

DIN EN 1793-5



ICS 17.140.30; 93.080.30

Einsprüche bis 2023-09-21
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1793-5:2018-12

Entwurf

**Lärmschutzvorrichtungen an Straßen –
Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften –
Teil 5: Produktspezifische Merkmale – Schallabsorption in gerichteten
Schallfeldern;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1793-5:2023**

Road traffic noise reducing devices –

Test method for determining the acoustic performance –

Part 5: Intrinsic characteristics – Sound absorption under direct sound field conditions;
German and English version prEN 1793-5:2023

Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier –

Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique –

Partie 5: Caractéristiques intrinsèques – Absorption acoustique dans des conditions de champ
acoustique direct;

Version allemande et anglaise prEN 1793-5:2023

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-07-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 146 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1793-5:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-10-26 AA „Lärmschutzvorrichtungen (SpA zu CEN/TC 226/WG 6) Gemeinschaftsausschuss mit FGSV“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1793-5:2018-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Begriffsdefinitionen 3.1 bis 3.7 entsprechend der letzten Version von EN 14388 aktualisiert;
- b) Einzelwert DL_{RI} wird jetzt mit einer Dezimalstelle angegeben;
- c) Anhang A zum Niederfrequenz-Grenzwert und der Fensterbreite hinzugefügt;
- d) ein Wert für Standardabweichung der Reproduzierbarkeit und der Wiederholbarkeit in jedem Terzfrequenzband beibehalten, anstelle von 3 Werten (Minimum, Maximum, Median) wie zuvor (siehe Tabelle B.1);
- e) Anhang C (Muster für den Prüfbericht) ist jetzt normativ;
- f) Beispiel in C.5 zur Angabe der Messunsicherheit wurde entsprechend aktualisiert;
- g) Anhang C der EN 1793-5:2016 gestrichen.

Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 5: Produktspezifische Merkmale – Schallabsorption in gerichteten Schallfeldern

Road traffic noise reducing devices – Test method for determining the acoustic performance – Part 5: Intrinsic characteristics – Sound absorption under direct sound field conditions

Dispositifs de réduction du bruit du trafic routier – Méthode d'essai pour la détermination de la performance acoustique – Partie 5: Caractéristiques intrinsèques – Absorption acoustique dans des conditions de champ acoustique direct

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	13
5 Messungen des Schallreflexionsindex	16
5.1 Allgemeines Prinzip	16
5.2 Messgröße	16
5.3 Prüfanordnung	19
5.3.1 Zum Zweck von Prüfungen hergestellte Prüfkörper in Originalgröße	19
5.3.2 Aufgestellte Lärmschutzvorrichtung an Straßen	20
5.3.3 Geneigte oder gewölbte Lärmschutzvorrichtungen an Straßen	22
5.4 Messapparatur	25
5.4.1 Komponenten des Messsystems	25
5.4.2 Schallquelle	26
5.4.3 Prüfsignal	26
5.5 Datenverarbeitung	27
5.5.1 Kalibrierung	27
5.5.2 Abtastrate und Filterung	28
5.5.3 Hintergrundgeräusch	29
5.5.4 Signalsubtraktionsverfahren	30
5.5.5 Genaue Verfahrensweise für die Ausrichtung	31
5.5.6 Adrienne-Zeitfenster	33
5.5.7 Platzierung des Adrienne-Zeitfensters	35
5.5.8 Größte abgetastete Fläche	37
5.6 Positionierung der Messeinrichtung	37
5.6.1 Allgemeines	37
5.6.2 Auswahl der Messpositionen	38
5.6.3 Berücksichtigung der relevanten und Störreflexionen	46
5.6.4 Untere Frequenzgrenze	48
5.6.5 Reflektierende Gegenstände	49
5.6.6 Sicherheitsaspekte	49
5.7 Prüfkörperoberfläche und Witterungsbedingungen	49
5.7.1 Zustand der Prüfkörperoberfläche	49
5.7.2 Wind	50
5.7.3 Lufttemperatur	50
5.8 Einzahl-Angabe zur Schallabsorption in einem gerichteten Schallfeld DL_{RI}	50
5.9 Messunsicherheit	51
5.10 Ablauf der Messung	51
5.11 Prüfbericht	52
Anhang A (informativ) Untere Frequenzgrenze und Fensterbreite	54
A.1 Allgemeines	54
Anhang B (informativ) Messunsicherheit	59
B.1 Allgemeines	59
B.2 Messunsicherheit auf der Grundlage von Daten der Vergleichpräzision	59
B.3 Wiederholstandardabweichung und Vergleichstandardabweichung des Schallreflexionsindex	59
Anhang C (normativ) Vorlage für den Prüfbericht zum Schallreflexionsindex von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen	61
C.1 Allgemeines	61

C.2	Prüfaufbau (Beispiel)	63
C.3	Prüfkörper und Prüfsituation (Beispiel)	65
C.4	Prüfergebnisse (Beispiel)	67
C.4.1	Teil 1 — Ergebnisse in tabellarischer Form	67
C.4.2	Teil 2 — Ergebnisse in graphischer Form	68
C.5	Unsicherheit (Beispiel)	68
Anhang D (informativ)	Innenraummessungen zur Produktqualifizierung	70
D.1	Allgemeines	70
D.2	Störreflexionen	70
D.3	Nachhallzeit des Raums	70
Literaturhinweise		71

Bilder

Bild 1 — (nicht maßstäblich) Schema zur Überprüfung auf Halligkeit in vier Fällen	7
Bild 2 — (nicht maßstäblich) Skizze von Schallquelle und Messraster vor der Lärmschutzvorrichtung an Straßen	12
Bild 3 — (nicht maßstäblich) Messraster für Messungen des Schallreflexionsindex vor der zu prüfenden Vorrichtung (Beschallungsseite); die gelben Kreise zeigen die Mikrofonpositionen an, die mit M1 bis M9 bezeichnet sind	13
Bild 4 — (nicht maßstäblich) Skizze der Prüfanordnung zur Bezugsmessung des Schalls im „Freifeld“ zur Bestimmung des Schallreflexionsindex	13
Bild 5 — (nicht maßstäblich) Skizze der Mikrofonpositionen und Winkel zur Berechnung des Korrekturfaktors $C_{dir,k}$	19
Bild 6 — Skizze des minimalen, ebenen Prüfkörpers, der für die Messungen des Reflexionsindex im Frequenzbereich von 200 Hz bis 5 kHz erforderlich ist (siehe 5.5.7). Die neun weißen Punkte stellen das Messraster dar. Der dünne Kreis zeigt die größte, durch das zentrale Mikrofon abgetastete Fläche (5.5.8).	21
Bild 7 — (nicht maßstäblich) Skizze des Aufbaus zur Messung des Schallreflexionsindex vor einem nicht ebenen Prüfkörper mit einer räumlich periodischen, vertikalen Furchung (Periodenlänge L_p in senkrechter Richtung); eine zusätzliche Periode der Struktur, die oben auf den Prüfkörper hinzugefügt wurde, ist in hellerem Grau dargestellt	21
Bild 8 — (nicht maßstäblich) Skizzen des Aufbaus zur Messung des Reflexionsindex vor einer Lärmschutzvorrichtung an Straßen (Seitenansicht)	23
Bild 9 — (nicht maßstäblich) Skizzen des Aufbaus zur Messung des Reflexionsindex vor einer gewölbten Lärmschutzvorrichtung an Straßen (Seitenansicht)	24
Bild 10 — Skizze mit den wesentlichen Komponenten des Messsystems	25
Bild 11 — Prinzip des Signalsubtraktionsverfahrens	30
Bild 12 — Das Adrienne-Zeitfenster	34
Bild 13 — Beispiel für eine Impulsantwortmessung vor einer vertikalen, unebenen Lärmschutzwand a) vor der Signalsubtraktion b) nach der Signalsubtraktion	36
Bild 14 — Bezugspositionen des Messgitters ($n_R = 3$) — gekennzeichnet durch die gelben Kreise — bei einem ebenen, periodisch nichthomogenen Prüfkörper aus zwei verschiedenen Materialien mit einer Periode in waagerechter Richtung	42
Bild 15 — Bezugspositionen des Messgitters ($n_R = 9$) — gekennzeichnet durch gelbe Kreise — bei einem unebenen, homogenen Prüfkörper mit zwei verschiedenen Perioden in waagerechter und senkrechter Richtung (Vorderansicht)	44
Bild 16 — Skizze zur Veranschaulichung der verschiedenen Reflexionen, die an einem Mikrofon im Messraster auftreten (Seitenansicht)	47
Bild 17 — Skizze zur Veranschaulichung der Positionierung des Adrienne-Zeitfensters für die reflektierte Komponente	48
Bild A.1 — Fourier-Transformierte des Adrienne-Zeitfensters mit einer Breite von 7,9 ms	55
Bild A.2 — Untere Frequenzgrenze des Adrienne-Zeitfensters in Abhängigkeit von der Fensterbreite	56

Bild C.1 — (Beispiel) Gesamtansicht der Lärmschutzvorrichtung (Vorder-/Straßenseite) — weiße Kreise kennzeichnen die Messpositionen, die auf dem Pfostenabstand von 4 m beruhen	64
Bild C.2 — (Beispiel) Messanordnung des Lautsprechers und der Mikrofonanordnung während der Messung	65
Bild C.3 — (Beispiel) Draufsicht der Lärmschutzwand (Maße in Millimeter)	66
Bild C.4 — (Beispiel) Querschnitte der Lärmschutzvorrichtung (Maße in Millimeter)	67
Bild C.5 — Ergebnisse in graphischer Form	68
Bild D.1 — Hellgrau schattierter Freiraum um eine zu prüfende Vorrichtung auf der Beschallungsseite (Seitenansicht)	70

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen	14
Tabelle 2 — Abstände $d_{i,k}$, $d_{r,k}$ und Korrekturfaktoren $C_{geo,k}$ bei einer ebenen Referenzdeckschicht	17
Tabelle 3 — Sollwerte für: Weglängenunterschiede Δd_{k5} zwischen dem ersten Auftreffen des Direktschalls auf Mikrofon Nr. 5 und auf die anderen Mikrofone, Weglängenunterschiede Δd_k zwischen dem Auftreffen des direkten und des reflektierten Schalls auf Mikrofon k sowie zugehörige zulässige Abweichungen ε_k	45
Tabelle A.1 — Auf die nächste ganze Zahl gerundete untere Frequenzgrenze des Adrienne-Zeitfensters in Abhängigkeit von der Fensterbreite	56
Tabelle B.1 — Wiederholstandardabweichung und Vergleichstandardabweichung des Schallreflexionsindex nach dem QUIESST-Projekt [19], [21], [22]	60
Tabelle C.1 — Vorlage für den Prüfbericht zum Schallreflexionsindex von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen für Produkt xxxx, hergestellt durch Firma yyyy . .	61
Tabelle C.1 — Ergebnisse in tabellarischer Form	67
Tabelle C.2 — Schätzung der Unsicherheit der deklarierten Werte für RI	68

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1793-5:2023) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 226 „Straßenausstattung“, WG 6 „Lärmschutzeinrichtungen“, erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1793-5:2016 ersetzen.

EN 1793-5:2023 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber EN 1793-5:2016:

- Die Definitionen in 3.1 bis 3.7 wurden aktualisiert, damit sie mit der letzten Fassung der EN 14388 übereinstimmen;
- die Einzahl-Angabe DL_{RI} wird jetzt mit einer Dezimalstelle angegeben;
- Anhang A über die untere Frequenzgrenze und Fensterbreite wurde hinzugefügt;
- ein Wert für die Vergleich- und Wiederholstandardabweichung in jedem Terzband wurde beibehalten, anstelle von drei Werten (Minimum, Maximum und Median) wie zuvor (siehe Tabelle B.1);
- Anhang C (Vorlage des Prüfberichts) ist jetzt normativ;
- das Beispiel in C.5 zu den Angaben der Messunsicherheit wurde entsprechend aktualisiert;
- Anhang C der EN 1793-5:2016 wurde gelöscht.

EN 1793-5:2023 ist Teil einer Normenreihe und sollte in Verbindung mit den folgenden Normteilen gelesen werden:

- EN 1793-1:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 1: Produktspezifische Merkmale — Schallabsorption unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes*;
- EN 1793-2:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 2: Produktspezifische Merkmale — Luftschalldämmung unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes*;
- EN 1793-3:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum*;
- EN 1793-4:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 4: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte der Schallbeugung*;
- EN 1793-5:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 5: Produktspezifische Merkmale — Schallabsorption in gerichteten Schallfeldern*;
- EN 1793-6:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 6: Produktspezifische Merkmale — Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern*.

Einleitung

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen in nicht halligen Umgebungen (ein Maß für die produktspezifischen Eigenschaften). Die Methode bewertet die indirekte Schallabsorption durch Messung der Schallreflexion (die ergänzenden Merkmale). Sie kann sowohl in Innenräumen als auch im Freien eingesetzt werden. In Innenräumen kann sie in einer speziell dafür aufgebauten Prüfeinrichtung (in gerichteten Schallfeldern) angewendet werden. Im Freien kann sie sowohl in einer speziell aufgebauten Prüfeinrichtung, z. B. in der Nähe eines Labors oder einer Fabrik, als auch an *in situ*, d. h. dort, wo die Lärmschutzvorrichtungen an Straßen installiert sind, angewendet werden. Das Verfahren kann ohne Beschädigung der Prüfkörperoberfläche angewendet werden.

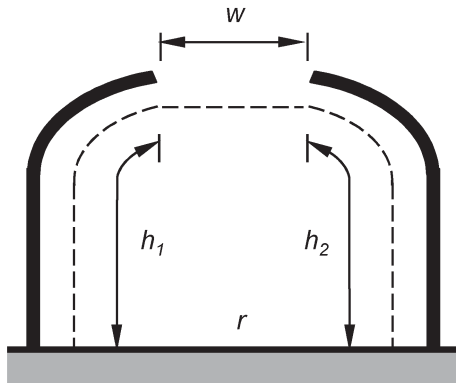
Das Verfahren kann zur Qualifizierung von Produkten, die entlang von Straßen eingesetzt werden, sowie zum Nachweis der Übereinstimmung eingebauter Lärmschutzvorrichtungen mit der Bemessungsfestlegung verwendet werden. Die regelmäßige Anwendung des Verfahrens kann zum Nachweis der Langzeitwirksamkeit von Lärmschutzvorrichtungen verwendet werden. Das Verfahren erfordert die Mittelwertbildung von Messergebnissen für verschiedene Punkte vor der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung und/oder für bestimmte Einfallswinkel. Es kann für die Untersuchung ebener und nicht ebener Produkte verwendet werden.

Die in diesem Verfahren ermittelten Messergebnisse für die Schallabsorption sind nicht mit den Ergebnissen vergleichbar, die unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes (EN 1793-1:2023) erzielt werden, hauptsächlich, weil das vorliegende Verfahren ein gerichtetes Schallfeld und kein diffuses Schallfeld nutzt. Das im vorliegenden Dokument beschriebene Prüfverfahren sollte nicht zur Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen verwendet werden, die in halligen Umgebungen eingebaut werden, z. B. innerhalb von Tunneln oder in tiefen Einschnitten.

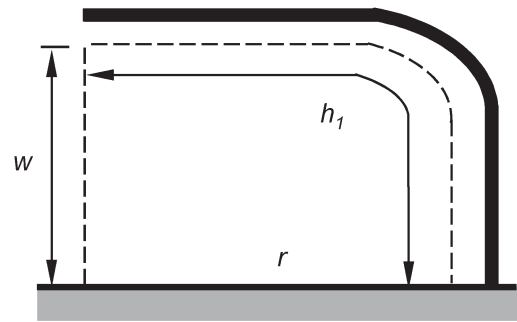
Für die Anwendung des vorliegenden Dokuments wurde der Begriff der Halligkeit über die Umhüllende e in einer Querschnittsebene durch Prüfkörper, Seitenhänge oder Gebäude definiert (die Umhüllende umfasst nicht die Straßenoberfläche), wie durch die gestrichelten Linien in Bild 1 gezeigt wird. Die Umgebung gilt als hallig, wenn der offene Anteil der Umhüllenden höchstens 25 % beträgt, d. h. Halligkeit liegt vor bei $w/e \leq 0,25$, wobei $e = (w + h_1 + h_2)$.

Bei diesem Verfahren wird eine spezifische Größe als Funktion der Frequenz, der so genannte Reflexionsindex, eingeführt, um die Schallreflexion vor einer Lärmschutzvorrichtung an Straßen zu definieren und daraus eine Einzahl-Angabe für die Schallabsorption zu berechnen, während die Messungen unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes (nach EN 1793-1:2023) einen Schallabsorptionsgrad als Funktion der Frequenz ergeben und daraus eine Einzahl-Angabe für die Schallabsorption berechnen. Die unter den Bedingungen eines diffusen Schallfeldes gemessenen Werte für den Schallabsorptionsgrad können in die üblichen Werte eines Schallreflexionsgrads umgerechnet werden, indem man auf das Komplement zu Eins übergeht. In diesem Fall lassen Forschungsstudien vermuten, dass zwischen den nach EN 1793-1:2023 ermittelten Daten eines diffusen Schallfeldes und Direktschallfelddaten, die nach dem im vorliegenden Dokument beschriebenen Verfahren ermittelt wurden, eine gewisse Übereinstimmung besteht [6], [9], [17], [18], [19].

