

DIN EN 16272-5



ICS 93.100

Entwurf

Einsprüche bis 2022-04-18
Vorgesehen als Ersatz für
DIN CEN/TS 16272-5
(DIN SPEC 1637):2014-09

**Bahnanwendungen –
Oberbau – Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur
Beeinflussung der Luftschallausbreitung – Prüfverfahren zur Bestimmung
der akustischen Eigenschaften –
Teil 5: Produktspezifische Merkmale – In-situ-Werte zur Schallreflexion in
gerichteten Schallfeldern;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16272-5:2022**

Railway applications –
Infrastructure – Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation –
Test method for determining the acoustic performance –
Part 5: Intrinsic characteristics – Sound absorption under direct sound field conditions;
German and English version prEN 16272-5:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-02-18 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 fsf@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 Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF), Rolandstr. 4, 34131 Kassel.

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 143 Seiten

DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16272-5:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Unterausschuss NA 087-00-01-11 UA „Lärmschutzwände an Schienenwegen“ im DIN-Normenausschuss Fahrweg und Schienenfahrzeuge (FSF).

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.

DIN EN 16272 besteht unter dem allgemeinen Titel *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften* aus den folgenden Teilen:

- Teil 1: Produktspezifische Merkmale — Schallabsorption (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern
- Teil 2: Produktspezifische Merkmale — Luftschalldämmung (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern
- Teil 3-1: Produktspezifische Merkmale — Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahlangaben für Anwendungen im diffusen Schallfeld
- Teil 3-2: Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahlangaben für gerichtete Schallfelder
- Teil 4: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Schallbeugung in gerichteten Schallfeldern
- Teil 5: Produktspezifische Merkmale — Schallabsorption (Labormethode) bei gerichteten Schallfeldern*
- Teil 6: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern
- Teil 7: Fremdspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Einfügungsdämpfung (DIN CEN/TS 16272-7)

Dieses Dokument enthält neben den gesetzlichen Einheiten auch die Einheit inch (in), die in Deutschland nicht zugelassen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Anwendung dieser Einheit im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr auf Grund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen und die Zeitbestimmung (EinhZeitG) nicht zulässig ist. Die Angabe dieser Einheit dient lediglich als Hilfe im amtlichen und geschäftlichen Verkehr (z. B. bei Einfuhr und Ausfuhr) mit solchen Staaten, die diese Einheit anwenden.

Umrechnung:

Nicht zugelassene Einheit	Zugelassene Einheit	Umrechnung
in (inch)	mm	1 inch = 25,4 mm

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

* Dieses Dokument befindet sich in Vorbereitung.

Änderungen

Gegenüber DIN CEN/TS 16272-5 (DIN SPEC 1637):2014-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) die Literaturhinweise wurden aktualisiert;
- b) die rotierende Lautsprecher-Mikrofon-Einheit wurde durch eine quadratische Anordnung aus Lautsprecher und neun Mikrofonen (das Messgitter) ersetzt;
- c) die Definition von *RI* wurde geändert;
- d) der Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz wurde geändert;
- e) ein neuer Korrekturfaktor für den Richtfaktor der Schallquelle wurde eingeführt;
- f) ein neuer Korrekturfaktor für die Verstärkungsfehlانpassung wurde eingeführt;
- g) die Anpassung der Impulsantwort für die Signalsubtraktion wird ausführlicher beschrieben;
- h) das unterste verlässliche Terzband wurde besser definiert (Anhang A);
- i) die Einzahl-Angabe *DLRI* wird jetzt mit einer Dezimalstelle angegeben;
- j) eine Methode zur Bewertung der Unsicherheit des Messverfahrens anhand von Vergleichpräzisionsdaten wurde eingeführt (Anhang B);
- k) ein ausführliches Beispiel ist angegeben (Anhang C).

— Leerseite —

Titel de: Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 5: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern

Titel en: Railway applications — Infrastructure — Noise barriers and related devices acting on airborne sound propagation — Test method for determining the acoustic performance — Part 5: Intrinsic characteristics — Sound absorption under direct sound field conditions

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	9
4 Messungen des Schallreflexionsindex	15
4.1 Allgemeines Prinzip	15
4.2 Messgröße	15
4.3 Prüfanordnung	19
4.3.1 Allgemeines	19
4.3.2 Prüfungen an eigens gebauten Prüfkörpern in Originalgröße	19
4.3.3 Installierte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen	20
4.3.4 Geneigte oder gekrümmte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen	21
4.4 Messvorrichtung	25
4.4.1 Komponenten des Messsystems	25
4.4.2 Schallquelle	25
4.4.3 Prüfsignal	26
4.5 Datenverarbeitung	26
4.5.1 Kalibrierung	26
4.5.2 Abtastrate und Filterung	28
4.5.3 Hintergrundgeräusch	28
4.5.4 Signal-Subtraktions-Verfahren	29
4.5.5 Genaues Ausrichtungsverfahren	30
4.5.6 Adrienne-Zeitfenster	32
4.5.7 Anordnung des Adrienne-Zeitfensters	34
4.5.8 Größte abgetastete Fläche	37
4.6 Anordnung der Messvorrichtung	38
4.6.1 Allgemeines	38
4.6.2 Auswahl der Messpositionen	38
4.6.3 Berücksichtigung von relevanten und Störreflexionen	46
4.6.4 Untere Frequenzgrenze	49
4.6.5 Reflektierende Gegenstände	50
4.6.6 Sicherheitsaspekte	50
4.7 Prüfkörperoberfläche und Witterungsbedingungen	50
4.7.1 Zustand der Prüfkörperoberfläche	50
4.7.2 Wind	50
4.7.3 Lufttemperatur	50
4.8 Einzahl-Angabe der Schallabsorption in einem gerichteten Schallfeld DL_{RI}	50
4.9 Messunsicherheit	51
4.10 Ablauf der Messung	51
4.11 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 Vergleichpräzisionsdaten	59
B.3	Standardabweichung der Wiederholbarkeit und Vergleichpräzision des Schallreflexionsindexes	59
Anhang C (normativ) Vorlage für den Prüfbericht zum Schallreflexionsindex von Lärmschutzwänden für Eisenbahnen und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung		
C.1	Allgemeines	61
C.2	Prüfanordnung (Beispiel)	63
C.3	Prüfgegenstand und Prüfsituation (Beispiel)	65
C.4	Prüfergebnisse (Beispiel)	66
C.4.1	Teil 1 — Ergebnisse in tabellarischer Form	66
C.4.2	Teil 2 — Ergebnisse in grafischer Form	67
C.5	Unsicherheit (Beispiel)	67
Literaturhinweise		69

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16272-5:2022) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 256 „Eisenbahnwesen“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird CEN/TS 16272-5:2014 ersetzen.

Gegenüber dem ersetzten Dokument wurden die folgenden Änderungen vorgenommen:

- die Literaturhinweise wurden aktualisiert;
- die rotierende Lautsprecher-Mikrofon-Einheit wurde durch eine quadratische Anordnung aus Lautsprecher und neun Mikrofonen (das Messgitter) ersetzt;
- die Definition von *RI* wurde geändert;
- der Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz wurde geändert;
- ein neuer Korrekturfaktor für den Richtfaktor der Schallquelle wurde eingeführt;
- ein neuer Korrekturfaktor für die Verstärkungsfehlanpassung wurde eingeführt;
- die Anpassung der Impulsantwort für die Signalsubtraktion wird ausführlicher beschrieben;
- das unterste verlässliche Terzband wurde besser definiert (Anhang A);
- die Einzahl-Angabe *DLRI* wird jetzt mit einer Dezimalstelle angegeben;
- eine Methode zur Bewertung der Unsicherheit des Messverfahrens anhand von Vergleichpräzisionsdaten wurde eingeführt (Anhang B);
- ein ausführliches Beispiel ist angegeben (Anhang C).

