben.

Weder das Dach noch die Wände haben eine schallabsorbierende Innenverkleidung. Der Mindestabstand für interessierende Aufpunkte ist 50 m von den Gebäudeseiten.

Tabelle G.1 — Innenschalldruckpegel in Oktavbändern

Stufe	Oktavbänder							
	Hz							
	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
$L_{p,in}$ dB bezogen auf 20 μ Pa	70	74	76	72	70	67	62	57

G.1.2 Akustische Daten für Bauteile

Tabelle G.2 — Akustische Daten für die Bauteile des Gebäudes als Eingangswerte für die Berechnungen

Bauteil	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
	dB	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
100 mm Leichtbeton	R^a	32	36	36	33	39	49	57	63
4 mm Glasfenster	R^a	15	19	23	25	25	25	25	25
Industrietor	R^b	21	23	28	30	30	30	30	30
normale Tür	R^b	13	17	22	25	25	25	25	25
Dachkonstruktion	R^b	16	24	27	30	37	44	47	49
Glasbauteile für das Dach	R^b	9	11	15	22	26	30	30	30
Lüftungsschalldämpfer	D^a	0	4	11	13	10	8	8	5

^a Daten aus Prüfstandmessungen.
^b Daten aus Messungen am Bau.

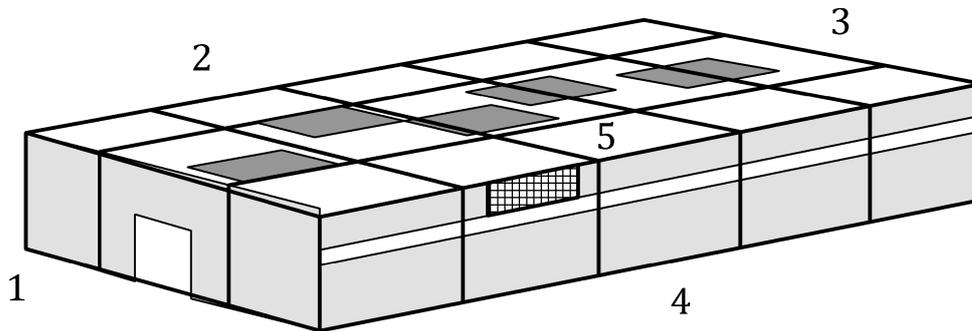
G.2 Ergebnisse des vollständigen Modells

G.2.1 Punktförmige Ersatzschallquellen

Aus dem Mindestabstand $d = 50$ m ergeben sich folgende zulässige Höchstabmessungen der Segmente (siehe Bild G.2):

- Wandsegment = $1/4 \sqrt{2} d = 17,7$ m, woraus sich Segmente von 10 m \times 20 m ergeben;
- Dachsegment = $1/4 \sqrt{2} (d + 30) = 28,3$ m, woraus sich Segmente von 20 m \times 20 m ergeben;
- Seite 1: drei punktförmige Ersatzschallquellen; $j = 1$ mit Tor, $j = 2,3$ ohne Tor;
- Seite 2: fünf punktförmige Ersatzschallquellen; $j = 1$ bis 5, alle identisch;
- Seite 3: drei punktförmige Ersatzschallquellen; $j = 1$ mit Tor, $j = 2,3$ ohne Tor;
- Seite 4: sechs punktförmige Ersatzschallquellen; $j = 1$ bis 5 identische Segmente der Gebäudehülle, $j = 6$ für Öffnungen;

— Seite 5: 15 punktförmige Ersatzschallquellen; j = 1 bis 5 identische Dachsegmente mit biegeweichen Glasbauteilen, j = 6 bis 15 identische Dachsegmente ohne Glas.



Legende

- 1, 2, 3, 4 Gebäudeseiten
- 5 Dach

Bild G.2 — Darstellung der Einteilung des Gebäudes in Segmente

G.2.2 Schalleistungspegel

Für jedes Segment ergibt sich der Schalleistungspegel aus den Eingangsdaten und den Gleichungen (2) bis (5). In den Tabellen G.3 bis G.7 ist dies für die Segmente jeder Gebäudeseite dargestellt.