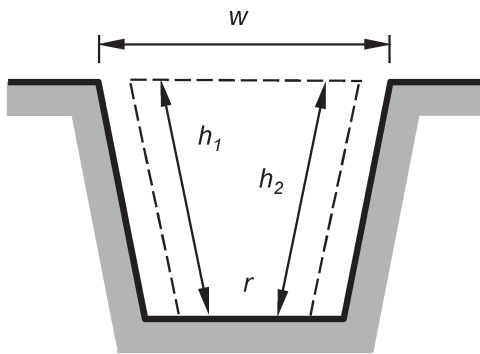
ANMERKUNG Dieses Verfahren kann zur Bewertung von Lärmschutzvorrichtungen für die Anwendung unter anderen Bedingungen angewendet werden, z. B. in der Nähe von Industriegeländen. In diesen Fällen können die Einzahl-Angaben vorzugsweise unter Verwendung eines geeigneten Spektrums berechnet werden.



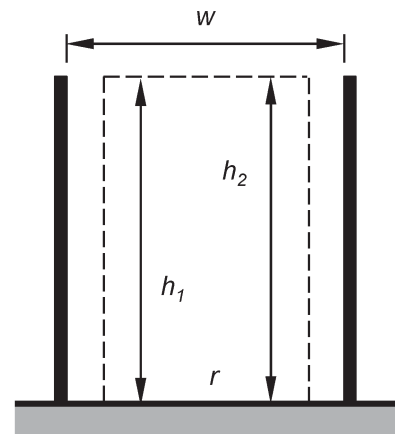
a) Teilabdeckung zu beiden Seiten der Straße;
Umhüllende $e = w + h_1 + h_2$



b) Teilabdeckung auf einer Straßenseite;
 $e = w + h_1$. $h_2 = 0$.



c) Umhüllende für tiefen Einschnitt,
 $e = w + h_1 + h_2$.



d) Hohe Lärmschutzwände oder Gebäude,
Umhüllende $e = w + h_1 + h_2$. In allen Fällen r:
Straßenoberfläche; w: Breite des offenen Raumes

Bild 1 — (nicht maßstäblich) Schema zur Überprüfung auf Halligkeit in vier Fällen

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Messung des Reflexionsindex, d. h. einer Größe, die für die produktspezifischen Merkmale der Schallreflexion von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen repräsentativ ist, und zur anschließenden Berechnung einer Einzahlangabe für die Schallabsorption aus dieser Größe.

Das Prüfverfahren ist für folgende Anwendungen vorgesehen:

- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzvorrichtungen, die entlang von Straßen einzubauen sind; dabei sind diese Merkmale entweder an typischen Installationen an der Straße oder an einem relevanten Abschnitt des Prüfkörpers zu messen;
- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen im tatsächlichen Einsatz in gerichteten Schallfeldern;
- Vergleich der Bemessungsspezifikationen mit den tatsächlichen Leistungsdaten nach Abschluss der Bauarbeiten;
- Überprüfung der Langzeitwirksamkeit von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen (durch wiederholtes Anwenden des Verfahrens).

Das Prüfverfahren ist nicht für folgende Anwendungen vorgesehen:

- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzvorrichtungen an Straßen, die in halligen Umgebungen eingebaut werden, z. B. innerhalb von Tunneln oder in tiefen Einschnitten.

Ergebnisse für den Schallreflexionsindex werden als Funktion der Frequenz in Terzbändern zwischen 100 Hz und 5 kHz angegeben, wo möglich. Falls es nicht möglich ist, gültige Messergebnisse über den gesamten Frequenzbereich zu gewinnen, sollten die Ergebnisse in einem eingeschränkten Frequenzbereich zusammen mit den Gründen der Einschränkung(en) eindeutig angegeben werden.

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).

EN 1793-3:2023, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 3: Standardisiertes Verkehrslärmspektrum*

EN 14389:2022, *Lärmschutzvorrichtungen an Straßen — Verfahren zur Bewertung der Langzeitwirksamkeit*

EN 61672-1:2013, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

Lärmschutzvorrichtung an Straßen

RTNRD, en: road traffic noise reducing device

Vorrichtung zur Verringerung der Ausbreitung von Verkehrslärm an Straßen

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine RTNRD kann entweder nur Lärmschutzelemente (3.2) oder sowohl Lärmschutzelemente als auch tragende Bauteile (3.3) umfassen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Anwendungen von RTNRDs schließen Lärmschutzwände (3.5), Bekleidungen (3.6), Überdeckungen (3.7) und Wandaufsätze (3.8) ein.

3.2

Lärmschutzelement

Bauteil, dessen Hauptfunktion darin besteht, die akustischen Eigenschaften der Lärmschutzvorrichtung zu erbringen

3.3

tragendes Bauteil

Bauteil, dessen Hauptfunktion darin besteht, Teile der RTNRD zu stützen oder zu verankern

3.4

selbsttragendes Lärmschutzelement

Lärmschutzelement, das ein eigenes tragendes Bauteil enthält, um sich selbst zu stützen

3.5

Lärmschutzwand

Lärmschutzvorrichtung an Straßen, die die unmittelbare Übertragung des Luftschalls verhindert, der vom Straßenverkehr ausgeht

3.6

Bekleidung

Lärmschutzvorrichtung an Straßen, die an einer Wand oder an einem anderen Bauwerk befestigt ist und den reflektierten Schall vermindert

3.7

Überdeckung

Lärmschutzvorrichtung an Straßen, die die Straße in voller Breite oder teilweise überdeckt

3.8

Wandaufsatz

zusätzliches Bauteil, das die akustischen Eigenschaften der ursprünglichen Lärmschutzvorrichtung an Straßen beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Wandaufsatz wirkt hauptsächlich auf die gebeugte Energie.

3.9

straßenseitige Exposition

Verwendung des Produkts als eine an einer Straße entlang aufgestellte Lärmschutzvorrichtung

3.10

Schallreflexionsindex

Größe, die die Menge des Schalls darstellt, der nicht von der zu prüfenden Vorrichtung absorbiert wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Gleichung (1) legt fest, wie der Schallreflexionsindex berechnet wird.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Werte des Schallreflexionsindex in Terzbändern sind das Ergebnis einer Prüfung nach dem vorliegenden Dokument.

3.11

Messraster für Messungen des Schallreflexionsindex

Messraster aus neun, in einer quadratischen Anordnung von 3 x 3 gleichmäßig verteilten Mikrofonen

Anmerkung 1 zum Begriff: Der orthogonale Abstand s zweier benachbarter Mikrofone beträgt sowohl senkrecht als auch waagrecht 0,40 m.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 3, Bild 5, und Bild 6.

Anmerkung 3 zum Begriff: Mikrofone werden wie in Bild 3 nummeriert.

3.12

Bezugshöhe

Höhe h_S , die gleich der halben Höhe h_B der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen ist: $h_S = h_B/2$

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn die Höhe der zu prüfenden Vorrichtung höher als 4 m ist und es aus praktischen Gründen nicht ratsam ist, die Höhe der Schallquelle bei $h_S = h_B/2$ zu wählen, ist es möglich, unter Anerkennung der entsprechenden unteren Frequenzgrenze (siehe 5.6.2 und 5.6.4) $h_S = 2$ m zu verwenden.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 2 und Bild 3.

3.13

Referenzdeckschicht für Schallquelle und Mikrofon zur Messung des Schallreflexionsindex

ideale, glatte Oberfläche, die der Beschallungsseite der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen zugewandt ist und die die am meisten hervorstehenden und wichtigsten Teile der Vorrichtung innerhalb des Prüfbereiches gerade berührt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Referenzdeckschicht ist so glatt wie möglich und folgt der Neigung oder Wölbung der zu prüfenden Vorrichtung innerhalb des Prüfbereiches. Bei vertikalen und ebenen Lärmschutzvorrichtungen an Straßen ist die Referenzdeckschicht eine Vertikalebene. Bei geneigten und ebenen Lärmschutzvorrichtungen an Straßen ist die Referenzdeckschicht eine Ebene mit gleicher Neigung. Bei gewölbten und ebenen Lärmschutzvorrichtungen an Straßen ist die Referenzdeckschicht eine Oberfläche mit der gleichen Wölbung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 2, 4, 7, 8 und Bild 9.

3.14

Schallquellen-Bezugsebene

bei aufgebauter Lärmschutzvorrichtung an Straßen dem Lärm zugewandte Position, die sich in Bezugshöhe h_S befindet und so angeordnet ist, dass der waagerechte Abstand zwischen der Vorderseite der Schallquelle und der Referenzdeckschicht $d_S = 1,50$ m beträgt

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 2 und Bild 3.

3.15

Bezugslage des Messrasters

Lage des Messrasters während der Prüfung

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bedingungen und Abstände für eine korrekte Bezugslage der Messung sind in 5.6.2.1 festgelegt.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei ebenen Lärmschutzvorrichtungen siehe Bild 2 und Bild 3. Anmerkung 2 zum Begriff: Bei nicht ebenen Lärmschutzvorrichtungen siehe Bild 7. Bei geneigten oder gewölbten Lärmschutzvorrichtungen siehe Bild 8 und Bild 9.

3.16

Bezugsabstand Lautsprecher-Messraster

Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem zentralen Mikrofon (Mikrofon Nr. 5) des Messrasters

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Bezugsabstand Lautsprecher-Messraster beträgt: $d_{SM} = 1,25$ m (siehe Bild 2 und Bild 4).

3.17

Freifeldmessung für die Messungen des Schallreflexionsindex

Messung, bei der sich Lautsprecher und Messraster in einem akustischen Freifeld befinden, damit nahe gelegene Objekte, einschließlich des Bodens, nicht miterfasst werden und wobei die Geometrie aus den Messungen vor der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung beibehalten wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.18

größte abgetastete Fläche

auf die Vorderseite der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen projizierte Fläche, die frei von reflektierenden Objekten bleiben muss, welche bei Messungen zum Reflexionsindex zu Störreflexionen führen

3.19

Adrienne-Zeitfenster

Analysefenster im Zeitbereich, das für die Datenverarbeitung verwendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Datenverarbeitung nach dem vorliegenden Dokument.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Adrienne-Zeitfenster wird in 5.5.6 beschrieben.

3.20

Hintergrundgeräusch

Geräusch von anderen Schallquellen als der, die das Prüfsignal aussendet

3.21

Signal-Rausch-Verhältnis

Differenz in Dezibel zwischen dem Prüfsignalpegel und dem Hintergrundgeräuschpegel zum Zeitpunkt der Erfassung des Prüfsignals (innerhalb des Adrienne-Zeitfensters)

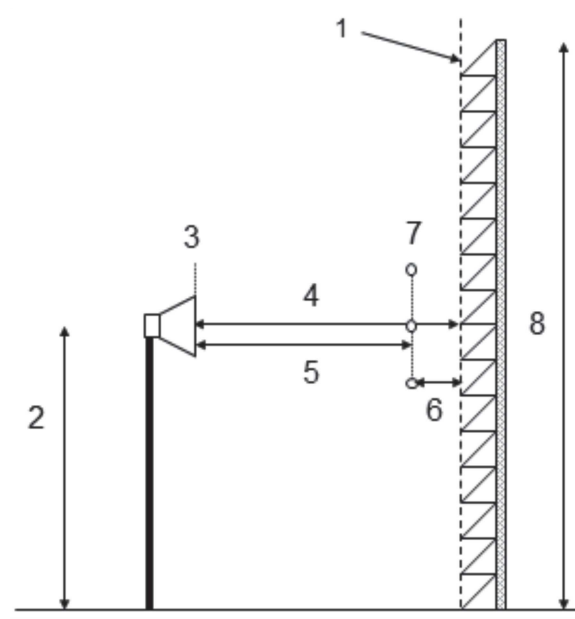
3.22

Impulsantwort

Zeitsignal am Ausgang eines Systems, wenn eine Dirac-Funktion an den Eingang angelegt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Dirac-Funktion, auch δ -Funktion genannt, ist die mathematische Idealisierung eines zeitlich unendlich kurzen Signals, das den Energiewert Eins aufweist.

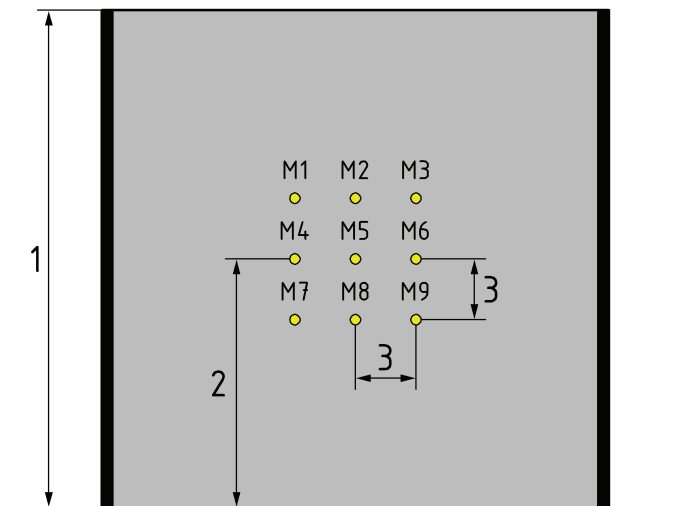
Anmerkung 2 zum Begriff: In der Praxis ist es unmöglich, echte Dirac-Delta-Funktionen zu erzeugen und abzustrahlen. Impulsförmiger Schall kann eine ausreichende Näherung bieten, ist jedoch nicht gut reproduzierbar. Eine alternative und im Allgemeinen genauere Messtechnik besteht darin, die Periode eines deterministischen Signals mit linearem Spektrum, wie z. B. eine Maximalfolge (MLS) oder einen exponentiellen Sinus-Sweep (ESS), zu nutzen und das gemessene Ansprechverhalten in eine Impulsantwort umzuwandeln.



Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Referenzdeckschicht für Schallquelle und Mikrofon | 5 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messraster d_{SM} , in m |
| 2 Bezugshöhe h_S , in m | 6 Abstand zwischen dem Messraster und der Referenzdeckschicht d_M , in m |
| 3 Vorderseite des Lautsprechers | 7 Messraster |
| 4 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Referenzdeckschicht d_S , in m | 8 Höhe h_B der Lärmschutzeinrichtung, in m |

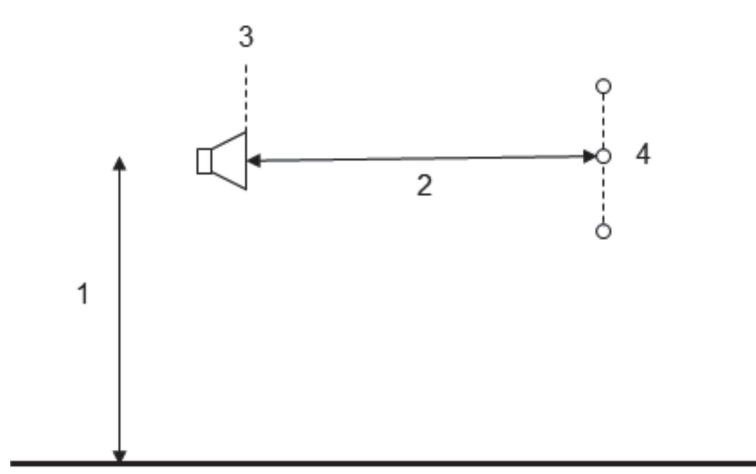
Bild 2 — (nicht maßstäblich) Skizze von Schallquelle und Messraster vor der Lärmschutzeinrichtung an Straßen



Legende

- 1 Höhe der Lärmschutzeinrichtung an Straßen h_B , in m
- 2 Bezugshöhe h_S , in m
- 3 orthogonaler Abstand zwischen zwei benachbarten Mikrofonen s , in m

Bild 3 — (nicht maßstäblich) Messraster für Messungen des Schallreflexionsindex vor der zu prüfenden Vorrichtung (Beschallungsseite); die gelben Kreise zeigen die Mikrofonpositionen an, die mit M1 bis M9 bezeichnet sind



Legende

- 1 Bezugshöhe h_S , in m
- 2 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messraster d_{SM} , in m
- 3 Vorderseite des Lautsprechers
- 4 Messraster

Bild 4 — (nicht maßstäblich) Skizze der Prüfanordnung zur Bezugsmessung des Schalls im „Freifeld“ zur Bestimmung des Schallreflexionsindex