EN 16272-5 ist Teil einer Normenreihe und sollte in Verbindung mit den folgenden Normen gelesen werden:

- EN 16272-1, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 1: Produktspezifische Merkmale — Schallabsorption (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern*
- EN 16272-2, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 2: Produktspezifische Merkmale — Luftschalldämmung (Labormethode) bei diffusen Schallfeldern*
- EN 16272-3-1, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 3-1: Produktspezifische Merkmale — Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahl-Angaben für diffuse Schallfelder*

- EN 16272-3-2, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 3-2: Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahl-Angaben für gerichtete Schallfelder*
- EN 16272-4, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 4: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Schallbeugung in gerichteten Schallfeldern*
- EN 16272-5, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 5: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Schallreflexion in gerichteten Schallfeldern* (dieses Dokument)
- EN 16272-6, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 6: Produktspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Luftschalldämmung in gerichteten Schallfeldern*
- CEN/TS 16272-7, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 7: Fremdspezifische Merkmale — In-situ-Werte zur Einfügungsdämpfung*

Einleitung

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Bestimmung der produktspezifischen Schallreflexion von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung für Schienenwege in nicht halligen Schallfeldern (ein Maß der produktspezifischen Leistung). Es kann sowohl im Innen- als auch im Außenbereich angewendet werden. In Innenbereichen kann es in einem eigens dafür errichteten Prüfstand (in gerichteten Schallfeldern) angewendet werden. In Außenbereichen kann es sowohl in einem eigens dafür errichteten Prüfstand, z. B. in der Nähe eines Labors oder einer Fabrik, als auch in-situ, d. h. dort, wo die Lärmschutzvorrichtungen für den Straßenverkehr aufgebaut sind, angewendet werden. Das Verfahren kann ohne Beschädigung der Oberfläche angewendet werden.

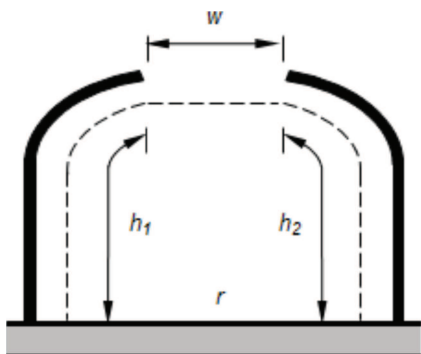
Das Verfahren kann zur Qualifizierung von Produkten, die entlang einer Eisenbahn eingesetzt werden, sowie zum Nachweis der Übereinstimmung aufgebauter Lärmschutzwände und verwandter Vorrichtung zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung mit der Bemessungsfestlegung verwendet werden. Die regelmäßige Anwendung des Verfahrens kann zur Überprüfung der Langzeitwirksamkeit von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung verwendet werden. Das Verfahren erfordert die Mittelwertbildung von Messergebnissen für verschiedene Punkte vor der zu prüfenden Vorrichtung und/oder für bestimmte Einfallswinkel. Es kann für die Untersuchung ebener und nicht ebener Produkte verwendet werden.

Die nach diesem Verfahren gewonnenen Messergebnisse zur Schallabsorption sind nicht direkt mit den Ergebnissen vergleichbar, die in diffusen Schallfeldern (z. B. EN 16272-1) erzielt werden, hauptsächlich deshalb, weil das vorliegende Verfahren ein gerichtetes Schallfeld und kein diffuses Schallfeld verwendet. Das in diesem Dokument beschriebene Prüfverfahren sollte nicht zur Bestimmung der produktspezifischen Eigenschaften der Schallabsorption von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung verwendet werden, die in halligen Umgebungen installiert werden, z. B. Verkleidungen in Tunneln oder in ausgeprägten Tieflagen.

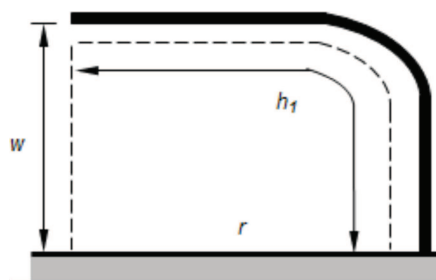
Für die Anwendung dieses Dokuments werden die Bedingungen der Halligkeit definiert über die Umhüllende, e , zu einem Querschnitt der von der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung gebildeten Schienenbahn mit den Wänden, der durch die Lärmschutzwände bzw. die Seitenwände von Einschnitten oder Gebäuden gebildet wird, (die Umhüllende enthält nicht die Schienenoberfläche) wie in Bild 1 durch die gestrichelten Linien gezeigt wird. Situationen werden als hallig angesehen, wenn der offene Anteil einer Umhüllenden höchstens 25 % beträgt, d. h. Halligkeit liegt vor bei $w/e \leq 0,25$, wobei $e = (w + h_1 + h_2)$.

Dieses Verfahren verwendet eine spezielle Größe, den Reflexionsindex, um die Schallreflexion vor einer Lärmschutzwand zu beschreiben und daraus eine Einzahl-Angabe für den Schallabsorptionsgrad zu berechnen, während die Messungen in diffusen Schallfeldern (nach EN 16272-1) einen Schallabsorptionsgrad in Abhängigkeit von der Frequenz ergeben und daraus eine Einzahl-Angabe für die Schallabsorption berechnen. Die in diffusen Schallfeldern gemessenen Werte des Schallabsorptionsgrads können in übliche Schallreflexionsgrade umgerechnet werden, indem auf das Komplement zu Eins übergegangen wird. In diesem Fall lassen Forschungsstudien vermuten, dass zwischen den Daten aus diffusen Schallfeldern, gemessen nach EN 16272-1, und den Daten aus gerichteten Schallfeldern, gemessen nach dem in diese. Dokument beschriebenen Verfahren, eine gewisse Übereinstimmung besteht [6], [9], [17], [18], [19], [20].

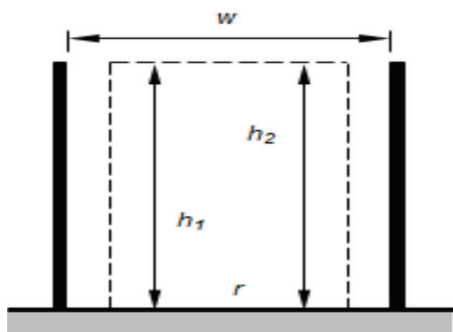
ANMERKUNG Dieses Verfahren kann zur Qualifizierung von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung für andere Anwendungen verwendet werden, z. B. für die Installation in am Rand von Industriegeländen. In diesem Fall werden die Einzahl-Angaben (siehe EN 16272-3-2) anhand eines dafür geeigneten Spektrums berechnet.



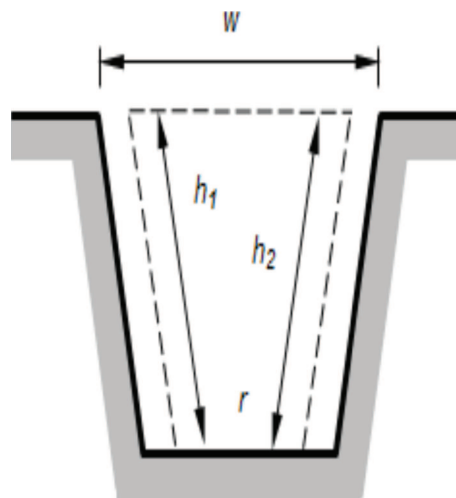
(a) Teilabdeckung beiderseits der Bahn;
Umhüllende, $e = w + h_1 + h_2$.