Tabelle G.3 — Berechnung des Schalleistungspegels für Segmente der Gebäudeseite 1

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
alle Segmente	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
alle Segmente	C_d , Anhang B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmente der Gebäudehülle mit Tor (j = 1)	R' , Gleichung (3), Wand + Tor ^a	28,2	30,8	33,9	31,8	34,8	36,4	36,5	36,5
	$10 \lg S/S_0$	23	23	23	23	23	23	23	23
	L_W , Gleichung (2)	59,8	61,2	60,1	58,2	53,2	48,6	43,5	38,5
	D_c , Anhang D ^b	0	0	0	0	0	0	0	0
Segmente der Gebäudehülle ohne Tor (j = 2,3)	R' , Gleichung (3), Wand ^a	32	36	36	33	36	39	40	40
	$10 \lg S/S_0$	23	23	23	23	23	23	23	23
	L_W , Gleichung (2)	56	56	58	57	52	46	40	35
	D , Anhang D ^b	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Das Bau-Schalldämm-Maß ist auf 40 dB beschränkt, um der Situation am Bau Rechnung zu tragen.
^b Ein Raumwinkelmaß von 3 dB für die Richtungen vor der Gebäudeseite ist eingeschlossen.

Tabelle G.4 — Berechnung des Schalleistungspegels für Segmente der Gebäudeseite 2

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
alle Segmente	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
alle Segmente	C_d , Anhang B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmente der Gebäudehülle (j = 1 bis 5)	R' , Gleichung (3), Wand + Glas ^a	24,2	28,0	30,8	30,6	32,8	33,7	33,8	33,8
	$10 \lg S/S_0$	23	23	23	23	23	23	23	23
	L_W , Gleichung (2)	63,8	64,0	63,2	59,4	55,2	51,3	46,2	41,2
	D_c , Anhang D ^b	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Das Bau-Schalldämm-Maß ist auf 40 dB beschränkt, um der Situation am Bau Rechnung zu tragen.
^b Ein Raumwinkelmaß von 3 dB für die Richtungen vor der Gebäudeseite ist eingeschlossen.

Tabelle G.5 — Berechnung des Schalleistungspegels für Segmente der Gebäudeseite 3

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
alle Segmente	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
alle Segmente	C_d , Anhang B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmente der Gebäudehülle mit Tor (j = 1)	R' , Gleichung (3), Wand + Tor ^a	29,4	32,6	33,8	32,0	35,9	38,4	38,7	38,8
	$10 \lg S/S_0$	23	23	23	23	23	23	23	23
	L_W , Gleichung (2)	58,6	59,4	60,2	58,0	52,1	46,6	41,3	36,2
	D_c , Anhang D ^b	0	0	0	0	0	0	0	0
Segmente der Gebäudehülle ohne Tor (j = 2,3)	L_W und D_c	wie Gebäudeseite 1, j = 2,3							

^a Das Bau-Schalldämm-Maß ist auf 40 dB beschränkt, um der Situation am Bau Rechnung zu tragen.
^b Ein Raumwinkelmaß von 3 dB für die Richtungen vor der Gebäudeseite ist eingeschlossen.

Tabelle G.6 — Berechnung des Schalleistungspegels für Segmente der Gebäudeseite 4

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
alle Segmente	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
alle Segmente	C_d , Anhang B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmente der Gebäudehülle (j = 1 bis 5)	L_W	wie Gebäudeseite 2, j = 1 bis 5							
Segment der Öffnungen (j = 6)	D	0	4	11	13	10	8	8	5

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
	$10 \lg S_i/S_o$ $S_i = 4 \text{ m}^2$	6	6	6	6	6	6	6	6
	L_W , Gleichung (4)	71	71	66	60	61	60	55	53
	D_C , Öffnung in einer Ebene, Anhang D ^a	3	3	3	3	3	3	3	3

^a Ein Raumwinkelmaß von 3 dB für die Richtungen vor der Gebäudeseite ist eingeschlossen.

Tabelle G.7 — Berechnung des Schalleistungspegels für Segmente der Gebäudeseite 5 (Dach)

Segmente	Größe	Oktavbandmittenfrequenzen							
		Hz							
		63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k
alle Segmente	$L_{p,in}$	70	74	76	72	70	67	62	57
alle Segmente	C_d , Anhang B	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
Segmente mit Glas (j = 1 bis 5)	R' , Gleichung (3), Dach + Glas	15,8	23,2	26,3	29,8	36,5	43,1	45,3	46,5
	$10 \lg S/S_o$	26	26	26	26	26	26	26	26
	L_W , Gleichung (2)	75,2	71,8	70,7	63,2	54,5	44,9	37,7	31,5
Segmente ohne Glas (j = 6 bis 15)	R' , Gleichung (3), Dach	16	24	27	30	37	44	47	49
	$10 \lg S/S_o$	26	26	26	26	26	26	26	26
	L_W , Gleichung (2)	75	71	70	63	54	44	36	29
	D_C , Anhang D ^a	0	0	0	0	0	0	0	0

^a Ein Raumwinkelmaß von 3 dB für die Richtungen vor der Gebäudeseite ist eingeschlossen.