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Symbol oder Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
a	Hauptachse des Rotationsellipsoids, das zur Festlegung der größten abgetasteten Fläche bei schrägem Schalleinfall verwendet wird	m
a_0, a_1, a_2, a_3	Koeffizienten zur Angabe des viergliedrigen vollständigen Blackman-Harris-Fensters	—
b_s	Tiefe der Oberflächenstruktur des Prüfkörpers	m
α_k	Winkel, den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon k bildet	—
β_k	Winkel, den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und dem Weg der geometrischen Reflexion zu Mikrofon k bildet	—
b_m	Breite des Materialausschnittes des Prüfkörpers	m
c	Schallgeschwindigkeit in Luft	m/s
$C_{geo,k}$	Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz	—
$C_{dir,k}$	Korrekturfaktor für die Richtwirkung der Schallquelle	—
$C_{gain,k}$	Korrekturfaktor für Änderungen in der Verstärkung der Schallquelle	—
d_M	Horizontalstrecke der Referenzdeckschicht von Schallquelle und Mikrofon zum Messraster; sie beträgt $d_M = 0,25$ m	m
d_S	Horizontalstrecke der Referenzdeckschicht von Schallquelle und Mikrofon zur Vorderseite der Lautsprecher; sie beträgt $d_S = 1,50$ m	m
d_{SM}	Horizontalstrecke des Messrasters zur Vorderseite des Lautsprechers; sie beträgt $d_{SM} = 1,25$ m	m
DL_{RI}	Einzahl-Angabe zur Schallreflexion	dB
δ_i	Eingabegröße für Abschätzungen der Messunsicherheit	—
Δf_g	Frequenzbereich, der die Terzbänder zwischen 500 Hz und 2 kHz umfasst	Hz
Δf_j	Breite des j -ten Terzbandes	Hz
Δt	Zeitschritt zwischen den an den diskreten Punkten der erfassten Daten (verknüpft über $\Delta t = 1/f_s$ mit der gegebenen Abtastrate)	ms
$\Delta \tau$	Verschiebungsschritt der Freifeld-Impulsantwort beim Justiervorgang im verallgemeinerten Signalsubtraktionsverfahren (siehe 5.5.4)	ms
Δt_{k5}	Zeitverzögerungsspanne zwischen dem Auftreffen des Direktschalls auf Mikrofon k ($k \neq 5$) und Mikrofon Nr. 5	s
Δt_k	Zeitverzögerungsspanne zwischen dem Auftreffen des direkten und des reflektierten Schalls auf Mikrofon k	s
Δd_{k5}	Wegdifferenz zwischen dem Auftreffen des direkten Schalls auf Mikrofon k ($k \neq 5$) und Mikrofon Nr. 5	m
Δd_k	Wegdifferenz zwischen dem Auftreffen des direkten und des reflektierten Schalls auf Mikrofon k	m
ε_k	zulässiger Weglängenunterschied am Mikrofon k	m
F	Symbol für die Fourier-Transformierte	—
f	Frequenz	Hz

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol oder Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
f_{min}	untere Frequenzgrenze bei Messungen des Schallreflexionsindex	Hz
f_s	Abtastrate	Hz
f_{co}	Grenzfrequenz des Anti-Aliasing-Filters	Hz
h_B	Höhe der Lärmschutzvorrichtung	m
h_S	Bezugshöhe	m
$h_{i,k}(t)$	einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt	—
$h_{r,k}(t)$	reflektierte Komponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt	—
j	Index des j -ten Terzbandes (zwischen 100 Hz und 5 kHz)	—
$h_{i,k,FF}(t)$	einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort, aufgenommen vor dem Prüfkörper am k -ten Messpunkt (vor der Signalsubtraktion)	—
$h_{i,k,RES}(t)$	verbleibende einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort, aufgenommen vor dem Prüfkörper am k -ten Messpunkt (nach der Signalsubtraktion);	—
k	Index des k -ten Messpunkts ($k = 1 \dots n_j$)	—
k_p	Erweiterungsfaktor	—
k_f	Konstante beim Anti-Aliasing-Filter	—
L_p	Abtastperiodenlänge bei einer nicht homogenen Lärmschutzvorrichtung	m
n_j	Zahl der Messpunkte, über die der Mittelwert gebildet wird	—
n_R	Zahl der Bezugspositionen des Messrasters	—
q	Zahl der diskreten Datenpunkte der erhobenen Daten, die im präzisen Ausrichtungsvorgang verwendet werden, um den Bereich zu definieren, in dem das Verfahren der kleinsten Quadrate angewendet werden soll (siehe 5.5.5)	—
r	Radius der größten abgetasteten Fläche bei senkrechtem Schalleinfall	m
R_{sub}	Reduktionsfaktor	dB
RI_j	Schallreflexionsindex des j -ten Terzbandes	—
RI_{ij}	Schallreflexionsindex des j -ten Terzbandes, wenn sich das Messraster in der i -ten Bezugsposition befindet	—
s	orthogonaler Abstand zwischen zwei benachbarten Mikrofonen	m
s_r	Wiederholstandardabweichung	—
s_R	Vergleichstandardabweichung	—
S/N	Signal-Rausch-Verhältnis	dB
t	Zeit	s
t_C	Lufttemperatur	°C
$T_{W,BH}$	Länge der Blackman-Harris-Hinterflanke des Adrienne-Zeitfensters	s
$T_{W,ADR}$	Gesamtlänge des Adrienne-Zeitfensters	s
u	Standardmessunsicherheit	—
U	erweiterte Messunsicherheit	—

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol oder Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
$w_{i,k}(t)$	Zeitfenster für die Freifeld-Bezugskomponente (Adrienne-Zeitfenster) am k -ten Messpunkt	—
$w_{r,k}(t)$	Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die reflektierte Komponente am k -ten Messpunkt	—

5 Messungen des Schallreflexionsindex

5.1 Allgemeines Prinzip

Die Schallquelle strahlt eine impulsartige Schallwelle aus, die über die Position des Messrasters (Mikrofon) zu der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung läuft und durch diese reflektiert wird (Bild 2 und Bild 3). Jedes zwischen der Schallquelle und der zu prüfenden Vorrichtung angeordnete Mikrofon empfängt sowohl die von der Schallquelle zu der zu prüfenden Vorrichtung laufende, direkte Schalldruckwelle als auch die von der zu prüfenden Vorrichtung reflektierte (und gestreute) Schalldruckwelle. Die direkte Schalldruckwelle kann besser durch eine getrennte Freifeldmessung erfasst werden (siehe Bild 4). Das Verhältnis der Leistungsspektren von direkter und reflektierter Komponente liefern die Grundlage zur Berechnung des Schallreflexionsindex.

Die Messung muss in einem im Wesentlichen freien Schallfeld in der direkten Umgebung der Lärmschutzvorrichtung erfolgen, d. h. in einem Schallfeld, das frei ist von Reflexionen, die von anderen Oberflächen als derjenigen der zu prüfenden Vorrichtung stammen. Aus diesem Grund ist eine Impulsantwort anzustreben, deren Spitzen möglichst scharf sind: Auf diese Weise können Reflexionen, die von anderen Oberflächen als der Oberfläche der geprüften Vorrichtung herrühren, anhand ihrer Verzögerung identifiziert und ausgeblendet werden.

5.2 Messgröße

Zur Berechnung des Reflexionsindex RI als Funktion der Frequenz in Terzbändern wird folgender Ausdruck verwendet:

$$RI_j = \frac{1}{n_j} \sum_{k=1}^{n_j} \left\{ \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{r,k}(t) \cdot w_{r,k}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{i,k}(t) \cdot w_{i,k}(t)]|^2 df} \cdot C_{geo,k} \cdot C_{dir,k}(\Delta f_j) \cdot C_{gain,k}(\Delta f_g) \right\} \quad (1)$$

Dabei ist

- $h_{i,k}(t)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt;
- $h_{r,k}(t)$ die reflektierte Komponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt vor dem Prüfkörper;
- $w_{i,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt;
- $w_{r,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die reflektierte Komponente am k -ten Messpunkt;
- F das Symbol für die Fourier-Transformierte;
- j der Index der Terzbänder (zwischen 100 Hz und 5 kHz, wo möglich);
- Δf_j die Breite des j -ten Terzbands;

- k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3(b) ($k = 1, \dots, 9$);
- n_j die Zahl der Mikrofonpositionen, über die der Mittelwert zu bilden ist ($n_j \geq 6$; siehe 5.6);
- $C_{geo,k}$ der Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz am k -ten Messpunkt;
- $C_{dir,k}(\Delta f_j)$ der Korrekturfaktor für die Richtwirkung der Schallquelle am k -ten Messpunkt;
- $C_{gain,k}(\Delta f_g)$ der Korrekturfaktor, um gegebenenfalls Änderungen in den Verstärkungseinstellungen des Lautsprechers und in den Empfindlichkeitseinstellungen der einzelnen Mikrofone beim Übergang zwischen den Messanordnungen „Freifeld“ und „vor dem Prüfkörper“ zu berücksichtigen (siehe 5.5.1 und Gleichung (4));
- Δf_g der Frequenzbereich, der die Terzbänder zwischen 500 Hz und 2 kHz umfasst.

Die Korrekturfaktoren für die geometrische Divergenz $C_{geo,k}$ sind gegeben durch:

$$C_{geo,k} = \left(\frac{d_{r,k}}{d_{i,k}} \right)^2 \quad (2)$$

Dabei ist

- $d_{i,k}$ der Abstand der Vorderseite des Lautsprechers zum k -ten Messpunkt;
- $d_{r,k}$ der Abstand der Vorderseite des Lautsprechers zur Bezugsebene von Schallquelle und Mikrofon und zurück zum k -ten Messpunkt nach spiegelnder Reflexion;
- k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3 ($k = 1, \dots, 9$).

ANMERKUNG 1 Für Mikrofon Nr. 5 gilt: $d_{i,5} = d_{SM} = 1,25$ m.

Die Abstände $d_{i,k}$, $d_{r,k}$ und die Korrekturfaktoren $C_{geo,k}$ sind in Tabelle 2 bei einer ebenen Referenzdeckschicht aufgeführt.

Tabelle 2 — Abstände $d_{i,k}$, $d_{r,k}$ und Korrekturfaktoren $C_{geo,k}$ bei einer ebenen Referenzdeckschicht

k	$d_{i,k}$ m	$d_{r,k}$ m	$C_{geo,k}$
1	1,37	1,84	1,80
2	1,31	1,80	1,87
3	1,37	1,84	1,80
4	1,31	1,80	1,87
5	1,25	1,75	1,96
6	1,31	1,80	1,87
7	1,37	1,84	1,80
8	1,31	1,80	1,87
9	1,37	1,84	1,80

ANMERKUNG 2 Die Reflexionen von verschiedenen Teilen der zu prüfenden Oberfläche erreichen in Abhängigkeit des Laufweges vom Lautsprecher zur Position jedes Prüfoberflächenteils und zurück die Mikrofonposition zu verschiedenen Zeitpunkten. Je länger der Laufweg vom Lautsprecher zu einem Prüfoberflächenteil und zurück ist, umso größer ist die

Zeitverzögerung. Folglich ist die an der Mikrofonposition gemessene Amplitude der reflektierten Schallwellen von verschiedenen Prüfoberflächenteilen umgekehrt proportional zur Laufzeit gedämpft. Bei unebenen, komplexen Vorrichtungen ist es schwierig, den genauen Laufweg jeder Schallwelle vorherzusagen, wenn auch noch die ungerichtete Streuung berücksichtigt wird; aus diesem Grund werden die Korrekturfaktoren für die geometrische Divergenz unter Zugrundelegung spiegelnder Reflexion an einer idealen, ebenen, reflektierenden Oberfläche berechnet.

Die Korrekturfaktoren für die Richtwirkung der Schallquelle sind gegeben durch:

$$C_{dir,k}(\Delta f_j) = \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{i,k}(t, \alpha_k) \cdot w_{i,k}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{i,k}(t, \beta_k) \cdot w_{i,k}(t)]|^2 df} \quad (3)$$

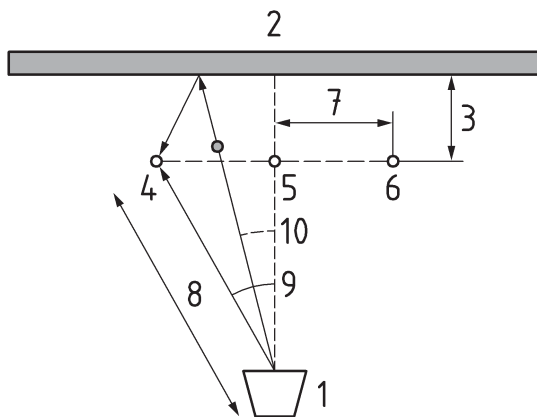
Dabei ist

- α_k der Winkel, den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Lautsprecher-Frontplatte und Mikrofon 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Lautsprecher-Frontplatte und Mikrofon k bildet [siehe Bild 6a)];
- β_k der Winkel, den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Lautsprecher-Frontplatte und Mikrofon 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Lautsprecher-Frontplatte und dem Weg der geometrischen Reflexion zu Mikrofon k bildet [siehe Bild 6a)];
- $h_{i,k}(t, \alpha_k)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt;
- $h_{i,k}(t, \beta_k)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort in einem Punkt des Weges der geometrischen Reflexion für Mikrofon k im Abstand $d_{i,k}$ vom Mittelpunkt der Lautsprecher-Frontplatte;
- $w_{i,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt;
- F das Symbol für die Fourier-Transformierte;
- j der Index der Terzbänder (zwischen 100 Hz und 5 kHz, wo möglich);
- Δf_j die Breite des j -ten Terzbands;
- k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3 ($k = 1, \dots, 9$).

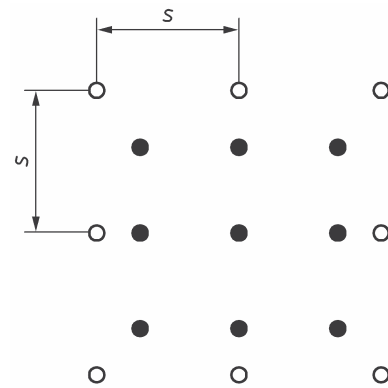
Bei der Messung der Korrekturfaktoren für die Richtwirkung der Schallquelle müssen Zähler und Nenner von Gleichung (3) an zwei verschiedenen Punkten im konstanten Abstand $d_{i,k}$ (siehe Tabelle 2) vom Mittelpunkt der Lautsprecher-Frontplatte gemessen werden. Der erste Punkt befindet sich an der Mikrofonposition und der zweite Punkt befindet sich auf dem Weg der geometrischen Reflexion des Schalls, der durch den Lautsprecher emittiert wird (siehe Bild 5).

ANMERKUNG 3 Bei unebenen, komplexen Vorrichtungen ist es schwierig, den genauen Laufweg jeder Schallwelle vorherzusagen, wenn auch noch die ungerichtete Streuung berücksichtigt wird; aus diesem Grund werden die Korrekturfaktoren für die Richtwirkung der Schallquelle unter Zugrundelegung spiegelnder Reflexion an einer idealen, ebenen, reflektierenden Oberfläche berechnet.

Die Korrekturfaktoren für die Richtwirkung der Schallquelle müssen im Freifeld gemessen werden. Die Korrekturfaktoren für die Richtwirkung der Schallquelle müssen unter der Voraussetzung, dass sich die Richtcharakteristik nicht ändert, nur einmal je Schallquelle gemessen werden. Aus Genauigkeitsgründen dürfen sie gelegentlich erneut gemessen werden (z. B. einmal jährlich).



a) Mikrofonpositionen 4, 5 und 6 (weiße Kreise), Winkel α_4 und β_4 für Mikrofon Nr. 4 und des Punktes, an dem die Messungen zur Ermittlung des Korrekturfaktors $C_{dir,4}$ durchgeführt werden müssen (grauer Kreis) und der im Abstand $d_{i,4}$ von der Mitte des Lautsprechers entfernt ist



b) Vorderseite der neun Mikrofonpositionen (weiße Kreise) und der neun Positionen, an denen der Weg der geometrischen Reflexion des durch den Lautsprecher emittierten Schalls die Ebene des Messrasters schneidet (schwarze Kreise)

Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Lautsprecher | 9 Winkel α_4 , den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 4 bildet |
| 2 zu prüfender Prüfkörper | 10 Winkel β_4 , den die Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 5 mit der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und dem Weg der geometrischen Reflexion zu Mikrofon Nr. 4 bildet |
| 3 Horizontalstrecke d_M der Referenzdeckschicht von Schallquelle und Mikrofon zum Messraster, in m | |
| 4 Mikrofon 4 | |
| 5 Mikrofon 5 | |
| 6 Mikrofon 6 | |
| 7 orthogonaler Abstand s zwischen zwei aufeinanderfolgenden Mikrofonen, in m | |
| 8 Abstand $d_{i,4}$ von der Lautsprechermitte zu Mikrofon Nr. 4, wo Messungen zur Ermittlung des Korrekturfaktors $C_{dir,4}$ vorgenommen werden müssen, in m | |

Bild 5 — (nicht maßstäblich) Skizze der Mikrofonpositionen und Winkel zur Berechnung des Korrekturfaktors $C_{dir,k}$

5.3 Prüfanordnung

Dieses Prüfverfahren kann entweder an Lärmschutzvorrichtungen angewendet werden, die entlang von Straßen angebracht sind, oder an Prüfkörpern in Originalgröße, die zum Zweck einer Prüfung (in Innenräumen oder im Freien) mittels des hier beschriebenen Verfahrens zusammengebaut wurden.