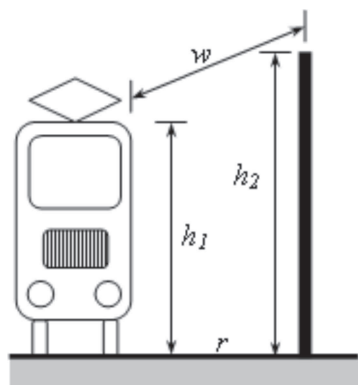
(b) Teilabdeckung auf einer Bahnseite;
 $e = w + h_1$. $h_2 = 0$.



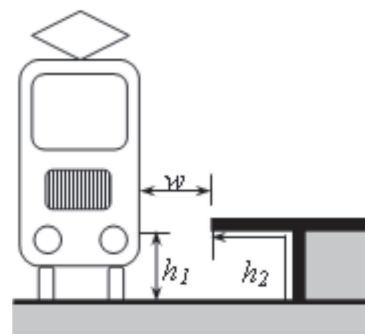
(c) Tiefer Einschnitt; Umhüllende, $e = w + h_1 + h_2$.



(d) Hohe Wände oder Gebäude; Umhüllende,
 $e = w + h_1 + h_2$.



e) Zug nahe einer Lärmschutzwand; Umhüllende,
 $e = w + h_1 + h_2$



f) Zug am Bahnsteig eines Bahnhofs;
Umhüllende, $e = w + h_1 + h_2$

Legende

r Schienenoberfläche

w Breite des offenen Raums

h_1 entwickelte Länge des Elements, z. B. Abdeckung, Seitenwand eines Einschnitts, Wand oder Gebäude

h_2 entwickelte Länge des Elements, z. B. Abdeckung, Seitenwand eines Einschnitts, Wand oder Gebäude

ANMERKUNG Bild 1 ist nicht maßstabgerecht.

Bild 1 — (nicht maßstäblich) Schema für die Prüfung der Bedingungen der Halligkeit in mehreren Anwendungsfällen

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Messung einer Größe, die für die produktspezifischen Merkmale der Schallreflexion von Eisenbahnlärmschutzwänden und verwandten Einrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung charakteristisch ist, dem Schallreflexionsindex, und zur anschließenden Berechnung einer Einzahl-Angabe für die Schallabsorption aus dieser Größe.

Das Prüfverfahren ist für die folgenden Anwendungen vorgesehen:

- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung, die entlang von Eisenbahnschienenwegen aufgebaut sind, und die entweder an typischen an Eisenbahnen ausgeführten Lärmschutzwänden oder an einer exemplarischen Musterwand zu messen sind;
- Bestimmung der produktspezifischen Merkmale der Schallabsorption von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung im tatsächlichen Einsatz in gerichteten Schallfeldern;
- Vergleich der Bemessungsfestlegungen mit den tatsächlichen Leistungsdaten nach Abschluss der Bauarbeiten;
- Überprüfung der Langzeitwirksamkeit von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung (durch wiederholtes Anwenden des Verfahrens).
- Das Prüfverfahren ist nicht für die folgenden Anwendungen vorgesehen:
- Bestimmung der produktspezifischen Eigenschaften der Schallreflexion von Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung, die in halligen Schallfeldern aufgebaut werden sollen, z. B. innerhalb von Tunneln oder in ausgeprägten Tieflagen.

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

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 16272-3-2, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften — Teil 3-2: Standardisiertes Schienenverkehrslärmspektrum und Einzahl-Angaben für gerichtete Schallfelder*

EN 16951-1, *Bahnanwendungen — Oberbau — Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung — Bewertungsverfahren für das Langzeitverhalten — Teil 1: Akustische Merkmale*

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

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

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

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

Lärmschutzwand

Lärmschutzvorrichtung, welche die freie Ausbreitung des von Eisenbahnen ausgehenden Luftschalls verhindert und für gewöhnlich zwischen Stützen verläuft, aber auch die Eisenbahn überkragen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Lärmschutzwände bestehen im Allgemeinen aus akustischen Elementen und Strukturelementen (siehe 3.3 und 3.4).

3.2

Verkleidung

Lärminderungsvorrichtung, die an einer Wand oder anderen Struktur angebracht ist und das Ausmaß der Schallreflexionen reduziert

Anmerkung 1 zum Begriff: Verkleidungen bestehen aus akustischen Elementen und Strukturelementen (siehe 3.3 und 3.4).

3.3

akustisches Element

Element, dessen vorrangige Funktion es ist, die akustische Wirkung der Vorrichtung zu erbringen

3.4

Strukturelement

Element, dessen Hauptfunktion darin besteht, die akustischen Elemente aufzunehmen oder zu tragen

3.5

Aufsatz

zusätzliche Vorrichtung, die die akustische Wirkung der gegebenen lärmreduzierenden Vorrichtung (vorwiegend über die gebeugte Energie) beeinflusst

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einigen Lärmschutzwänden können die akustische Funktion und die strukturelle Funktion nicht eindeutig getrennt und unterschiedlichen Bauteilen zugeordnet werden.

3.6

schienenseitige Exposition

Verwendung des Produkts als Lärmschutzvorrichtung entlang von Eisenbahnen

3.7

Schallreflexionsindex

durch Gleichung (1) beschriebene Größe, die sich aus der Schallreflexionsprüfung ergibt

3.8

Messpunkteraster für Messungen des Schallreflexionsindex

Messgitter

Mikrofongitter

Messpunkteraster aus neun, in einer quadratischen Anordnung von 3×3 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 und 4.6.

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

3.9

Bezugshöhe

Höhe h_s , die gleich der halben Höhe h_B der zu prüfenden Lärmschutzwand 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, eine Höhe der Quelle $h_s = h_B/2$ zu haben, ist es möglich, $h_s = 2$ m zu verwenden, wenn man die entsprechende untere Frequenzbegrenzung akzeptiert (siehe 4.5.7).

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

3.10

(Schallquellen- und Mikrofon-)Bezugsfläche für die Messungen des Schallreflexionsindex

ideale, glatte Oberfläche, die der Schallquellenseite der zu prüfenden Lärmschutzwand zugewandt ist und die am weitesten vorstehenden und wichtigsten Teile der Lärmschutzwand im geprüften Bereich unmittelbar berührt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bezugsfläche ist so glatt wie möglich und folgt der Neigung oder Kurve des Prüfkörpers innerhalb der Prüffläche. Bei vertikalen und ebenen Lärmschutzwänden ist die Bezugsfläche eine vertikale Ebene. Bei geneigten und ebenen Lärmschutzwänden ist die Bezugsfläche eine Ebene mit derselben Neigung. Bei gekrümmten und ebenen Lärmschutzwänden ist die Bezugsfläche eine gekrümmte Fläche mit derselben Krümmung.

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

3.11

Schallquellen-Bezugsort

bei aufgebauter Lärmschutzvorrichtung 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 Bezugsfläche $d_s = 1,50$ m beträgt

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

3.12

Bezugslage des Messpunkterasters

Lage, für die sämtliche nachfolgenden Bedingungen zutreffen:

- i) das Messgitter befindet sich auf der Beschallungsseite der Lärmschutzvorrichtung, wenn die Vorrichtung aufgebaut ist;
- ii) das zentrale Mikrofon (Mikrofon Nr. 5) befindet sich auf Bezugshöhe h_s ;
- iii) der kleinste Abstand zwischen zentralem Mikrofon und Bezugsfläche beträgt $d_M = 0,25$ m

Anmerkung 1 zum Begriff: Für ebene Lärmschutzwände, siehe Bild 2 und Bild 3. Für nicht ebene Lärmschutzwände siehe Bild 7. Für geneigte oder gekrümmte Lärmschutzwände siehe Bild 8 und Bild 9.