G.3 Ergebnisse nach dem vereinfachten Modell

Der Schalleistungspegel für eine Gebäudeseite wird wie in G.2 berechnet, hier durch Behandlung der gesamten Gebäudeseite als ein Segment. Der Gesamtschalleistungspegel für jede Gebäudeseite kann damit auch aus den Ergebnissen in den Tabellen G.3 bis G.7 durch Addition der Schalleistungspegel aller Segmente einer Gebäudeseite hergeleitet werden. In Tabelle G.8 sind die Ergebnisse für alle Gebäudeseiten einschließlich des A-bewerteten Schalleistungspegels angegeben.

Tabelle G.8 — Berechnung der A-bewerteten Schalleistungspegel L_{WA} für Gebäudeseiten

L_W (dB bezogen auf pW)	Oktavbandmittenfrequenzen								A-bewertet
	Hz								
	63	125	250	500	1 k	2 k	4 k	8 k	
Seite 1	62,4	63,3	63,6	62,2	57,2	51,8	46,3	41,3	62,9
Seite 2	70,8	71,0	70,2	66,4	62,2	58,3	53,2	48,2	68,3
Seite 3	61,8	62,2	63,6	62,1	56,8	51,0	45,2	40,2	62,6
Seite 4	74,3	74,4	72,2	67,9	65,1	62,6	57,5	54,5	70,9
Seite 5 (Dach)	86,8	83,0	82,0	74,8	65,9	56,1	48,4	41,8	76,6

Das Ergebnis für den Schalldruckpegel ergibt sich aus der Gesamtausbreitungsdämpfung für jede Seite in Abhängigkeit vom Abstand und der relativen Lage des Aufpunktes. Da diese Dämpfungsterme für das vereinfachte Modell frequenzunabhängig sind, kann die Berechnung direkt die A-bewerteten Schalldruckpegel ergeben. In Tabelle G.9 sind die Ergebnisse nach Berechnungen mit Hilfe der Gleichungen (E.1) und (E.2) für einige Aufpunkte jeweils vor der Mitte von Gebäudeseite 1 und Gebäudeseite 4 zusammengestellt.

In diesem Beispiel ist der Schalleistungspegel für die Gebäudeseite 1 wesentlich geringer als derjenige des Daches oder der Gebäudeseite 4. Daher ist es möglich, dass der Schalldruckpegel in einem größeren Abstand für diese Seite zu niedrig geschätzt wird, da die Abstrahlung von anderen Gebäudeseiten nicht berücksichtigt wird. Für Seite 4 wird dies nicht der Fall sein.

Tabelle G.9 — Berechnung der A-bewerteten Schalldruckpegel an Aufpunkten jeweils vor der Mitte der Gebäudeseiten 1 und 4 (siehe Bild G.1)

Abstand d	Größe	L_{pA} Gebäudeseite 1	L_{pA} Gebäudeseite 4
		dB	dB
5 m	L_{WA}	62,9	70,9
	A'_{tot} Gleichung (E.2)	26,3	28,3
	L_{pA} Gleichung (E.1)	36,6	42,6
25 m	L_W	62,9	70,9
	A'_{tot} Gleichung (E.2)	34,4	35,6
	L_{pA} Gleichung (E.1)	28,5	35,3

Literaturhinweise

- [1] GÖSELE, K. and P. LUTZ. Study of the prediction of sound radiation by industrial halls (in German). *Fortschrittberichte VDI Zeitschrift*. 11/21. 1975
- [2] JAKOBSEN, J. Prediction of noise emission from façades of industrial buildings. *Danish Acoustical Laboratory*. Report 25. 1981
- [3] GERRETSEN, E., W.C. VERBOOM. Sound radiation by walls and buildings (in Dutch). ICG-report IL-HR-13-02. 1982
- [4] RATHE E.J. Note on two common problems of sound propagation. *J. Sound Vibrat.* 1969, **10** p. 472
- [5] MAEKAWA Z. Noise reduction by distance from sources of various shapes. *Appl. Acoust.* 1970, **3** (3) p. 3
- [6] ISO 717-1:2013, *Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements — Part 1: Airborne sound insulation*
- [7] ISO 9613-2, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 2: General method of calculation*
- [8] ISO 10140-2, *Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements — Part 2: Measurement of airborne sound insulation*
- [9] ISO 12354-1:2017, *Building Acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 1: Airborne sound insulation between rooms*
- [10] ISO 12354-3, *Building Acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements — Part 3: Airborne sound insulation against outdoor sound*
- [11] EN 12354-5, *Bauakustik — Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften — Teil 5: Installationsgeräusche*