5.3.1 Zum Zweck von Prüfungen hergestellte Prüfkörper in Originalgröße

Für die Anwendung an Prüfkörpern in Originalgröße, die zum Zweck des Prüfens durch das hier beschriebene Verfahren, z. B. in einer Prüfeinrichtung im Freien aufgebaut wurden, muss der Prüfkörper wie folgt aufgebaut sein (siehe Bild 6):

- als Bauteil, das aus Lärmschutzelementen zusammengesetzt ist, sich über mindestens 4 m erstreckt und eine Höhe von mindestens 4 m hat.

Der Prüfkörper ist auf dieselbe Art wie eine hergestellte, tatsächlich eingesetzte Vorrichtung mit denselben Verbindungen und Abdichtungen zwischen den Bauteilen aufzubauen und zusammenzusetzen.

Damit die Ergebnisse für den Frequenzbereich 200 Hz bis 5 kHz in Terzbändern gültig sind, müssen die Mindestmaße des Prüfkörpers wie folgt sein (siehe Bild 6):

- ein Bauteil, das aus Lärmschutzelementen zusammengesetzt ist, von 4 m Breite und 4 m Höhe;
- ein Pfosten von 4 m Höhe an beiden Seiten (falls zutreffend für die spezielle, zu prüfende Lärmschutzvorrichtung).

Für sämtliche Fälle gilt: Ist der Prüfkörper uneben und mit einer regelmäßigen, senkrecht verlaufenden „Furchung“ versehen, muss der Prüfkörper, soweit möglich, in senkrechter Ausrichtung mit einer vollen Periode der Furchung ergänzt werden (siehe Bild 7). Auf die gleiche Weise gilt: Ist der Prüfkörper uneben und mit einer regelmäßigen, waagrecht verlaufenden „Furchung“ versehen, muss der Prüfkörper, soweit möglich, in waagrechtlicher Ausrichtung mit einer vollen Periode der Furchung ergänzt werden.

5.3.2 Aufgestellte Lärmschutzvorrichtung an Straßen

Bei Anwendungen an Lärmschutzvorrichtungen, die bereits entlang von Straßen aufgestellt sind, muss die Bauweise des Prüfkörpers wie folgt sein:

- *bei aufgestellten Lärmschutzvorrichtungen an Straßen muss zum Erreichen der vollen Höhe unter Verwendung eines einzelnen Lärmschutzelements:*
 - der Prüfkörper als Einzelbauteil, das repräsentativ für die spezifische Anwendung ist, ausgeführt sein;
 - dort, wo es nicht als Einzelbauteil ausgeführt werden kann oder wo die aufgestellte Lärmschutzvorrichtung niedriger als 4 m ist, muss der Mittelpunkt des Prüfkörpers auf der Lautsprecherachse (auf Bezugshöhe $h_S = 2$ m über dem Boden) angeordnet werden und unter Verwendung von Lärmschutzelementen geringerer Höhe unter- und oberhalb des Prüfkörpers auf 4 m aufgebaut werden;
- *bei aufgestellten Lärmschutzvorrichtungen an Straßen muss zum Erreichen der vollen Höhe unter Verwendung aufeinander aufbauender Lärmschutzelemente:*
 - der Prüfkörper so aufgebaut sein, wie er für die jeweilige Anwendung verwendet wird.

Bei Anwendungen an bereits entlang von Straßen aufgestellten Lärmschutzvorrichtungen darf ein Sockel unter einer solchen Lärmschutzvorrichtung nicht als Teil des Prüfkörpers betrachtet werden, es sei denn, er ist ein Teil des Produkts der Lärmschutzvorrichtung an Straßen.

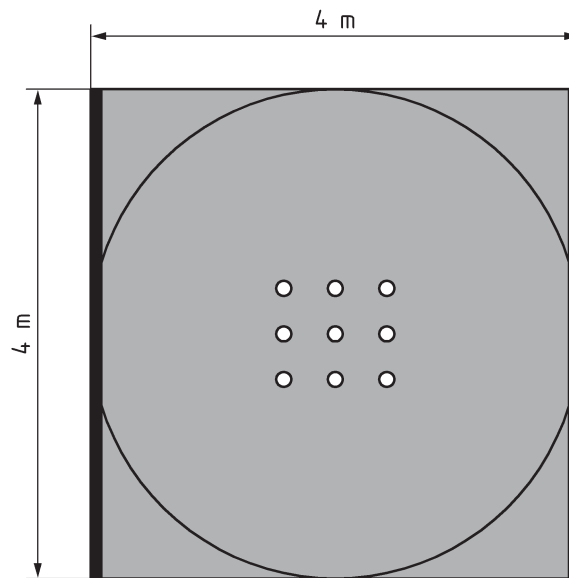
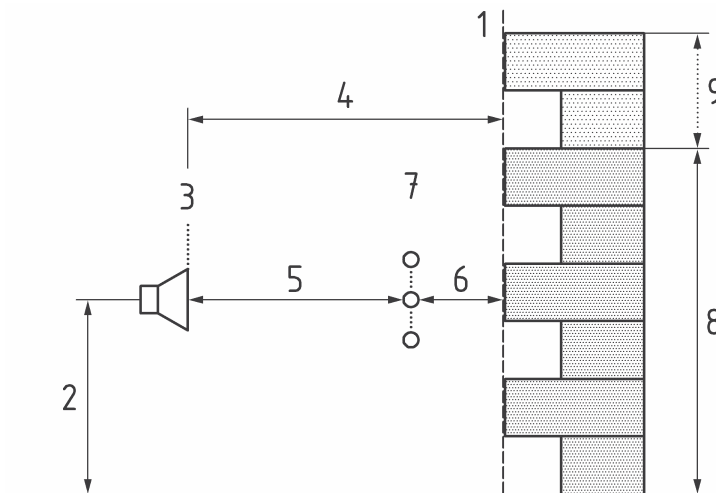


Bild 6 — Skizze des minimalen, ebenen Prüfkörpers, der für die Messungen des Reflexionsindex im Frequenzbereich von 200 Hz bis 5 kHz erforderlich ist (siehe 5.5.7). Die neun weißen Punkte stellen das Messraster dar. Der dünne Kreis zeigt die größte, durch das zentrale Mikrofon abgetastete Fläche (5.5.8).



Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Bezugsebene für Schallquelle und Mikrofon | 6 Abstand zwischen dem Messraster und der Referenzdeckschicht d_M , in m |
| 2 Bezugshöhe h_S , in m | 7 Messraster |
| 3 Vorderseite des Lautsprechers | 8 Höhe h_B der Lärmschutzvorrichtung an Straßen, in m |
| 4 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Referenzdeckschicht d_S , in m | 9 Räumliche Periodenlänge der Furchung in senkrechter Richtung L_p , in m |
| 5 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messraster d_{SM} , in m | |

Bild 7 — (nicht maßstäblich) Skizze des Aufbaus zur Messung des Schallreflexionsindex vor einem nicht ebenen Prüfkörper mit einer räumlich periodischen, vertikalen Furchung (Periodenlänge L_p in senkrechter Richtung); eine zusätzliche Periode der Struktur, die oben auf den Prüfkörper hinzugefügt wurde, ist in hellerem Grau dargestellt

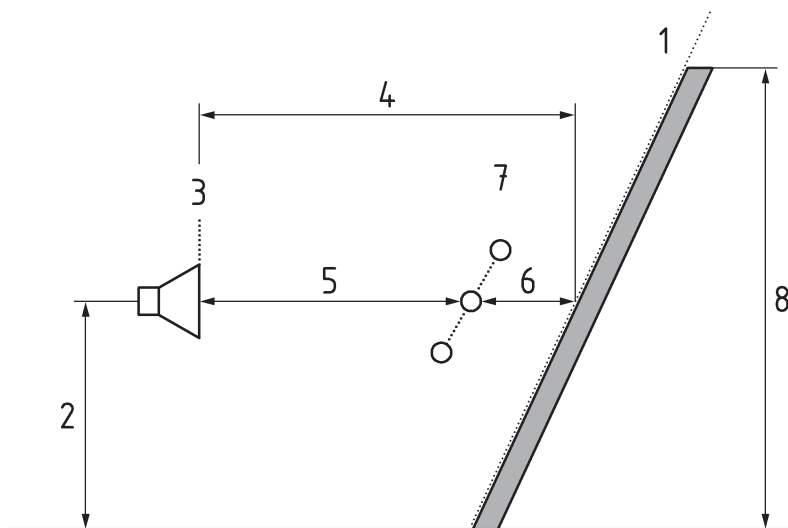
5.3.3 Geneigte oder gewölbte Lärmschutzvorrichtungen an Straßen

Bei flachen oder gewölbten, senkrechten oder geneigten Lärmschutzvorrichtungen an Straßen gelten Bild 8 und Bild 9. In Fällen, die durch diese Zahlen nicht abgedeckt sind, sollten die Messungen nach den folgenden allgemeinen Grundsätzen durchgeführt werden:

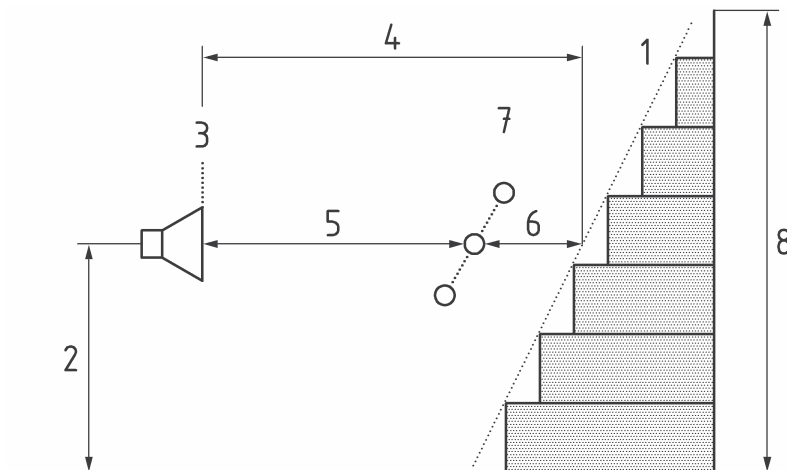
- das Messgitter steht senkrecht zur Achse Lautsprecher-Mikrofon 5;
- die Achse Lautsprecher-Mikrofon 5 steht senkrecht zur Referenzdeckschicht;
- Mikrofon 5 ist so nah wie möglich an der mittleren Höhe des zusammengesetzten Elements;
- der kürzeste Abstand des Mikrofons 5 zur Bezugsfläche beträgt $d_M = 0,25$ m.

Lärmschutzvorrichtungen an Straßen, die aus einer waagerechten oder senkrechten Aneinanderreihung mehrerer verschiedener Arten von zusammengesetzten Elementen bestehen (Zusammensetzung von Formen oder Strukturen mit sehr großen Abmessungen), müssen ausführlich beschrieben werden: Jede Form oder Struktur muss unter den in diesem Dokument beschriebenen Bedingungen speziell gekennzeichnet werden.

Bei Strukturen, die eine eindeutige Anwendung dieser Regeln nicht zulassen, dürfen die Messungen unter strikter Einhaltung der Bestimmungen dieses Dokuments durchgeführt werden. Die Verantwortung für die Anpassung des Verfahrens obliegt dem Betreiber. Der Prüfbericht muss eine klare Begründung für alle getroffenen Entscheidungen enthalten. Die unter diesen Bedingungen erzielten Ergebnisse dürfen jedoch in keinem Fall für die Leistungserklärung verwendet werden.



a) Vor einer geneigten, ebenen Lärmschutzvorrichtung an Straßen

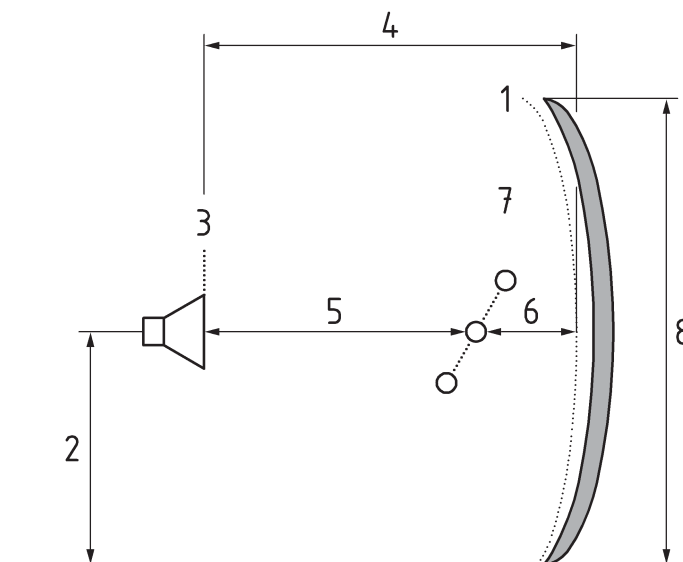


b) Vor einer geneigten, unebenen Lärmschutzeinrichtung an Straßen

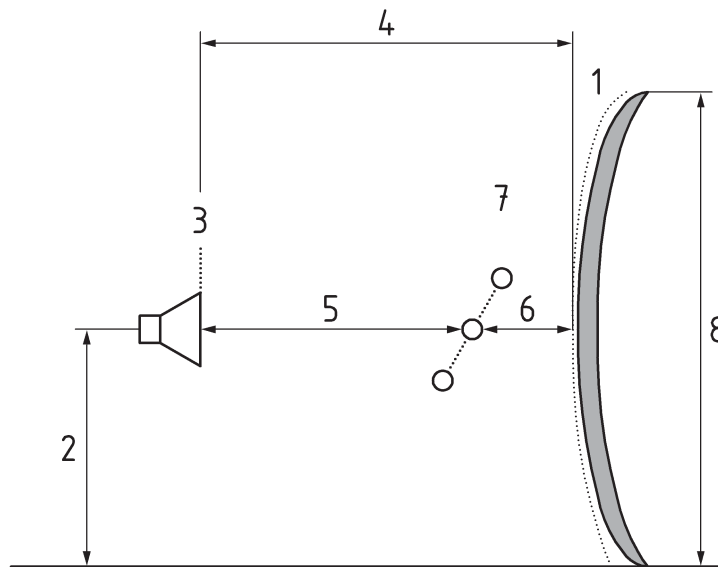
Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Referenzdeckschicht für Schallquelle und Mikrofon | 5 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messraster d_{SM} , in m |
| 2 Bezugshöhe h_S , in m | 6 Abstand zwischen dem Messraster und der Referenzdeckschicht d_M , in m |
| 3 Vorderseite des Lautsprechers | 7 Messgitter |
| 4 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Referenzdeckschicht d_S , in m | 8 Höhe h_B der Lärmschutzeinrichtung an Straßen, in m |

Bild 8 — (nicht maßstäblich) Skizzen des Aufbaus zur Messung des Reflexionsindex vor einer Lärmschutzeinrichtung an Straßen (Seitenansicht)



a) vor einer konkaven Lärmschutzeinrichtung an Straßen



b) vor einer konvexen Lärmschutzeinrichtung an Straßen

Legende

- | | |
|---|---|
| 1 Referenzdeckschicht für Schallquelle und Mikrofon | 5 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messraster d_{SM} , in m |
| 2 Bezugshöhe h_S , in m | 6 Abstand zwischen dem Messgitter und der Referenzdeckschicht d_M , in m |
| 3 Vorderseite des Lautsprechers | 7 Messraster |
| 4 Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Referenzdeckschicht d_S , in m | 8 Höhe h_B der Lärmschutzeinrichtung, in m |

Bild 9 — (nicht maßstäblich) Skizzen des Aufbaus zur Messung des Reflexionsindex vor einer gewölbten Lärmschutzeinrichtung an Straßen (Seitenansicht)