3.13

Bezugsabstand Lautsprecher-Messgitter

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

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

3.14

Freifeldmessung für die Messungen des Schallreflexionsindex

Messung, bei der sich Lautsprecher und Messgitter 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.

3.15

größte abgetastete Fläche

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

3.16

Adrienne-Zeitfenster

zusammengesetztes Zeitfenster mit einer Vorderflanke als linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer festen Länge von 0,5 ms, gefolgt von einem flachen Anteil und einer Rückflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form, so dass die Längen des flachen Teils und des rechtsseitigen Blackman-Harris-Teils im Verhältnis 7/3 stehen

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Art Fenster wird in 4.5.6 beschrieben.

3.17

Hintergrundgeräusch

Geräusch von anderen Schallquellen als der, die das Prüfsignal aussendet

3.18

Signal-Rausch-Verhältnis, S/N

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

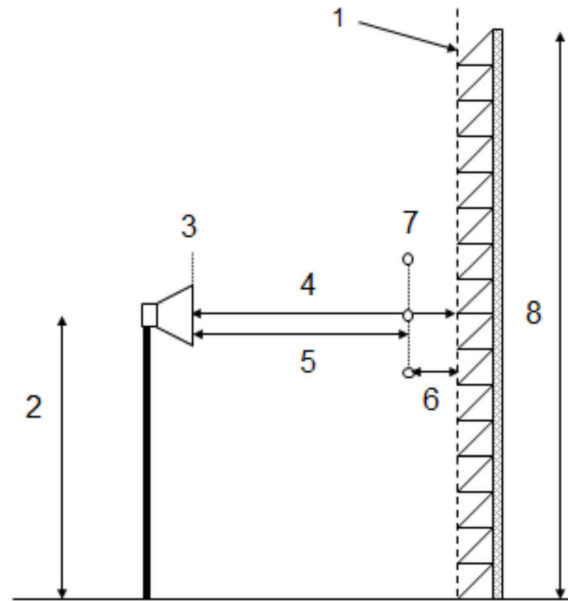
3.19

Impulsantwort

Zeitsignal am Ausgang eines Systems, wenn eine Dirac-Funktion an den Eingang anlegt 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.

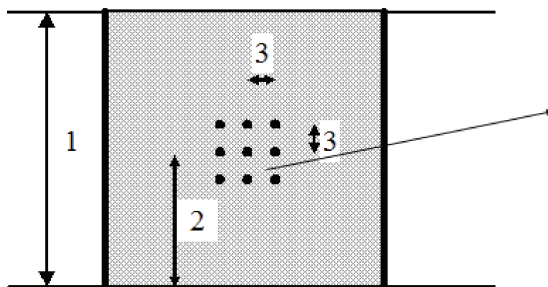
Anmerkung 2 zum Begriff: In der Praxis ist es nicht möglich, echte Dirac-Funktionen zu erzeugen und abzustrahlen. Mit impulsförmigen Geräuschen können Näherungen erzeugt werden, die jedoch nicht sehr wiederholbar sind. Ein alternatives Messverfahren, das grundsätzlich präziser ist, besteht darin, ein Signal mit linearem Spektrum, wie eine Periode einer Maximalfolge (MLS) oder einen exponentiellen Sinus-Sweep (ESS) zu verwenden und die gemessene Antwort in eine Impulsantwort zurück zu transformieren.



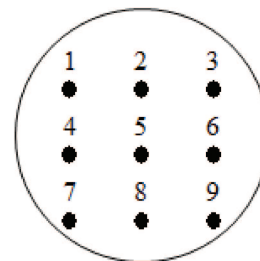
Legende

- | | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsfläche | 2 | Bezugshöhe h_S [m] |
| 3 | Vorderseite des Lautsprechers | 4 | Abstand zwischen der Vorderseite des |
| 5 | Abstand zwischen der Vorderseite des | Lautsprechers und der Bezugsfläche, d_S [m] | |
| 6 | Abstand zwischen dem Messgitter und der | | |
| 7 | Messgitter | 6 | Abstand zwischen dem Messgitter und der |
| | | Bezugsfläche, d_M [m] | |
| | | 8 | Lärmschutzwandhöhe, h_B [m] |

Bild 2 — (nicht maßstäblich) Schematische Darstellung der Schallquelle und des Messgitters vor der zu prüfenden Lärmschutzwand bei Messungen des Schallreflexionsindex



(a) Messgitter für die Messung des Schallreflexionsindex von der Schallquelle aus gesehen (nicht maßstäblich)

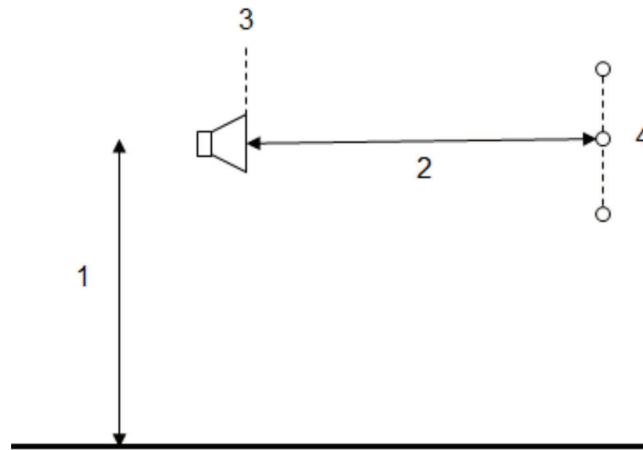


(b) Nummerierung der Messpunkte von der Schallquelle aus gesehen (nicht maßstäblich)

Legende

- | | | | |
|---|--|---|----------------------|
| 1 | Lärmschutzwandhöhe, h_B [m] | 2 | Bezugshöhe h_S [m] |
| 3 | orthogonale Abstände zweier benachbarter | | |
| | Mikrofone s [m] | | |

Bild 3 — (nicht maßstäblich) (a): Messpunkteraster für Messungen des Schallreflexionsindex (Schallquellenseite) — (b): Nummerierung der Messpunkte von der Schallquelle aus gesehen.



Legende

- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--|
| 1 | Bezugshöhe h_s [m] | 2 | Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter d_{SM} [m] |
| 3 | Vorderseite des Lautsprechers | 4 | Messgitter |

Bild 4 — (nicht maßstäblich) Schematische Darstellung der Anordnung für die „Freifeld“-Bezugsmessung zur Bestimmung des Schallreflexionsindex

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 zur Bestimmung der größten abgetasteten Fläche bei schrägem Schalleinfall	m
a_0, a_1, a_2, a_3	Koeffizient für den Ausdruck des viergliedrigen vollständigen Blackman-Harris Fensters	—
b_s	Tiefe der Oberflächenstruktur des Prüfkörpers	m
b_m	Breite eines Materialabschnitts des Prüfkörpers	m
c	Luftschallgeschwindigkeit	m/s
$C_{geo,k}$	Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz	—
$C_{dir,k}$	Korrekturfaktor für den Richtfaktor der Schallquelle	—
$C_{gain,k}$	Korrekturfaktor für Änderungen der Verstärkung der Schallquelle	—
d_M	Horizontaler Abstand zwischen der Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsfläche und dem Messgitter; er ist gleich $d_M = 0,25$ m	m
d_s	Horizontaler Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsfläche; er ist gleich $d_s = 1,50$ m	m
d_{SM}	Horizontaler Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter; er ist gleich $d_{SM} = 1,25$ m	m
DL_{RI}	Einzahl-Angabe zur Schallreflexion	dB
δ_i	Eingangsgrößen für Abschätzungen der Unsicherheit	—
Δf_g	Frequenzbereich, der die Terzbänder zwischen 500 Hz und 2 kHz umfasst	Hz