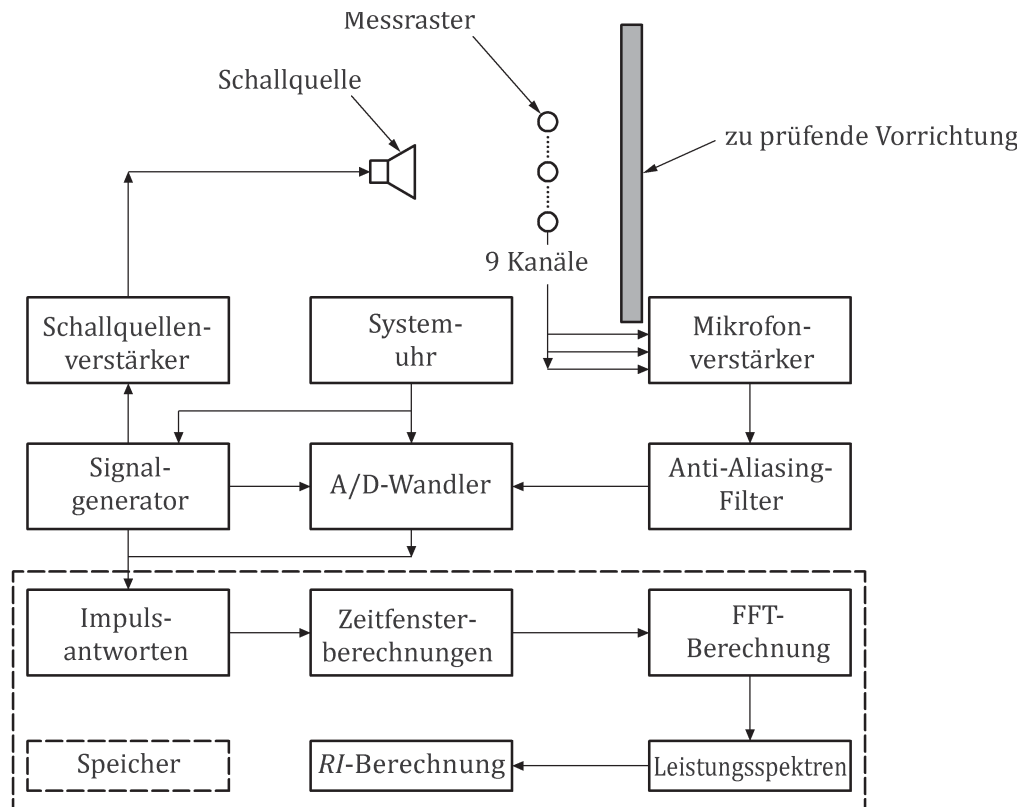


Bild 10 — Skizze mit den wesentlichen Komponenten des Messsystems

5.4 Messapparatur

5.4.1 Komponenten des Messsystems

Die Messeinrichtung muss ein elektroakustisches System, bestehend aus einem elektrischen Signalgenerator, einem Leistungsverstärker und einem Lautsprecher, neun Mikrofonen und deren Mikrofonverstärkern, einer Mehrkanal-Soundkarte (oder Entsprechendes), die mindestens neun Kanäle gleichzeitig mit der gewünschten Abtastrate betreiben kann (siehe 5.5.2) und einem Signalanalysator (Hardware oder Software) zur Durchführung der Transformationen zwischen Zeit- und Frequenzbereich, umfassen.

ANMERKUNG 1 Ein Teil dieser Geräte kann in einem Frequenzanalysator oder einem Rechner mit Zusatzkarte(n) integriert sein.

Die Verbindungen dieser wesentlichen Komponenten des Messsystems sind in Bild 10 dargestellt.

Jedes Mikrofon muss mindestens den Anforderungen eines Geräts der Klasse 2 nach EN 61672-1 entsprechen und einen Durchmesser von maximal $\frac{1}{2}$ Zoll (12,7 mm) haben.

ANMERKUNG 2 Das hier beschriebene Messverfahren beruht auf Verhältnissen der Leistungsspektren von Signalen, die aus Impulsantworten stammen, die mit derselben Apparatur am selben Ort unter denselben Bedingungen innerhalb kurzer Zeit erfasst wurden. Im Übrigen ist hier keine hohe Genauigkeit bei der Messung von Schallpegeln von Interesse. Daher sind keine strengen Anforderungen an die Absolutgenauigkeit der Messkette vonnöten.

Das Mikrofon sollte ausreichend klein und leicht sein, um ohne Eigenbewegungen am Messraster in Position zu bleiben. Die Signalsubtraktionstechnik (siehe 5.5.4) erfordert es, die Relativpositionen von Mikrofonen und Lautsprecher konstant zu halten. Da sich dies in der Praxis als sehr schwierig erweisen kann, wenn ein uneinheitliches Gelände auftritt, ermöglicht die unter 5.5.4 beschriebene, verallgemeinernde Subtraktionstechnik die Positionierung des Messrasters ohne feste Verbindung zum Lautsprecher. Kleine, unvermeidliche Fehlaus-

richtungen der Impulsantworten, die vor der zu prüfenden Vorrichtung gemessen werden, und der Antworten vor demselben Mikrofon im Freifeld können durch das unter 5.5.4 beschriebene Justierverfahren ausgeglichen werden.

Die Mikrofone müssen so montiert werden, dass sie sich in der Ebene des Messrasters befinden, damit sie die direkten und reflektierten Bestandteile mit nominell derselben Richtwirkung messen, wobei die Membran nicht auf den Boden gerichtet sein darf.

5.4.2 Schallquelle

Die elektroakustische Schallquelle muss folgende Eigenschaften erfüllen:

- Sie muss einen einzigen Lautsprechertreiber besitzen.
- Sie muss ohne Öffnung, z. B. zur Verbesserung des Verhaltens bei tiefen Frequenzen, ausgeführt sein.
- Sie muss ohne aktive oder passive elektrische Bauelemente (wie z. B. Weichen) ausgeführt sein, die den Frequenzverlauf des gesamten Systems beeinflussen können.
- Sie muss einen glatten Frequenzverlauf ohne starke Unregelmäßigkeiten innerhalb des Messfrequenzbereiches entsprechend einer Impulsantwort unter Freifeldbedingungen aufweisen, bei der mehr als 90 % der Energie auf die ersten 3 ms entfallen.

ANMERKUNG Da der Schallreflexionsindex aus dem Verhältnis von Energiegrößen berechnet wird, die von Impulsantworten stammen, die über einen kurzen Zeitraum unter Verwendung desselben Lautsprechers und Messrasters gewonnen wurden, sind die Eigenschaften des Frequenzgangs des Lautsprechers nicht kritisch, vorausgesetzt, dass ein Lautsprecher von hoher Qualität verwendet wird, der die vorstehenden Vorgaben erfüllt.

5.4.3 Prüfsignal

Die elektroakustische Schallquelle muss ein elektrisches Eingangssignal empfangen, das deterministisch und exakt wiederholbar ist.

Die Verwendung von Lautsprechern führt typischerweise eine nichtlineare Verzerrung in das System ein, die, genau genommen, die Anforderungen an die Linearität dieses Verfahrens nicht erfüllt. Da sich die lautsprecherbedingte Verzerrung mit dem Anregungsniveau verstärkt, muss sich der Anwender dieses Problems bewusst sein und mit dem Anregungsniveau experimentieren, um das optimale S/N-Verhältnis zu erhalten. Gelegentlich darf das S/N-Verhältnis durch die Minderung des Anregungsniveaus verbessert werden. Bei bestimmten Signalarten darf das S/N-Verhältnis durch die Wiederholung desselben Prüfsignals und eine synchrone Mittelwertbildung der Mikrofonantwort verbessert werden.

Im Allgemeinen darf jede Art von Anregungssignal verwendet werden, um die Impulsantwort bzw. die Übertragungsfunktion eines linearen zeitinvarianten Systems zu bestimmen, wenn es über ausreichend Energie für jede interessierende Frequenz verfügt. Die Impulsantwort kann über die Entfaltung der Antwort auf die Anregung erlangt werden bzw. die Übertragungsfunktion kann durch den Quotienten aus Ausgabespektrum und Eingabespektrum des zu prüfenden Systems erhalten werden. Letzteres schließt die Fourier-Transformation von Eingabe- und Ausgabesignal ein, um den Quotienten im Spektralbereich bilden zu können.

Dieses Dokument empfiehlt die Verwendung der Periode eines deterministischen Signals mit flachem Spektrum, wie einer Maximalfolge (MLS) oder eines exponentiellen Gleitsinus (ESS), und die Rückumwandlung der gemessenen Antwort in eine Impulsantwort.

Es muss verifiziert werden, dass:

- die Erzeugung des Prüfsignals deterministisch und wiederholbar ist;
- die Impulsantworten (ohne starke Verzerrung) im gesamten interessierenden Frequenzbereich (Terzbänder zwischen 100 Hz und 5 kHz) korrekt erfasst werden;

- das Prüfverfahren eine ausreichende Unempfindlichkeit gegen Fremdgeräusche besitzt, d.h. dass das effektive S/N-Verhältnis im gesamten interessierenden Frequenzbereich innerhalb einer kurzen Messzeit (nicht mehr als 5 min je Impulsantwort) höher als 10 dB gehalten werden kann;
- die Abtastrate hoch genug gewählt werden kann, um eine präzise Korrektur möglicher temperaturschwankungsbedingter Zeitverschiebungen in den Impulsantworten zwischen der Messung vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung zu ermöglichen.

5.5 Datenverarbeitung

5.5.1 Kalibrierung

Das hier beschriebene Messverfahren beruht auf Verhältnissen der Leistungsspektren von Signalen, die aus den mit derselben Ausrüstung in derselben Position unter denselben Bedingungen bestimmten Impulsantworten gewonnen wurden. Eine Absolutkalibrierung der Messkette im Hinblick auf den Schalldruckpegel ist deshalb nicht notwendig. Es wird dennoch empfohlen, die korrekte Funktion der Messkette vom Beginn bis zum Ende der Messungen zu überprüfen.

Mechanische und elektronische Manipulationen oder Manipulationen an der Software erschweren es manchmal, bei der Änderung der Messanordnung von „Freifeld“ zu „vor dem Prüfkörper“ und andersherum ohne leichte Änderungen an den Verstärkungseinstellungen des Lautsprechers und in den Empfindlichkeitseinstellungen der einzelnen Mikrofone auszukommen. Aus diesen Gründen wird in Gleichung (1) ein weiterer Korrekturfaktor, $C_{gain,k}$, berücksichtigt, der geringfügig von eins abweichen kann. Er muss mindestens einmal für jede Messrasterposition als Verhältnis des Spektrums, das aus den Zeitfensterberechnungen der einfallenden Komponente aus der Impulsantwort vor dem Prüfkörper hervorgeht, und dem Spektrum der einfallenden Komponente, das aus den Zeitfensterberechnungen der Freifeld-Impulsantwort erlangt wird, berechnet werden:

$$C_{gain,k}(\Delta f_g) = \frac{\int_{\Delta f_g} |F[h_{i,k,FF}(t) \cdot w_{i,k}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_g} |F[h_{i,k,D}(t) \cdot w_{i,k}(t)]|^2 df} \quad (4)$$

Dabei ist

$h_{i,k,D}(t)$ die einfallende Bezugskomponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt vor der zu prüfenden Vorrichtung;

$h_{i,k,FF}(t)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt;

$w_{i,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die einfallende Bezugskomponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt;

F das Symbol für die Fourier-Transformierte;

Δf_g der Frequenzbereich, der die Terzbänder zwischen 500 Hz und 2 kHz umfasst.

k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3 ($k = 1, \dots, 9$).

- Falls $C_{gain,k}$ um weniger als 5 % von eins abweicht, kann der Wert auf eins gesetzt werden.
- Falls $C_{gain,k}$ um mehr als 20 % von eins abweicht, kann das als Hinweis darauf betrachtet werden, dass einige Einstellungen des Messsystems grundlegend geändert wurden und es ist empfehlenswert, die Daten erneut zu prüfen.
- Falls $C_{gain,k}$ um weniger als 20 % und mehr als 5 % von eins abweicht, sind die Werte für diesen Faktor unter Verwendung von Gleichung (4) zu bestimmen.

Der vorstehend beschriebene Wert für $C_{gain,k}$ sollte als frequenzunabhängig betrachtet werden. Tatsächlich können Abweichungen von eins auf Abweichungen der allgemeinen Lautsprecherverstärkung oder die Einstellungen der Mikrofonempfindlichkeit zurückgeführt werden. Andererseits können aufgrund von Messunsicherheiten, z. B. hinsichtlich der Auswirkungen von Zeitfensterberechnungen, die hauptsächlich niedrige Frequenzen betreffen, oder aufgrund von Schallabschattungen der Mikrofone, die hauptsächlich hohe Frequenzen betreffen, einige Abweichungen von einem flachen Verlauf in diesen niedrigen und hohen Frequenzen erwartet werden, während diese Abweichungen in den Terzbändern zwischen 500 Hz und 2 kHz vernachlässigt werden können. Daher muss der Wert für $C_{gain,k}$ innerhalb des Frequenzbereiches ermittelt werden, der von den Terzbändern zwischen 500 Hz und 2 kHz erfasst wird.

Die Länge des Adrienne-Zeitfensters, das im hier beschriebenen Kalibrierverfahren [Gleichung (4)] verwendet wird, sollte kürzer als die Standardlänge von $T_{WADR} = 7,9$ ms (siehe 5.5.6) sein, da der einfallenden Bezugskomponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt vor der zu prüfenden Vorrichtung $h_{i,k,D}(t)$ die reflektierte Komponente folgt. Unter Berücksichtigung der ungünstigeren Fälle (Mikrofone Nr. 1, 3, 7 und 9) beträgt die Verzögerung zwischen der einfallenden Komponente der Impulsantwort und der reflektierten Komponente ungefähr 1,3 ms und das Adrienne-Zeitfenster sollte wie folgt zusammengesetzt sein (siehe 5.5.6): eine linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer Länge von 0,5 ms, ein ebener Teil mit einer Länge von 0,56 ms, eine rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer Länge von 0,24 ms, eine Gesamtlänge von 1,3 ms.

ANMERKUNG Der Korrekturfaktor $C_{gain,k}$ wird nur durch einen Teil des Spektrums (Terzbänder zwischen 500 Hz und 2 kHz) ermittelt, während die Signalsubtraktion darauf optimiert ist, die Direktkomponenten der Freifeld-Impulsantwort an diejenigen der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung in sämtlichen Einzelheiten anzupassen, also breitbandig. Daher wird der Korrekturfaktor $C_{gain,k}$ getrennt von dem unter 5.5.4 beschriebenen Signalsubtraktionsverfahren berücksichtigt.

5.5.2 Abtastrate und Filterung

Die Häufigkeit, mit der die Mikrofonantwort abgetastet wird, hängt von der festgelegten oberen Frequenzgrenze der Messung und von Typ und Eigenschaften des Anti-Aliasing-Filters ab.

Die Abtastrate f_s muss einen Wert besitzen, der gleich oder größer als 44 kHz ist.

ANMERKUNG Obwohl das Signal, wenn das Nyquist-Kriterium erfüllt ist, bereits eindeutig definiert ist, erleichtern höhere Abtastraten eine eindeutige Reproduktion des Signals. Dieses Dokument schreibt die Anwendung des Signalsubtraktionsverfahrens (siehe 5.5.4) vor, was die Kenntnis der exakten Wellenform voraussetzt. Deshalb können mit den vorgeschriebenen Abtastraten Fehler festgestellt und leichter korrigiert werden, wie z. B. Zeitverschiebungen in den Impulsantworten zwischen der Messung vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung infolge von Temperaturänderungen.

Abtastrate und Taktfrequenz des Signalgenerators müssen gleich sein.

Wenn die Messvorrichtung die Auswahl und Anwendung eines Tiefpassfilters auf das von den Mikrofonen kommende analoge Signal erlaubt, um das Nyquist-Kriterium zu erfüllen, gelten die beiden folgenden Vorschriften:

- 1) Die Grenzfrequenz des Anti-Aliasing-Filters, f_{co} , muss folgenden Wert haben:

$$f_{co} \leq k_f f_s f_{co} \leq k_f f_s \quad (5)$$

Dabei ist $k_f = 1/3$ für den Tschebyscheff-Filter und $k_f = 1/4$ für die Butterworth- und Bessel-Filter.

- 2) Die Filterordnung darf nicht kleiner als 6 sein.

Verwendet die Messvorrichtung einen Sigma-Delta-A/D-Wandler mit Überabtastung und integriertem Tiefpassfilter, so wird die Grenzfrequenz automatisch optimal gewählt, und die obige Vorschrift Gleichung (5) gilt nicht.

5.5.3 Hintergrundgeräusch

Der effektive Störspannungsabstand S/N muss unter Berücksichtigung der Abtastmittlungen im Frequenzbereich der Messungen größer als 10 dB sein.

ANMERKUNG Kohärenzmessverfahren, wie z. B. die MLS-Kreuzkorrelation, liefern hohe S/N -Verhältnisse.

Um dieses Signal-Rausch-Verhältnis S/N für jede Impulsantwort zu bewerten, müssen ein Zeitintervall, das nur das Hintergrundgeräusch enthält, und ein Zeitintervall, das das reflektierte Signal enthält, bestimmt werden. Das Zeitintervall für die Auswertung des Hintergrundgeräusches wird mit einem „Rauschfenster“ $w_{n,k}(t)$ gewählt. Das Zeitintervall für die Auswertung des Signals ist dasjenige innerhalb des Fensters der reflektierten Komponente $w_{r,k}(t)$.

Das Zeitintervall für die Bewertung des Hintergrundgeräusches kann auf zwei Arten gewählt werden (siehe Literaturhinweis [20]):

- 1) vom Beginn der Impulsantwort ($t = 0$) bis zum Beginn des Direktsignals; in diesem Fall liegt die untere Frequenzgrenze für die Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei 400 Hz.
- 2) vom Ende der Impulsantwort zu ihrem Anfang hin, wobei ein Adrienne-Zeitfenster mit derselben Breite wie für das reflektierte Signal verwendet wird; in diesem Fall ist die untere Frequenzgrenze für die Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses dieselbe wie bei der RI -Berechnung.

Das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Frequenzband beträgt:

$$S/N_{j,k} = 10 \cdot \lg \left\{ \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_{r,k}(t) w_{r,k}(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_{n,k}(t) w_{n,k}(t)]|^2 df} \right\} \quad (6)$$

Dabei ist

$h_{r,k}(t)$ die reflektierte Komponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt vor dem Prüfkörper;

$h_{n,k}(t)$ die Hintergrundgeräuschkomponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt;

$w_{r,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die reflektierte Komponente am k -ten Messpunkt;

$w_{n,k}(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die Hintergrundgeräuschkomponente am k -ten Messpunkt;

F das Symbol für die Fourier-Transformierte;

j der Index der Terzbänder (zwischen 100 Hz und 5 kHz);

Δf_j die Breite des j -ten Terzbands;

k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3 ($k = 1, \dots, 9$);

Das Signal-Rausch-Verhältnis beträgt insgesamt:

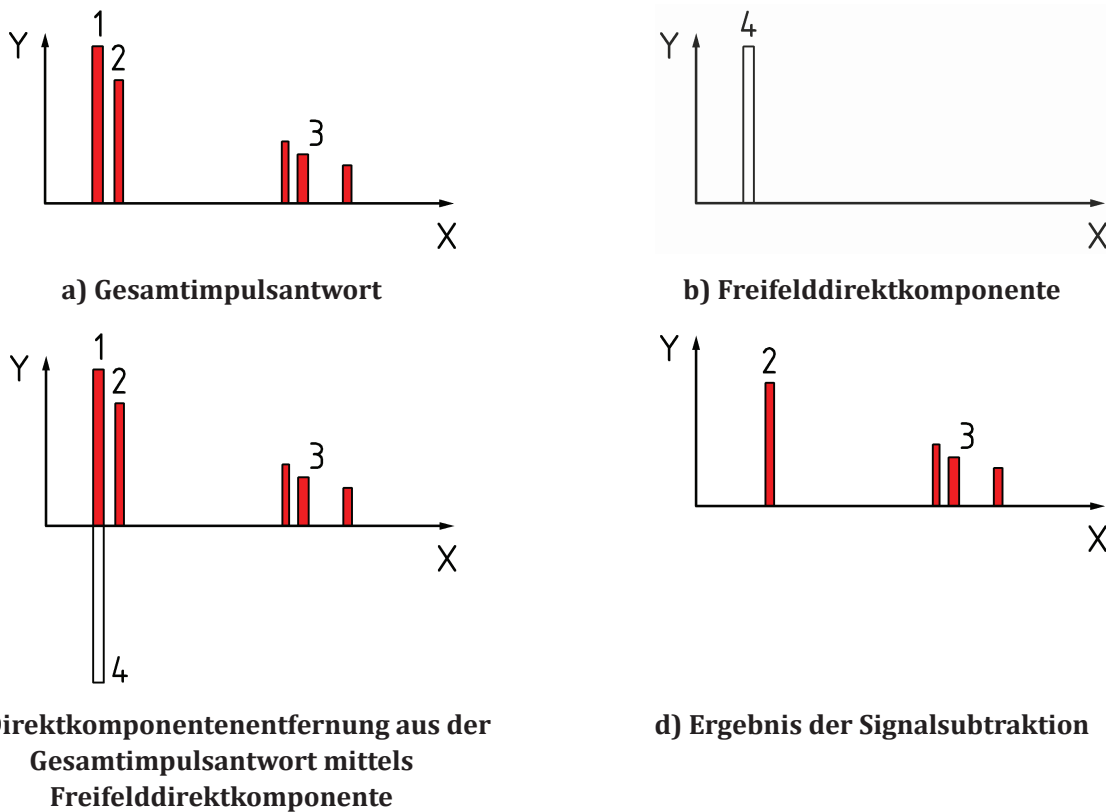
$$S/N_k = 10 \cdot \lg \left\{ \frac{\sum_{j=m}^{18} \int_{\Delta f_j} |F[h_{r,k}(t) w_{r,k}(t)]|^2 df}{\sum_{j=m}^{18} \int_{\Delta f_j} |F[h_{n,k}(t) w_{n,k}(t)]|^2 df} \right\} \quad (7)$$

Dabei ist

m die Zahl für das niedrigste verlässliche Terzband

5.5.4 Signalsubtraktionsverfahren

Die Gesamtpulsantworten bestehen aus einer Direktkomponente, einer von der zu prüfenden Oberfläche reflektierten Komponente und anderen störenden Reflexionen [Bild 11(a)]. Die Direktkomponente und die von der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung reflektierte Komponente müssen für jede Mikrofonposition getrennt werden.



Legende

- | | |
|--|-------------------------------|
| 1 Amplitude der Impulsantwort (willkürliche Einheiten) | 4 reflektierte Komponente |
| 2 Zeit t , in ms | 5 unerwünschte Störkomponente |
| 3 einfallende Direktkomponente | 6 Freifelddirektkomponente |

Bild 11 — Prinzip des Signalsubtraktionsverfahrens

Diese Trennung muss mittels des Signalsubtraktionsverfahrens erfolgen (Bild 11). Die reflektierte Komponente wird aus der Gesamtpulsantwort nach Eliminierung der Direktkomponente durch Subtraktion eines identischen Signals gewonnen [Bild 11(c) und Bild 11(d)]. Dies kann erreicht werden, indem eine Freifeldmessung für jedes Mikrofon mit derselben geometrischen Konfiguration von Lautsprecher und Messraster durchgeführt wird. Insbesondere ihre relative Position muss so konstant wie möglich gehalten sein. Die Direktkomponente wird aus der Freifeldmessung gewonnen [Bild 11(b)].

ANMERKUNG Dieses Verfahren ermöglicht eine Vergrößerung des Zeitfensters. Dies führt zu einer niedrigeren Grenze im Arbeitsfrequenzbereich ohne die Abstände zwischen Lautsprecher, Mikrofonen und der zu prüfenden Vorrichtung vergrößern zu müssen.

5.5.5 Genaue Verfahrensweise für die Ausrichtung

Grundsätzlich erfordert das Signalsubtraktionsverfahren eine sehr genaue relative Positionierung von Lautsprecher und Mikrofonen, um eine möglichst exakte zeitliche Übereinstimmung der Impulsantworten, der Messungen vor den zu prüfenden Vorrichtungen und im Freifeld für dasselbe Mikrofon zu erreichen.

Beim Aufbau der Ausrüstung in unebenem Gelände kann dies in der Praxis mit großen Schwierigkeiten verbunden sein, wenn kleine Bewegungen der Lautsprechermembrane oder der Mikrofone, Abweichungen bei den Antworten der Messausrüstung aufgrund temperaturbezogener oder elektrischer Schwankungen zwischen den Messungen im Freifeld und den reflektierten Messungen usw. auftreten.

Daher ist es erforderlich, vor Ausführung der Signalsubtraktion das Freifeldsignal relativ zur Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung an jedem Mikrofon geringfügig zu korrigieren.

Da im Allgemeinen die tatsächliche Zeitverschiebung nicht mit einem Vielfachen der zeitlichen Probenlänge Δt übereinstimmt, ist eine schrittweise Verschiebung eines oder mehrerer Datenpunkte ungeeignet.

Die genaue Verfahrensweise für die Ausrichtung muss wie folgt durchgeführt werden:

- 1) Für jede Mikrofonposition werden eine Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung und eine im Freifeld gemessene, die nominell dieselbe Geometrie haben, miteinander verglichen.
- 2) Die Freifeld-Impulsantwort wird wiederholt mittels eines kleinen „Verschiebungsschrittes“ $\Delta\tau$; $\Delta\tau$ muss $\approx \Delta t/50$ betragen, d. h. ungefähr $1/50$ des zeitlichen Abstandes Δt zwischen den Einzelpunkten der erhobenen Daten betragen (verbunden mit der vorgegebenen Abtastrate f_s durch $\Delta t \approx 1/f_s$).
- 3) Die Summe der quadrierten Unterschiede zwischen der Freifeld-Impulsantwort und der vor der zu prüfenden Vorrichtung gemessenen Impulsantwort wird für ein begrenztes Intervall von ungefähr 50 diskreten Datenpunkten rund um die erste Hauptspitze der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung berechnet.
- 4) Die Vorgänge unter Punkt 2) und 3) werden wiederholt, bis das Minimum der Summe unter 3) ermittelt wurde (kleinste Quadrate); die Zahl n der Verschiebungsschritte $\Delta\tau$, die erforderlich war, um dieses kleinste Quadrat zu erhalten, wird festgehalten. Diese Iteration ist auf ± 2 diskrete Datenpunkte der erhobenen Daten Δt begrenzt, d. h. ± 100 Verschiebungsschritte $\Delta\tau$; dieser Bereich liegt mittig vor der ersten Hauptspitze der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung, d. h. der Hauptspitze der einfallenden Komponente der Impulsantwort, die vor der zu prüfenden Vorrichtung gemessen wurde.
- 4) Die Vorgänge unter Punkt 2) und 3) werden wiederholt, bis das Minimum der Summe unter 3) ermittelt wurde (kleinste Quadrate); die Zahl n der Verschiebungsschritte $\Delta\tau$, die erforderlich war, um dieses kleinste Quadrat zu erhalten, wird festgehalten. Die Iteration ist auf $\pm q$ diskrete Datenpunkte der erhobenen Daten Δt begrenzt, so dass die gesamte Zeitverschiebung $q \cdot \Delta t \leq 50 \mu s$ beträgt, d. h. ± 110 Verschiebungsschritte $\Delta\tau$ für eine Abtastrate von $f_s = 44\,100$ Hz oder ± 240 Verschiebungsschritte $\Delta\tau$ für eine Abtastrate von $f_s = 96\,000$ Hz); dieser Bereich liegt mittig vor der ersten Hauptspitze der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung, d. h. der Hauptspitze der einfallenden Komponente der Impulsantwort, die vor der zu prüfenden Vorrichtung gemessen wurde.
- 5) Die Freifeld-Impulsantwort wird schließlich um den unter 4) ermittelten zeitlichen Abstand $n\Delta\tau$ verschoben und deren Amplitude wird so angepasst, dass die Amplitude ihrer ersten Hauptspitze der Amplitude der ersten Hauptspitze der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung genau gleicht.
- 6) Die verschobene und amplitudenangeglichene Freifeld-Impulsantwort wird von der Impulsantwort vor der zu prüfenden Vorrichtung subtrahiert.

ANMERKUNG 1 Die unter 5) verwendete, verschobene und amplitudenangeglichene Freifeld-Impulsantwort ist nach der Subtraktion auszusondern; die zur Berechnung des Reflexionsindex nach Gleichung (1) genutzte Freifeld-Impulsantwort ist die ursprüngliche, unveränderte Impulsantwort.

ANMERKUNG 2 Dieses Verfahren ermöglicht den Aufbau eines Messrasters ohne feste Verbindung zum Lautsprecher; die unvermeidlichen Fehlausrichtungen von Impulsantworten, die vor der zu prüfenden Vorrichtung gemessen werden, und von Antworten vor demselben Mikrofon im Freifeld dürfen anschließend soweit ausgeglichen werden, bis sie genau 50 mm betragen oder kleiner sind.

Um die Freifeld-Impulsantwort in n Verschiebungsschritten $n\Delta\tau$ zu verschieben, wobei $\Delta\tau$ erheblich kleiner als der zeitliche Abstand Δt zwischen den einzelnen Punkten der erhobenen Daten ist, ist die folgende Vorgehensweise anzuwenden.

- Die Freifeld-Impulsantwort wird über Fourier-Transformation in den Frequenzbereich transformiert, und ihre Phase wird mit einem frequenzabhängigen Faktor $\exp(i2\pi f n \Delta\tau)$ multipliziert.
- Die entstehende, phasenkorrigierte Fourier-Transformierte wird rücktransformiert, um die verschobene Freifeld-Impulsantwort für den Zeitbereich zu erzeugen, die anschließend für die Signalsubtraktion verwendet werden kann.

ANMERKUNG 3 Beim vorstehend beschriebenen, präzisen Ausrichtungsvorgang wurden der ursprünglichen Impulsantwort keine zusätzlichen Punkte hinzugefügt. Der oben unter 2) aufgeführte Satz „Die Freifeld-Impulsantwort wird wiederholt mittels eines kleinen ‚Verschiebungsschrittes‘ $\Delta\tau$ verschoben“ bedeutet eigentlich, dass die Freifeld-Impulsantwort über eine Fourier-Transformation in den Frequenzbereich transformiert und ihre Phase entsprechend den vorstehenden Punkten a) und b) geändert wird.

Die Wirksamkeit der Signalsubtraktion kann anhand der Schallpegelreduzierung des Direktschalls vor und nach der Signalsubtraktion innerhalb von 0,5 ms beiderseits der ersten Hauptspitze der Direktkomponente gemessen werden. Dies definiert den Reduktionsfaktor R_{sub} :

$$R_{sub} = 10 \cdot \lg \left[\frac{\int_{t_{p,k}-0,5\text{ ms}}^{t_{p,k}+0,5\text{ ms}} |h_{i,k,FF}(t)|^2 df}{\int_{t_{p,k}-0,5\text{ ms}}^{t_{p,k}+0,5\text{ ms}} |h_{i,k,RES}(t)|^2 df} \right] \quad (8)$$

Dabei ist

- $h_{i,k,FF}(t)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt (vor der Signalsubtraktion);
- $h_{i,k,RES}(t)$ die verbleibende einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort, aufgenommen vor dem Prüfkörper am k -ten Messpunkt (nach der Signalsubtraktion);
- $t_{p,k}$ der Zeitpunkt, zu dem die erste Spitze der einfallenden Komponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt festgestellt wird (vor der Signalsubtraktion);
- F das Symbol für die Fourier-Transformierte;
- k die Nummer des Mikrofons nach Bild 3 ($k = 1, \dots, 9$).

Ein Reduktionsfaktor R_{sub} , der gleich dem Verhältnis von Spitze zu Rauschen der Messung ist, kann als vollständige Subtraktion angesehen werden, da so im Bereich des Direktschalls nichts mehr außer dem Hintergrundgeräusch bestehen würde.

Die praktische Erfahrung zeigt, dass ein Wert für $R_{sub} < 10$ dB als Warnung verstanden werden sollte, dass die Signalsubtraktion nicht vollkommen ist.

5.5.6 Adrienne-Zeitfenster

Bei der Anwendung dieses Dokuments muss für Zeitfenstervorgänge ein sogenanntes Adrienne-Zeitfenster mit folgenden Eigenschaften verwendet werden (siehe Bild 12):

- eine Vorderflanke als linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer festen Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);
- ein flacher Teil („Hauptteil“);
- einer Hinterflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form;
- die Länge des ebenen Teils und die des rechtsseitigen halben Blackman-Harris-Teils müssen ein Verhältnis von 7/3 aufweisen.

Im Folgenden werden die beiden häufigsten Adrienne-Zeitfenster beschrieben.

1) Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge $T_{W,ADR} = 7,9$ ms (Standardlänge):

- eine Vorderflanke als linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer festen Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);
- ein flacher Teil mit einer Gesamtlänge von 5,18 ms („Hauptteil“);
- eine Hinterflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer Länge von 2,22 ms.

2) Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge $T_{W,ADR} = 6,0$ ms:

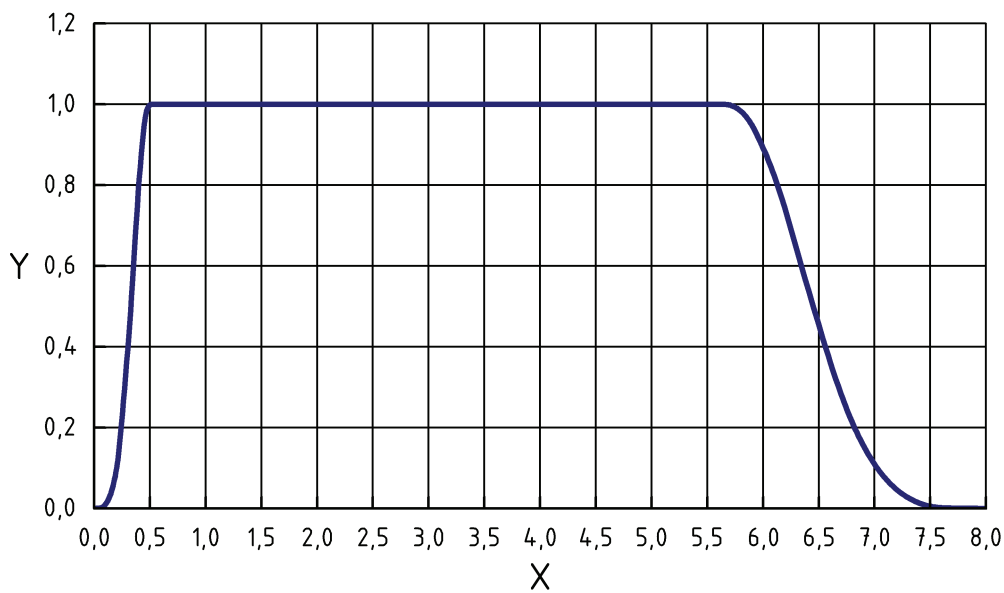
- eine Vorderflanke als linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer festen Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);
- ein flacher Teil mit einer Gesamtlänge von 3,85 ms („Hauptteil“);
- eine Hinterflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer Gesamtlänge von 1,65 ms.

Für sämtliche Fälle, in denen der Standardwert für die Breite des Zeitfensters $T_{W,ADR} = 7,9$ ms geändert wird, gilt: Die Länge des ebenen Teils und die des rechtsseitigen halben Blackman-Harris-Teils müssen ein Verhältnis von 7/3 aufweisen.

ANMERKUNG 1 Um die Reflexion vom Boden vollständig aus dem Analysefenster für die reflektierte Komponente herauszuhalten, muss z. B. die Länge des Adrienne-Zeitfensters verkürzt werden, wenn Lärmschutzvorrichtungen mit einer Höhe unter 4 m geprüft werden (siehe 5.5.7). In diesem Fall erhöht sich die untere Frequenzgrenze (siehe 5.5.8).

ANMERKUNG 2 Die Länge des Adrienne-Zeitfensters darf bei der Prüfung sehr großer Proben vergrößert werden, um eine niedrigere untere Frequenzgrenze zu erreichen (siehe 5.6.4).

Der Punkt, an dem der flache Teil des Adrienne-Zeitfensters beginnt, heißt Markierungspunkt (MP).



Legende

- 1 Zeit t , in ms
- 2 Form des Adrienne-Zeitfensters, in willkürlichen Einheiten

Bild 12 — Das Adrienne-Zeitfenster

ANMERKUNG 3 Ein viergliedriges vollständiges Blackman-Harris-Fenster der Länge $T_{w,BH}$ ist beschrieben durch:

$$w(t) = a_0 - a_1 \cos\left(\frac{2\pi t}{T_{w,BH}}\right) + a_2 \cos\left(\frac{4\pi t}{T_{w,BH}}\right) - a_3 \cos\left(\frac{6\pi t}{T_{w,BH}}\right) \quad (9)$$

Dabei ist

$$a_0 = 0,358\,75;$$

$$a_1 = 0,488\,29;$$

$$a_2 = 0,141\,28;$$

$$a_3 = 0,011\,68;$$

$$0 \leq t \leq T_{w,BH}.$$

Das Adrienne-Zeitfenster wird wie folgt verwendet.

Wenn die zu prüfende Vorrichtung die erforderlichen Mindestmaße hat, damit die Ergebnisse für das Frequenzspektrum 200 Hz bis 5 kHz gültig sind, muss das Adrienne-Zeitfenster in Terzbändern ($h_B \geq 4$ m) über Folgendes verfügen:

- eine Gesamtlänge von $T_{w,ADR} = 7,9$ ms, um die Impulsantworten, die von den Mikrofonen Nr. 1 bis 6 stammen, zu verarbeiten; von den über die sechs Mikrofone erhaltenen RI -Werten ist der Mittelwert zu bilden, um die endgültigen RI -Werte in dem auf 200 Hz zentrierten Terzband zu erhalten; die Ergebnisse in den auf 100 Hz, 125 Hz und 160 Hz zentrierten Terzbändern könnten zur Information aufbewahrt werden;
- eine Gesamtlänge von $T_{w,ADR} = 6,0$ ms, um die Impulsantworten, die von den Mikrofonen Nr. 1 bis 9 stammen, zu verarbeiten; von den über die neun Mikrofone erhaltenen RI -Werten ist der Mittelwert zu bilden, um die RI -Werte für die Terzbänder von 250 Hz bis 5 kHz zu erhalten.

Mit anderen Worten: Für die Terzbänder um 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz und 200 Hz wird der Mittelwert nur unter Berücksichtigung der Mikrofone Nr. 1 bis 6 ermittelt (siehe Bild 3), wobei ein Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge $T_{W,ADR} = 7,9$ ms verwendet wird. Ab dem Terzband um 250 Hz werden alle neun Mikrofone berücksichtigt, wobei ein Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge $T_{W,ADR} = 6,0$ ms verwendet wird.

Wenn die zu prüfende Vorrichtung nicht die erforderlichen Mindestmaße hat, damit die Ergebnisse für den Frequenzbereich 200 Hz bis 5 kHz in Terzbändern ($h_B < 4$ m) gültig sind, muss das Adrienne-Zeitfenster eine so reduzierte Länge haben, dass Bodenreflexionen von der reflektierenden Komponente der Impulsantworten ausgeblendet werden; es dürfen unterschiedliche Zeitfensterlängen für die Mikrofone Nr. 1 bis 3, 4 bis 6 und 7 bis 9 verwendet werden.

5.5.7 Platzierung des Adrienne-Zeitfensters

5.5.7.1 Direktkomponente

Für die „Freifeld“-Direktkomponente ist das Adrienne-Zeitfenster wie folgt anzuordnen:

- Die erste Spitze der Impulsantwort, die der Direktkomponente entspricht, wird ermittelt.
- Ein Zeitpunkt, der um 0,2 ms vor der Spitze der Direktkomponente liegt, wird bestimmt.
- Das Adrienne-Zeitfenster für die Direktkomponente wird so angeordnet, dass sein Markierungspunkt diesem Zeitpunkt entspricht.

Mit anderen Worten: Das Adrienne-Zeitfenster für die Direktkomponente wird so angeordnet, dass sein flacher Teil 0,2 ms vor der Spitze der Direktkomponente beginnt.

Das vorstehende Verfahren ist für jede Mikrofonposition zu wiederholen. Bei einer Änderung der Mikrofonposition wird der Markierungspunkt an leicht geänderten Zeitpunkten angeordnet.

5.5.7.2 Reflektierte Komponente

Das Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente muss auf die Impulsantwort angewandt werden, wie sie sich aus dem Verfahren der Signalsubtraktion ergibt (siehe 5.5.4).

ANMERKUNG Nach der Signalsubtraktion hat das dadurch entstandene Signal dort seine erste Spitze, wo die reflektierte Komponente beginnt.

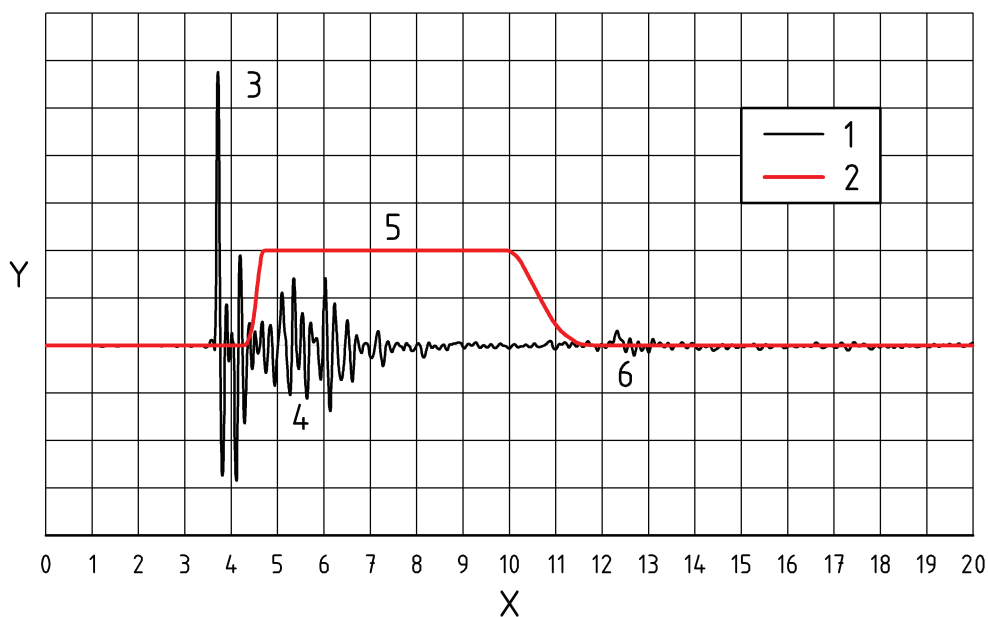
Für die reflektierte Komponente ist das Adrienne-Zeitfenster wie folgt anzuordnen, indem es auf die Impulsantwort zielt, die sich aus der Signalsubtraktion ergibt:

- Die erste Spitze der Impulsantwort, die der reflektierten Komponente entspricht, wird, falls möglich, über geometrische Berechnungen unter Annahme geometrischer Reflexion ermittelt (bei nicht ebenen Vorrichtungen entspricht die konventionelle Referenzdeckschicht der Bezugsebene nach 3.13).
- Ein Zeitpunkt, der um 0,2 ms vor der reflektierten Komponente liegt, wird ermittelt.
- Das Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente wird so angeordnet, dass sein Markierungspunkt diesem Zeitpunkt entspricht.

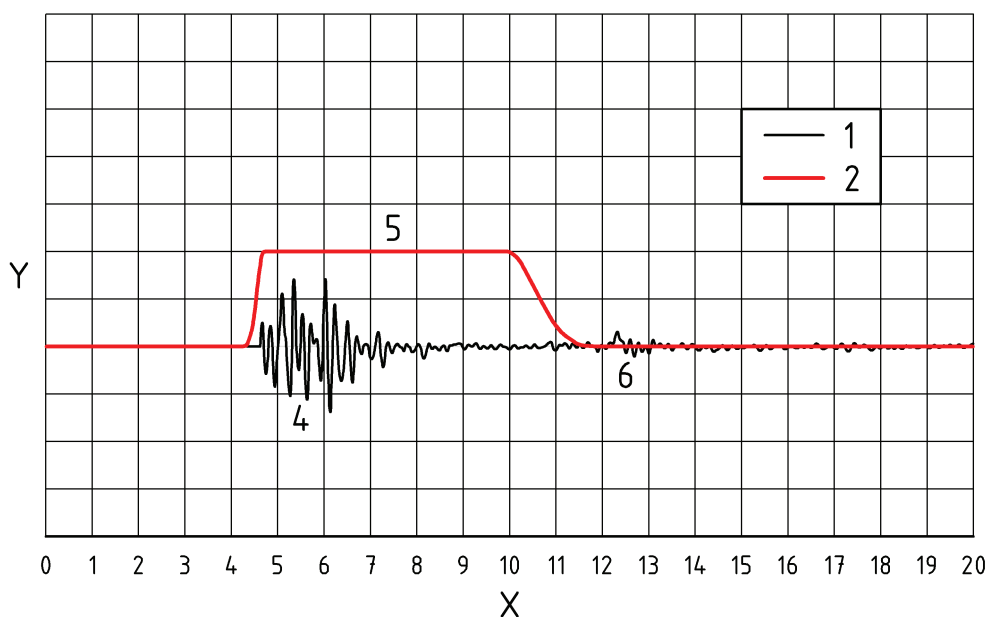
Mit anderen Worten: Das Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente wird so angeordnet, dass sein flacher Teil 0,2 ms vor der ersten Spitze der reflektierten Komponente beginnt (siehe Bild 13).

Das vorstehend Ausgeführte ist für jede Mikrofonposition zu wiederholen. Bei einer Änderung der Mikrofonposition wird der Markierungspunkt an leicht geänderten Zeitpunkten angeordnet.

Bei Berechnungen, in welche die Schallgeschwindigkeit c eingeht, ist deren temperaturabhängiger Wert zu verwenden.



a)



b)

Legende

- | | |
|---|--|
| 1 Zeit t , in ms | 5 Direktkomponente |
| 2 Impulsantwort oder Form des Adrienne-Zeitfensters, in relativen Einheiten | 6 reflektierte Komponente |
| 3 Impulsantwort, in relativen Einheiten | 7 Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente |
| 4 Adrienne-Zeitfenster, in relativen Einheiten | 8 Störkomponente aufgrund von Bodenreflexion |

Bild 13 — Beispiel für eine Impulsantwortmessung vor einer vertikalen, unebenen Lärmschutzwand
a) vor der Signalsubtraktion b) nach der Signalsubtraktion

5.5.8 Größte abgetastete Fläche

Die Größe der größten abgetasteten Fläche ist durch die kürzesten Abstände von Lautsprechervorderseite und Mikrofon zur Bezugsebene für die Messungen des Reflexionsindex einer zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung und der Breite des Adrienne-Zeitfensters festgelegt.

Bei Messungen mit senkrechtem Schalleinfall wird die größte abgetastete Fläche für jedes Mikrofon durch einen Kreis begrenzt, dessen Mittelpunkt im Auftreffpunkt liegt. Bei Berücksichtigung derselben Länge des Adrienne-Zeitfensters, wie sie für die Berechnung der unteren Grenzfrequenz verwendet wurde (siehe 5.5.6 und 5.5.7 und die Bild 6 bis Bild 9), beträgt der Radius r , in Meter, des oben erwähnten Kreises:

$$r = \frac{1}{d_S + d_M + cT_{w,ADR}} \sqrt{\left(d_S + d_M + \frac{cT_{w,ADR}}{2}\right) \left(d_S + \frac{cT_{w,ADR}}{2}\right) (2d_M + cT_{w,ADR}) cT_{w,ADR}} \quad (10)$$
$$r = \frac{1}{d_S + d_M + cT_{w,ADR}} \sqrt{\left(d_S + d_M + \frac{cT_{w,ADR}}{2}\right) \left(d_S + \frac{cT_{w,ADR}}{2}\right) (2d_M + cT_{w,ADR}) cT_{w,ADR}}$$

Dabei ist

d_S der Abstand von der Lautsprechervorderseite zur Referenzdeckschicht, in m;

d_M der Abstand vom Mikrofon zur Referenzdeckschicht, in m;

c die Schallgeschwindigkeit in Luft, in m/s;

$T_{w,ADR}$ die Breite des Adrienne-Zeitfensters für die reflektierte Komponente, in s.

Der Radius der Fläche, die zum Messwert des Reflexionsindex beiträgt, ist eine abnehmende Funktion der Frequenz, jedoch ist er nicht notwendigerweise gleich dem Radius der vorstehend festgelegten größten abgetasteten Fläche.

ANMERKUNG 1 Beispielsweise beträgt mit den in diesem Dokument festgelegten Werten für d_S , d_M , $T_{w,ADR}$, den Maßen von 4×4 m (Höhe $\times$ Länge) für den Prüfkörper und $c = 340$ m/s der Radius der größten abgetasteten Fläche 1,96 m.

ANMERKUNG 2 Bei schrägem Schalleinfall ergibt sich die größte abgetastete Fläche aus dem Schnitt der Bezugsebene und dem Rotationsellipsoid, in dessen Brennpunkten die Schallquelle und das Mikrofon liegen und dessen Hauptachse gegeben ist durch:

$$a = \frac{cT_{w,ADR}}{2} + \sqrt{(d_S + d'_M)^2 + d_p^2} \quad a = \frac{cT_{w,ADR}}{2} + \sqrt{(d_S + d'_M)^2 + d_p^2} \quad (11)$$

mit denselben, zuvor verwendeten Symbolen und:

d_S der kürzeste (normale) Abstand von der Lautsprechervorderseite zur Referenzdeckschicht, in m;

d'_M der Abstand vom Mikrofon zur Referenzdeckschicht, in m;

d_p der Abstand der Lautsprechervorderseite zum Mikrofon, projiziert auf die Referenzdeckschicht, in m.

5.6 Positionierung der Messeinrichtung

5.6.1 Allgemeines

Die Positionierung der Messeinrichtung muss in vier Schritten erfolgen:

- 1) Auswahl der Messpositionen entsprechend den Abmessungen, der Form und der Zusammensetzung der zu prüfenden Vorrichtung.
- 2) Positionierung von Lautsprecher und Messraster und Überprüfung der ordnungsgemäßen Anbringung.

- 3) Berücksichtigung der relevanten und Störreflexionen, um die spätere Anbringung und Breite der Analysefenster zu definieren.
- 4) Bestimmung der unteren Frequenzgrenze.
- 5) Dann werden die eigentlichen Messungen durchgeführt.