Symbol oder Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
Δf_j	Breite des j -ten Terzbandes	Hz
Δt	zeitlicher Abstand zwischen den diskreten Punkten der erfassten Daten (verbunden mit der durch $\Delta t = 1/f_s$ gegebenen Abtastrate)	ms
$\Delta \tau$	beweglicher Abstand der Freifeld-Impulsantwort im Anpassungsverfahren des allgemeinen Signal-Subtraktions-Verfahrens (siehe 4.5.4)	ms
Δt_{k5}	Zeitverzögerungsabstand zwischen dem Eintreffen des gerichteten Schalls an Mikrofon k ($k \neq 5$) und Mikrofon 5	s
Δt_k	Zeitverzögerungsabstand zwischen dem Eintreffen des gerichteten und des reflektierten Schalls an Mikrofon k	s
Δd_{k5}	Weglängenunterschied zwischen dem Eintreffen des gerichteten Schalls an Mikrofon k ($k \neq 5$) und Mikrofon 5	m
Δd_k	Weglängenunterschied zwischen dem Eintreffen des gerichteten und des reflektierten Schalls an Mikrofon k	m
ε_k	Toleranz für den Weglängenunterschied am Mikrofon k	m
F	Symbol der Fourier-Transformation	—
f	Frequenz	Hz
f_{min}	untere Frequenzgrenze für Messungen zur Schallreflexion	Hz
f_s	Abtastrate	Hz
f_{co}	Grenzfrequenz des Anti-Aliasing-Filters	Hz
h_B	Höhe des Prüfkörpers	m
h_S	Bezugshöhe	m
$h_{i,k}(t)$	einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort am k -ten Messpunkt	—
$h_{r,k}(t)$	reflektierende Komponenten der Impulsantwort am k -ten Messpunkt	—
j	Index des j -ten Terzbandes (zwischen 100 Hz und 5 kHz)	—
k	Index des k -ten Messpunkts ($k = 1 \dots n_j$)	—
k_p	Erweiterungsfaktor	—
k_f	Konstante zum Anti-Aliasing-Filter	—
L_p	Länge der Abtastung bei einer inhomogenen Lärmschutzvorrichtung	m
n_j	Anzahl der Messpunkte für die Mittelwertbildung	—
n_R	Anzahl der Referenzpositionen des Messgitters	—
r	Radius der größten abgetasteten Fläche bei senkrechter Inzidenz	m
R_{sub}	Reduzierungsfaktor	dB
RI_j	Schallreflexionsindex im j -ten Terzband	—
$RI_{i,j}$	Schallreflexionsindex zum j -ten Terzband, wenn sich das Messgitter an der i -ten Referenzposition befindet	—
s	Orthogonale Abstände zweier benachbarter Mikrofone	m

Symbol oder Abkürzung	Bezeichnung	Einheit
s_r	Standardabweichung der Wiederholbarkeit	—
s_R	Standardabweichung der Vergleichpräzision	—
S/N	Signal-Rausch-Verhältnis	dB
t	Zeit	s
$T_{W,BH}$	Länge der Blackman-Harris-Rückflanke beim Adrienne-Zeitfenster	s
$T_{W,ADR}$	Gesamtlänge des Adrienne-Zeitfensters	s
u	Standardunsicherheit	—
U	Erweiterte Messunsicherheit	—
$w_{i,k}(t)$	Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) der Bezugs-Freifeldkomponente am k -ten Messpunkt	—
$w_{r,k}(t)$	Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für die reflektierte Komponente am k -ten Messpunkt	—

4 Messungen des Schallreflexionsindex

4.1 Allgemeines Prinzip

Die Schallquelle emittiert eine nichtstationäre Schallwelle, die über die Messgitter- (Mikrofon-)position hinaus zum Prüfobjekt läuft und dann an diesem reflektiert wird (Bild 2 und Bild 3). Jedes zwischen der Schallquelle und der zu prüfenden Vorrichtung angeordnete Mikrofon empfängt sowohl die direkte, von der Schallquelle zum Prüfobjekt laufende Schalldruckwelle als auch die am Prüfobjekt reflektierte Schalldruckwelle (einschließlich Streubeiträge). Die gerichtete Schalldruckwelle kann besser mit einer separaten Freifeldmessung erfasst werden (siehe Bild 4). Das Verhältnis der Leistungsspektren der gerichteten und der reflektierten Komponente bildet die Grundlage für die Berechnung des Schallreflexionsindex.

Die Messung erfordert ein im Wesentlichen freies Feld in der unmittelbaren Nachbarschaft des Prüfobjekts, also ein Feld ohne Reflexionen an anderen Objekten als am Prüfobjekt. Aus diesem Grund wird die Erfassung einer Impulsantwort mit möglichst scharfen Spitzen empfohlen: Auf diese Weise können die von anderen Oberflächen stammenden Reflexionen anhand ihrer Verzögerungszeit erfasst und ausgeblendet werden.

4.2 Messgröße

Zur Berechnung des Schallreflexionsindex RI als Funktion der Frequenz in Terzbändern wird folgende Gleichung 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 vor dem zu prüfenden Prüfkörper am k -ten Messpunkt gemessenen Impulsantwort;
$w_{i,k}(t)$	das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) der einfallenden 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 der Fourier-Transformation;
j	der Index des j -ten Terzbandes (zwischen 100 Hz und 5 kHz, sofern möglich);
Δf_j	die Breite des j -ten Terzbands;
k	die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$);
n_j	die Anzahl der Mikrofonpositionen für die Mittelwertbildung ($n_j \geq 6$; siehe 4.6.2);
$C_{geo,k}$	der Korrekturfaktor für die geometrische Divergenz am k -ten Messpunkt;
$C_{dir,k}(\Delta f_j)$	der Korrekturfaktor für den Richtfaktor der Schallquelle am k -ten Messpunkt.
$C_{gain,k}(\Delta f_g)$	der Korrekturfaktor zur Berücksichtigung einer Änderung der Verstärkungseinstellungen des Lautsprechers und der Empfindlichkeitseinstellungen der einzelnen Mikrofone beim Wechsel der Messkonfiguration von Freifeld zu vor dem Prüfkörper oder umgekehrt, falls vorhanden [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 zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem k -ten Messpunkt;
$d_{r,k}$	der Abstand von der Vorderseite des Lautsprechers zur Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsebene und zurück zum k -ten Messpunkt nach der spiegelnden Reflexion;
k	die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$).

ANMERKUNG 1 Für das 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 für eine ebene Bezugsfläche angegeben.

Tabelle 2 — Abstände $d_{i,k}$, $d_{r,k}$ und Korrekturfaktoren $C_{geo,k}$ für eine ebene Bezugsfläche

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 an verschiedenen Teilen der zu prüfenden Oberfläche erreichen das Mikrofon zu unterschiedlichen Zeiten je nach der Weglänge vom Lautsprecher zum jeweiligen Prüfflächenbereich und zurück. Je länger der Weg vom Lautsprecher zu einem bestimmten Teil der Prüfoberfläche und zurück ist, desto größer ist die Zeitverzögerung. Deshalb ist die Amplitude der an verschiedenen Prüfflächenbereichen reflektierten Schallwellen beim Eintreffen am Mikrofonort umgekehrt proportional zur Laufzeit gedämpft. Bei nicht ebenen, komplexen Vorrichtungen ist es schwierig, den genauen Ausbreitungsweg jeder Welle vorherzusagen und dabei auch die nicht spiegelnde Streuung zu berücksichtigen; daher werden die geometrischen Divergenzkorrekturfaktoren auf der Grundlage der spiegelnden Reflexion an einer idealen, ebenen reflektierenden Oberfläche berechnet.

Die Korrekturfaktoren für den Richtfaktor 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 zwischen der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon 5 und der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon k [(siehe Bild 6 a)];

β_k der Winkel zwischen der Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon 5 und der Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt der Vorderseite des Lautsprechers und dem spiegelnden Reflexionsweg zum Mikrofon k [siehe Bild 6 a)];

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

$h_{i,k}(t, \beta_k)$ die einfallende Bezugskomponente der Freifeld-Impulsantwort an einem Punkt auf dem spiegelnden Reflexionsweg für Mikrofon k und im Abstand $d_{i,k}$ von der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers;

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

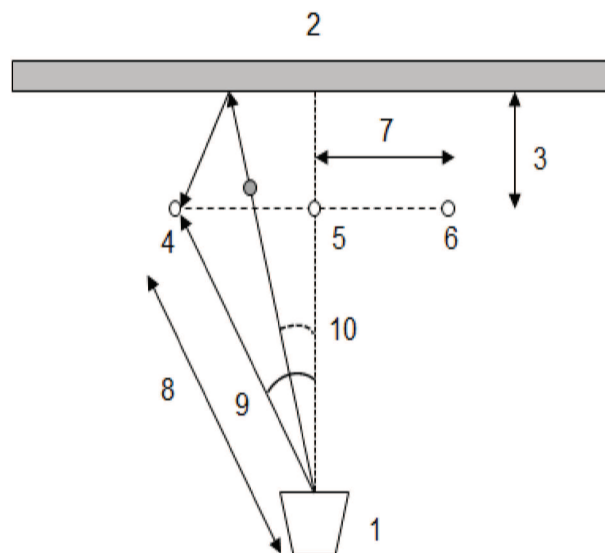
F das Symbol der Fourier-Transformation;

- j der Index des j -ten Terzbandes (zwischen 100 Hz und 5 kHz, sofern möglich);
- Δf_j die Breite des j -ten Terzbandes;
- k die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$).

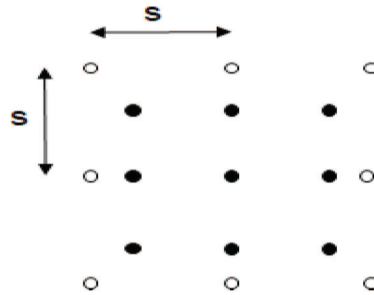
Bei der Messung der Korrekturfaktoren für den Richtfaktor der Schallquelle müssen der Zähler und der Nenner des Verhältnisses in Gleichung (3) an zwei verschiedenen Punkten im konstanten Abstand $d_{i,k}$ (siehe Tabelle 2) von der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers gemessen werden. Der erste Punkt befindet sich an der Position des Mikrofons, der zweite Punkt liegt auf dem Reflexionsweg des vom Lautsprecher abgestrahlten Schalls (siehe Bild 5).

ANMERKUNG 3 Bei nicht ebenen, komplexen Vorrichtungen ist es schwierig, den genauen Ausbreitungsweg jeder Welle vorherzusagen und dabei auch die nicht spiegelnde Streuung zu berücksichtigen; daher werden die Korrekturfaktoren für den Richtfaktor der Schallquelle auf der Grundlage der spiegelnden Reflexion an einer idealen, ebenen reflektierenden Oberfläche berechnet.

Die Korrekturfaktoren für den Richtfaktor der Schallquelle müssen nur einmal für jede Schallquelle gemessen werden, wobei davon ausgegangen wird, dass sich die Richtcharakteristiken der Quellen nicht ändern. Aus Gründen der Genauigkeit können sie gelegentlich (z. B. einmal im Jahr) erneut gemessen werden.



- a) Schematische Darstellung der Positionen der Mikrofone 4, 5 und 6 (weiße Kreise), der Winkel α_4 und β_4 für Mikrofon 4 und des Punktes im Abstand $d_{i,4}$ von der Mittelwand des Lautsprechers, an der die Messungen zur Ermittlung des Korrekturfaktors $C_{dir,4}$ durchgeführt werden müssen (grauer Kreis)



b) Schematische Darstellung der Vorderansicht der neun Mikrofonpositionen (weiße Kreise) und der neun Positionen, an denen sich der Reflexionsweg des vom Lautsprecher abgestrahlten Schalls mit der Ebene des Messgitters schneidet (schwarze Kreise)

Legende

- | | |
|--|---|
| 1 Lautsprecher | 2 Prüfkörper |
| 3 horizontaler Abstand von der Bezugsfläche der Schallquelle und des Mikrofons zum Messgitter, d_M [m] | 4 Mikrofon 4 |
| 5 Mikrofon 5 | 6 Mikrofon 6 |
| 7 orthogonale Abstände zweier benachbarter Mikrofone, s [m] | 8 Abstand $d_{i,4}$ von der Mittelwand des Lautsprechers zum Mikrofon Nr. 4, an der die Messungen zur Ermittlung des Korrekturfaktors $C_{dir,4}$ durchgeführt werden müssen [m] |
| 9 Winkel α_4 zwischen der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon 5 und der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon Nr. 4 | 10 Winkel β_4 zwischen der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und Mikrofon 5 und der Verbindungslinie zwischen der Mitte der Vorderseite des Lautsprechers und dem spiegelnden Reflexionsweg zu Mikrofon Nr. 4 |

Bild 5 — (nicht maßstäblich)

4.3 Prüfanordnung

4.3.1 Allgemeines

Das Prüfverfahren kann entweder an Lärmschutzwänden und verwandten Vorrichtungen zur Beeinflussung der Luftschallausbreitung angewendet werden, die entlang von Schienenwegen installiert sind, oder an Prüfkörpern in Originalgröße, die eigens für die Prüfung (in Innen- oder Außenbereichen) nach dem hier beschriebenen Verfahren gebaut werden.

4.3.2 Prüfungen an eigens gebauten Prüfkörpern in Originalgröße

Für Anwendungen an Prüfkörpern in Originalgröße, die eigens für die Prüfung nach dem hier beschriebenen Verfahren gebaut werden, z. B. in einem Prüfstand in einem Außenbereich, muss der Prüfkörper wie folgt beschaffen sein (siehe Bild 6):

— ein aus akustischen Elementen bestehender Teil, der mindestens 4 m lang und mindestens 4 m hoch ist.

Der Prüfkörper muss in derselben Weise aufgestellt und zusammengefügt sein, wie die hergestellte Vorrichtung in der Praxis verwendet wird, mit denselben Verbindungen und Dichtungen zwischen den einzelnen Teilen.

Wenn die Ergebnisse für den Frequenzbereich 200 Hz bis 5 kHz in Terzbändern gültig sein sollen, müssen die Mindestabmessungen des Prüfkörpers folgenden Anforderungen genügen (siehe Bild 6):

— ein aus akustischen Elementen bestehender Teil von 4 m Breite und 4 m Höhe;

- ein 4 m hoher Pfosten (falls vorhanden bei dem speziellen Prüfkörper) an den beiden Seiten.

Wenn der Prüfkörper nicht eben ist und eine periodische räumliche Welligkeit in vertikaler Richtung aufweist, muss der Prüfkörper in allen Fällen, in denen dies möglich ist, in vertikaler Richtung um eine volle Periode der Welligkeit verlängert werden (siehe Bild 7). Wenn der Prüfkörper nicht eben ist und eine periodische räumliche Welligkeit in horizontaler Richtung aufweist, muss der Prüfkörper ebenfalls in allen Fällen, in denen dies möglich ist, in horizontaler Richtung um eine volle Periode der Welligkeit verlängert werden.