Jeder Schritt wird im Folgenden ausführlich beschrieben.

ANMERKUNG Die Positionierung der Messeinrichtung ist eine kritische Aufgabe, die ein Expertenurteil über die Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen erfordert, das im Prüfbericht klar beschrieben und begründet wird.

5.6.2 Auswahl der Messpositionen

5.6.2.1 Allgemeines

Die Messeinrichtung ist vor der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen in den Positionen anzuordnen, die nach den unten aufgeführten Regeln ausgewählt werden.

Im Folgenden sind die Bilder, die die nach den Regeln gewählten Bezugspositionen veranschaulichen, nur Beispiele; die Verantwortung für die richtige Wahl bleibt dem Bediener überlassen. Der Prüfbericht muss eine klare Begründung für alle getroffenen Entscheidungen enthalten.

In jedem Fall muss die Bezugslage des Messrasters alle folgenden Bedingungen erfüllen:

- i) das Messgitter befindet sich auf der Seite der Lärmschutzvorrichtung an Straßen, die dem Lärm ausgesetzt ist, wenn die Vorrichtung eingebaut ist;
- ii) das zentrale Mikrofon (Mikrofon Nr. 5) befindet sich in der Bezugshöhe h_S ;

der kürzeste Abstand des zentralen Mikrofons zur Bezugsfläche beträgt $d_M = 0,25$ m.

ANMERKUNG Einige Lärmschutzvorrichtungen an Straßen sind so hergestellt oder angebracht, dass ihre Oberfläche deutliche Unregelmäßigkeiten aufweist, so dass es schwierig ist, einen genau definierten Bezugspunkt zu finden, von dem aus eine Entfernung gemessen werden kann, selbst wenn die zu prüfende Vorrichtung als nominell eben deklariert ist. In diesen Fällen wird die Messunsicherheit von der Herstellungs- und Verarbeitungstoleranz beherrscht, die Werte bis zu einigen Zentimetern annehmen könnte, und es ist unmöglich, eine geringere Unsicherheit zu erzielen.

5.6.2.2 Ebene homogene Vorrichtungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzvorrichtung an Straßen als uneben, wenn die Tiefe b_s der Oberflächenstruktur nicht größer als 17 mm ist, siehe Bild 14a).

ANMERKUNG 1 Eine Tiefe der Oberflächenstruktur von 17 mm entspricht einem Viertel der Freifeldwellenlänge zur Nennfrequenz des höheren Terzbands (5 kHz) im normalisierten Verkehrslärmspektrum nach EN 1793-3.

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzvorrichtung an Straßen als homogen, wenn ihre im eingebauten Zustand dem Verkehrslärm zugewandte Oberfläche überall die gleiche akustische Impedanz aufweist [siehe Bild 14b)].

ANMERKUNG 2 Dies wird überprüft, wenn die Oberfläche aus demselben Material oder aus einer Abfolge derselben Materialien der Reihe nach zusammengesetzt ist.

ANMERKUNG 3 Dichtungen, Bolzen und andere kleine Teile der Oberfläche, die vernachlässigbare akustische Auswirkungen haben, werden bei der Bewertung der Ebenheit und Homogenität wie oben beschrieben nicht berücksichtigt.

Lautsprecher und Messraster werden so angeordnet, dass sie sich in den entsprechenden *Referenzpositionen* befinden (siehe 3.14 und 3.15). Das Messraster ist auf die Referenzdeckschicht ausgerichtet, und die Mikrofone mit den Nummern 4, 5 und 6 haben den gleichen Abstand $d_M = 0,25$ m von der Bezugsebene.

Das zentrale Mikrofon des Messrasters (Mikrofon Nr. 5) muss denselben Abstand zu den Kanten zweier aufeinanderfolgender Pfosten haben. Besteht die zu prüfende Vorrichtung aus freistehenden Elementen ohne Pfosten, so muss das Mikrofon 5 mittig auf einem Element aufgestellt werden, und die Abstände müssen von den Kanten des Elements nach links und rechts gemessen werden.

Der Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter muss so konstant wie möglich gehalten werden und $d_{SM} = 1,25$ m entsprechen.

Vor der zu prüfenden Vorrichtung ist ein Satz von neun Impulsantworten, eine für jedes Mikrofon des Messrasters, zu messen.

Damit eine Erfassung in der Nähe befindlicher Objekte, einschließlich des Bodens, vermieden wird, ist für jede Mikrofonposition eine Freifeld-Impulsantwort unter Verschiebung von Lautsprecher und Messraster und unter Beibehaltung der nominell selben relativen Geometrie zu messen.

ANMERKUNG 4 Gewöhnlich können die neun Messungen für das Messgitter und die entsprechenden Freifeldmessungen unter Verwendung einer Mehrkanal-Ausrüstung innerhalb kurzer Zeit (normalerweise weniger als 20 min) durchgeführt werden. Hierdurch können Laufzeitunterschiede, die durch Temperaturdifferenzen zwischen den Messungen vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung verursacht werden könnten, vermieden werden.

Die Messungen vor der Vorrichtung und die entsprechenden Freifeldmessungen müssen entsprechend Gleichung (1) für den Schallreflexionsindex durchgeführt und gemittelt werden.

Für jedes Terzband wird die Anzahl der Messungen n_j , die für das Mittelwertverfahren zu berücksichtigen ist, nach 5.5.6 gewählt.

Bei jedem Terzband werden die im Mittelwertverfahren berücksichtigten Messungen nach 5.5.6 mit derselben Länge für das Adrienne-Zeitfenster berechnet.

5.6.2.3 In eine Richtung unebene oder nichthomogene Vorrichtungen

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gilt eine Lärmschutzvorrichtung an Straßen als uneben, wenn die Tiefe b_s der Oberflächenstruktur nicht größer als 17 mm ist (siehe Bild 14a).

ANMERKUNG 1 Eine Tiefe der Oberflächenstruktur von 17 mm entspricht einem Viertel der Freifeldwellenlänge zur Nennfrequenz des höheren Terzbands (5 kHz) im normalisierten Verkehrslärmspektrum nach EN 1793-3.

Für die Anwendung dieser Europäischen Norm gilt eine Lärmschutzvorrichtung an Straßen als nichthomogen, wenn ihre im eingebauten Zustand dem Verkehrslärm zugewandte Oberfläche aus Teilen mit unterschiedlicher akustischer Impedanz besteht, und jedes Teil eine Mindestbreite b_m von mehr als 17 mm aufweist (siehe Bild 14b).

ANMERKUNG 2 Dies wird überprüft, wenn die Oberfläche aus verschiedenen Materialien parallel (mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften) oder aus einer Abfolge unterschiedlicher Materialien der Reihe nach zusammengesetzt ist.

ANMERKUNG 3 Dichtungen, Bolzen und andere kleine Teile der Oberfläche, die vernachlässigbare akustische Auswirkungen haben, werden bei der Bewertung der Ebenheit und Homogenität wie oben beschrieben nicht berücksichtigt.

Sowohl regelmäßig wiederkehrende Oberflächenstrukturen als auch die regelmäßig wiederkehrende Abfolge unterschiedlicher Materialien haben eine typische Länge, die sogenannte *Periodenlänge* L_p (siehe Bild 14).

Falls die zu prüfende Vorrichtung wegen einer Periodizität in senkrechter Richtung, die sich aus strukturebedingten Furchen oder einer Materialänderung ergibt, uneben und/oder nichthomogen ist, muss die Mindesthöhe des Prüfkörpers von 4 m auf 4 m zuzüglich einer vollen Periodenlänge L_p aufgestockt werden, damit die Messungen für das gesamte Frequenzspektrum (200 Hz bis 5 kHz) gültig sind.

Falls die zu prüfende Vorrichtung wegen einer Periodizität in waagerechter Richtung, die sich aus strukturebedingten Furchen oder einer Materialänderung ergibt, uneben und/oder nichthomogen ist, muss die Mindestbreite des Prüfkörpers von 4 m auf 4 m zuzüglich einer vollen Periodenlänge L_p erweitert werden, damit die Messungen für das gesamte Frequenzspektrum (200 Hz bis 5 kHz) gültig sind.

Bei unebenen und homogenen Prüfkörpern sind die Schallquelle und das Messraster an allen nach den folgenden Regeln festgelegten Bezugspositionen anzuordnen, und an jeder dieser Positionen muss eine Messung durchgeführt werden (siehe 3.14, 3.15 und Bild 14a):

- 1) Es gibt eine Bezugsposition des Messgitters, wo sich Mikrofon Nr. 5 vor der am weitesten herausstehenden Stelle der Oberfläche der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen und so mittig wie möglich zum Prüfkörper befindet.
- 2) Es gibt eine Bezugsposition des Messgitters, wo sich Mikrofon 5 vor der tiefsten Stelle der Oberfläche der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen und so mittig wie möglich zum Prüfkörper befindet.
- 3) Es gibt eine Bezugsposition des Messgitters, wo sich Mikrofon Nr. 5 mittig zwischen Bezugspositionen in 1 und 2 oben und so mittig wie möglich zum Prüfkörper befindet.
- 4) Alle aufeinanderfolgenden Bezugspositionen befinden sich innerhalb einer Periodenlänge L_p .

Nach den oben genannten Regeln beträgt die Mindestanzahl der Bezugspositionen für das Messgitter bei unebenen und homogenen Prüfkörpern 3.

Bei ebenen und nichthomogenen Prüfkörpern sind Lautsprecher und Messraster an allen nach den folgenden Regeln festgelegten Bezugspositionen anzuordnen, und an jeder dieser Positionen muss eine Messung durchgeführt werden (siehe 3.15 und Bild 14b):

- 1) Es gibt eine Bezugsposition des Messgitters, wo das Mikrofon Nr. 5 auf einem anderen Teil des Oberflächenmaterials der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen zentriert ist und so mittig wie möglich zum Prüfkörper liegt.
- 2) Es gibt eine Bezugsposition des Messgitters, wo Mikrofon 5 auf der Grenze zwischen zwei verschiedenen Abschnitten des Oberflächenmaterials der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung an Straßen zentriert ist und so mittig wie möglich zum Prüfkörper liegt.
- 3) Alle aufeinanderfolgenden Bezugspositionen befinden sich innerhalb einer Periodenlänge L_p .

Nach den oben genannten Regeln beträgt die Mindestanzahl der Bezugspositionen für das Messgitter bei ebenen und nichthomogenen Prüfkörpern 3.

Beim Wechsel von der ersten Bezugsposition zu den anderen müssen Lautsprecher und Messraster auf die gleiche Weise, d. h. unter Beibehaltung derselben relativen Geometrie, verschoben werden.

Die Messungen der Impulsantworten erfolgen für jedes Mikrofon an jeder Position des Messgitters. Für jede Mikrofonposition wird eine Freifeldmessung durchgeführt, wobei die relative Geometrie zwischen Lautsprecher und Messgitter beizubehalten ist.

ANMERKUNG 4 Gewöhnlich können die neun Messungen für das Messgitter und die entsprechenden Freifeldmessungen unter Verwendung einer Mehrkanal-Ausrüstung innerhalb kurzer Zeit (normalerweise weniger als 20 min) durchgeführt werden. Hierdurch können Laufzeitunterschiede, die durch Temperaturdifferenzen zwischen den Messungen vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung verursacht werden könnten, vermieden werden.

Die Messungen vor der Vorrichtung und die entsprechenden Freifeldmessungen müssen entsprechend Gleichung (1) für den Schallreflexionsindex durchgeführt und gemittelt werden.

Für jedes Terzband wird die Anzahl der Messungen n_j , die für das Mittelwertverfahren zu berücksichtigen ist, nach 5.5.6 gewählt.

Bei jedem Terzband werden die im Mittelwertverfahren berücksichtigten Messungen nach 5.5.6 mit derselben Länge für das Adrienne-Zeitfenster berechnet.

Der frequenzabhängige Reflexionsindex ist als Mittelwert aller Teilergebnisse zu berechnen, d. h. für jedes Mikrofon an jeder Position des Messgitters:

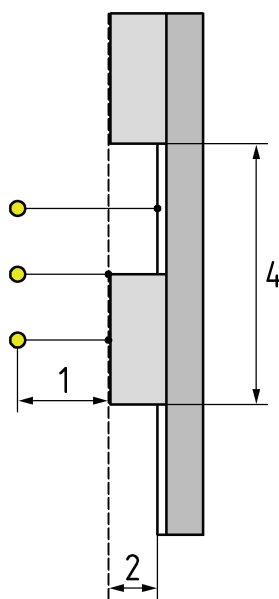
$$RI_j = \frac{1}{n_R} \sum_{i=1}^{n_R} RI_{i,j} \quad (12)$$

Dabei ist

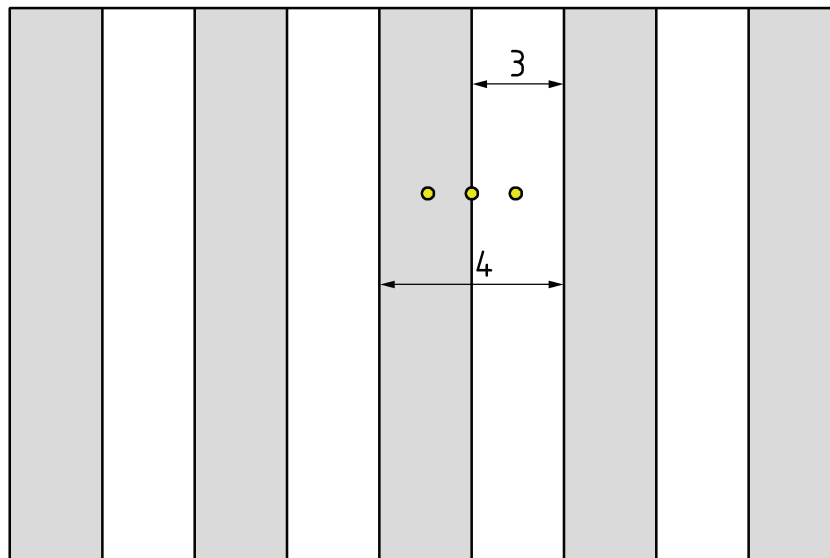
RI_j der Gesamtschallreflexionsindex im j -ten Terzband;

$RI_{i,j}$ der Schallreflexionsindex des j -ten Terzbandes, wenn sich das Messraster in der nach Gleichung (1) berechneten i -ten Bezugsposition befindet;

n_R die Zahl der Bezugspositionen des Messrasters.



a) Draufsicht



b) Vorderansicht

Legende

- 1 Abstand vom Mikrofon Nr. 5 zur Referenzdeckschicht d_M , in m
- 2 Tiefe der Oberflächenstruktur b_s , in m
- 3 Breite eines Materialteils b_m , in m
- 4 Periodenlänge L_p , in m

Bild 14 — Bezugspositionen des Messgitters ($n_R = 3$) — gekennzeichnet durch die gelben Kreise — bei einem ebenen, periodisch nichthomogenen Prüfkörper aus zwei verschiedenen Materialien mit einer Periode in waagerechter Richtung

5.6.2.4 In zwei Richtungen unebene oder nichthomogene Vorrichtungen

Änderungen im Profil der Oberflächenstruktur, der verwendeten Materialien oder in beidem können zu regelmäßig wiederkehrenden Strukturen in zwei Richtungen führen (siehe Bild 15).

ANMERKUNG Dichtungen, Bolzen und andere kleine Teile der Oberfläche, die vernachlässigbare akustische Auswirkungen haben, werden bei der Bewertung der Ebenheit und Homogenität wie oben beschrieben nicht berücksichtigt.

Die zu prüfende Vorrichtung kann in beide Richtungen eine typische Länge haben; diese Länge wird mit L_{p1} in senkrechter Richtung bzw. L_{p2} in waagerechter Richtung gekennzeichnet (siehe Bild 15).

Falls die zu prüfende Vorrichtung aufgrund einer Periodizität in zwei Richtungen uneben ist, gelten die beiden folgenden Vorschriften:

- Die Mindesthöhe des Prüfkörpers muss von 4 m auf 4 m zuzüglich einer Erweiterung in Form je einer vollen Periodenlänge L_{p1} in der senkrechten Richtung vergrößert werden, damit die Messungen für das gesamte Frequenzspektrum (200 Hz bis 5 kHz) gültig sind.
- Die Mindestlänge des Prüfkörpers muss von 4 m auf 4 m zuzüglich einer Erweiterung in Form je einer vollen Periodenlänge L_{p2} in der waagerechten Richtung vergrößert werden, damit die Messungen für das gesamte Frequenzspektrum (200 Hz bis 5 kHz) gültig sind.

Lautsprecher und Messraster sind an allen nach den folgenden Regeln festgelegten Bezugspositionen anzuordnen, und an jeder dieser Positionen muss eine Messung durchgeführt werden (siehe 3.15 und Bild 15):