4.3.3 Installierte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen

Für die Anwendung auf Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen, die bereits entlang von Schienenwegen installiert sind, muss der Prüfkörper wie folgt beschaffen sein:

- *für installierte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen bei denen die volle Höhe durch einzelne Elemente erreicht wird:*
 - der Prüfkörper muss als ein für die spezifische Anwendung repräsentatives Einzelement gebaut sein;
 - wenn der Prüfkörper nicht als Einzelement gebaut werden kann oder wenn die installierte Vorrichtung niedriger als 4 m ist, muss der Prüfkörper um die Lautsprecherachse (in der Bezugshöhe $h_s = 2$ m oberhalb des Bodens) zentriert sein und unten und oben mit kleineren akustischen Elementen zu einer Höhe von 4 m ergänzt werden;
- *für installierte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen bei denen die volle Höhe durch aufeinandergesetzte Elemente erreicht wird:*
 - der Prüfkörper muss so gebaut sein, wie er in der spezifischen Anwendung verwendet wird.

Für die Anwendung auf Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen, die bereits entlang von Schienenwegen installiert sind, gilt ein Höhenausgleich unter der Vorrichtung nicht als Teil des Prüfkörpers, es sei denn, er ist Teil des Lärmschutzvorrichtung Produkts.

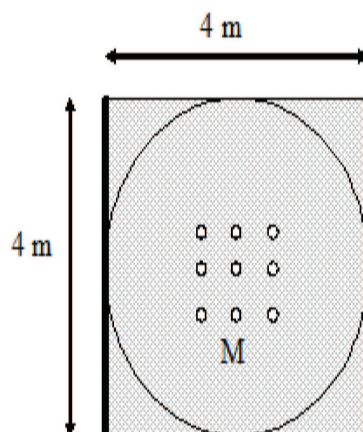
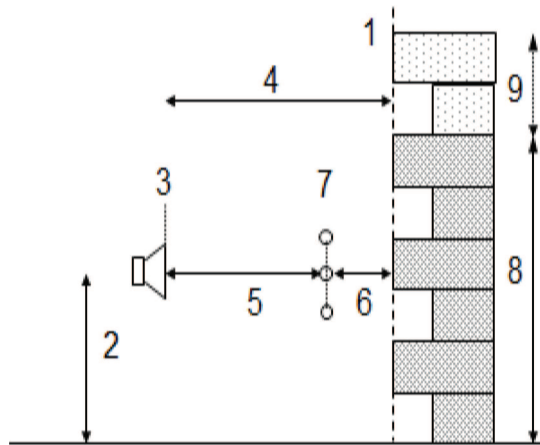


Bild 6 — Schematische Darstellung zur erforderlichen Mindestgröße eines ebenen Prüfkörpers für Messungen des Reflexionsindex im Frequenzbereich 200 Hz bis 5 kHz (siehe 4.5.7). Die neun weißen Punkte stellen das Messgitter dar. Der dünne Kreis stellt die größte abgetastete Fläche für das zentrale Mikrofon dar (4.5.8)



Legende

1	Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsebene	2	Bezugshöhe, h_s [m]
3	Vorderseite des Lautsprechers	4	Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Bezugsfläche, d_s [m]
5	Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter, d_{SM} [m]	6	Abstand zwischen dem Messgitter und der Bezugsfläche, d_M [m]
7	Messgitter	8	Lärmschutzwandhöhe, h_B [m]
9	Länge der räumlichen Periode der Welligkeit in vertikaler Richtung, L_p [m]		

Bild 7 — (nicht maßstäblich) Schematische Darstellung des Aufbaus für die Messung des Schallreflexionsindex vor einem nicht ebenen Prüfkörper mit einer räumlich periodischen Welligkeit in vertikaler Richtung (periodische Länge L_p in vertikaler Richtung); eine zusätzliche Periode der Struktur, die auf der Oberseite des Prüfkörpers hinzugefügt wird, ist in hellerer grauer Farbe dargestellt

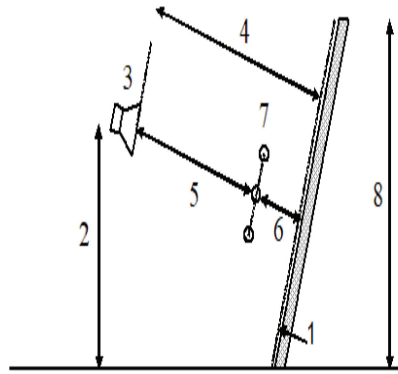
4.3.4 Gekrümmte oder gekrümmte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen

Für flache oder gekrümmte, vertikale oder geneigte Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen gelten Bild 8 und Bild 9. In Fällen, die durch diese Bilder nicht abgedeckt sind, sollten die Messungen nach den folgenden allgemeinen Prinzipien durchgeführt werden:

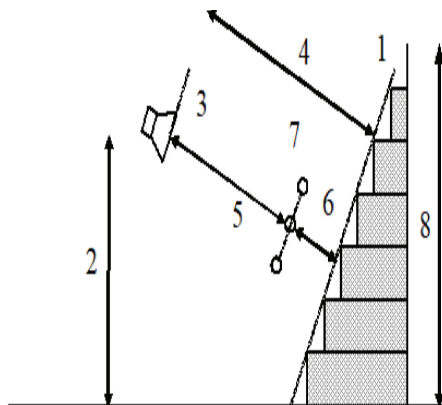
- das Mikrofon gitter liegt senkrecht zur Achse zwischen Lautsprecher und Mikrofon 5;
- die Achse zwischen Lautsprecher und Mikrofon 5 liegt senkrecht zur Bezugsfläche;
- das Mikrofon 5 befindet sich so nah wie möglich an der mittleren Höhe der Abschirmung;
- der kürzeste Abstand von Mikrofon 5 zur Bezugsfläche beträgt $d_M = 0,25$ m.

Lärmschutzwände und verwandte Vorrichtungen, die aus einer horizontalen oder vertikalen Aneinanderreihung mehrerer verschiedener Arten von Abschirmungen bestehen (Zusammenstellung von Formen oder Strukturen mit sehr großen Abmessungen), müssen detailliert charakterisiert werden: Jede Form oder Struktur muss unter den in diesem Dokument beschriebenen Bedingungen speziell charakterisiert 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 liegt beim Bediener. Der Prüfbericht muss eine klare Begründung für alle getroffenen Entscheidungen enthalten. Die unter diesen Bedingungen erzielten Ergebnisse dürfen jedoch auf keinen Fall für die Leistungserklärung verwendet werden.



(a) vor einer geneigten flachen Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung

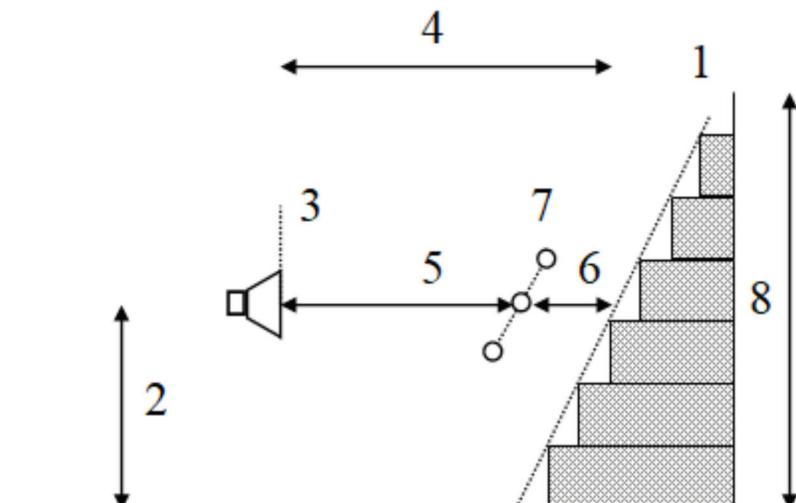


(b) vor einer geneigten nicht flachen Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung

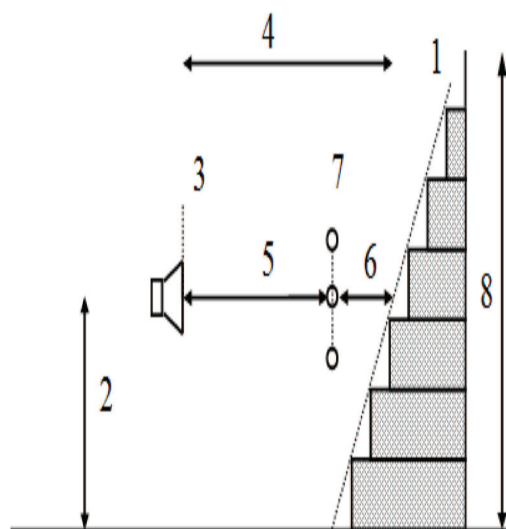
Legende

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsfläche | 2 | Bezugshöhe, h_s [m] |
| 3 | Vorderseite des Lautsprechers | 4 | Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Bezugsfläche, d_s [m] |
| 5 | Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter, d_{SM} [m] | 6 | Abstand zwischen dem Messgitter und der Bezugsfläche, d_M [m] |
| 7 | Messgitter | 8 | Höhe der Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung, h_B [m] |

Bild 8 — (nicht maßstäblich) Schematische Darstellung des Aufbaus für die Messung des Reflexionsindex vor einer geneigten Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung (Seitenansicht)



(a) vor einer konkaven Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung



(b) vor einer konvexen Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung

Legende

- | | | | |
|---|---|---|--|
| 1 | Schallquellen- und Mikrofon-Bezugsfläche | 2 | Bezugshöhe, h_S [m] |
| 3 | Vorderseite des Lautsprechers | 4 | Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und der Bezugsfläche, d_S [m] |
| 5 | Abstand zwischen der Vorderseite des Lautsprechers und dem Messgitter, d_{SM} [m] | 6 | Abstand zwischen dem Messgitter und der Bezugsfläche, d_M [m] |
| 7 | Messgitter | 8 | Höhe der Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung, h_B [m] |

Bild 9 (nicht maßstäblich) — Schematische Darstellung des Aufbaus für die Messung des Reflexionsindex vor einer gekrümmten Lärmschutzwand oder einer verwandten Vorrichtung (Seitenansicht)

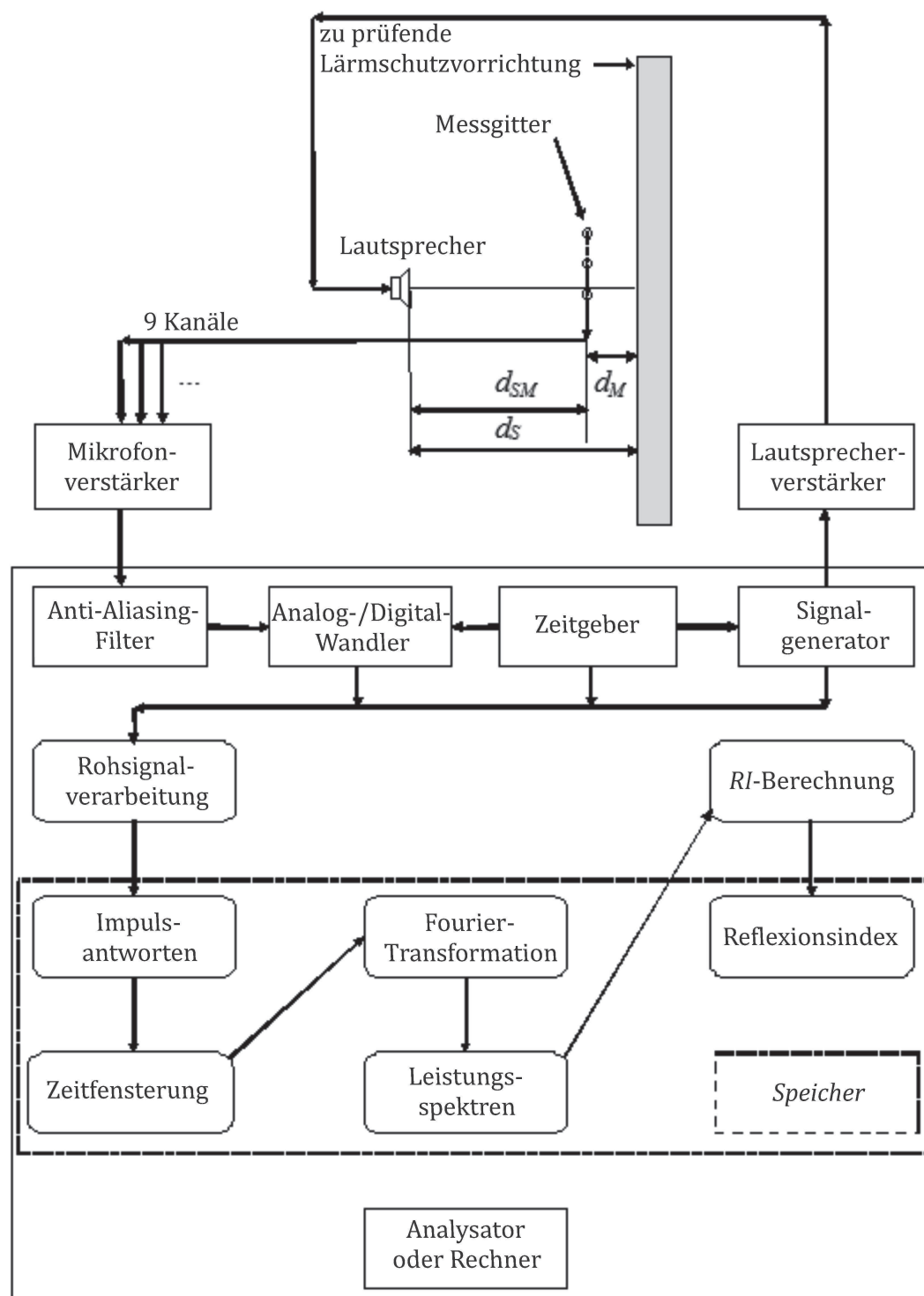


Bild 10 — Schematische Darstellung der wesentlichen Komponenten des Messsystems

4.4 Messvorrichtung

4.4.1 Komponenten des Messsystems

Die Messvorrichtung muss Folgendes umfassen: ein elektroakustisches System aus einem elektrischen Signalgenerator, einen Leistungsverstärker und einem Lautsprecher, neun Mikrofone mit den dazugehörigen Mikrofonverstärkern, eine Mehrkanal-Soundkarte (oder ein gleichwertiges Gerät), die in der Lage ist, gleichzeitig auf mindestens neun Kanälen mit der gewünschten Abtastrate zu arbeiten (siehe 4.5.2), und ein Signalanalysator (Hardware oder Software) zur Durchführung von Transformationen zwischen Zeit- und Frequenzbereich.

ANMERKUNG 1 Einige dieser Komponenten können in einen Frequenzanalysator oder in einem PC mit (einer) speziellen Zusatzkarte(n) integriert sein.

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

Die Mikrofone müssen mindestens den Anforderungen für Typ 2 nach EN 61672-1 entsprechen und einen Durchmesser von maximal 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 an demselben Ort unter denselben Bedingungen innerhalb von kurzer Zeit erfasst wurden. Eine hohe Genauigkeit der Messung von Schalldruckpegeln interessiert hierbei nicht. Daher sind keine strengen Anforderungen an die Absolutgenauigkeit der Messkette notwendig.

Das Mikrofon sollte ausreichend klein und leicht sein, so dass es sich am Messgitter befestigen lässt, ohne Eigenbewegungen durchzuführen, denn das Signal-Subtraktions-Verfahren (siehe 4.5.4) verlangt, dass die relativen Positionen von Lautsprecher und Mikrofon konstant gehalten werden. Dies kann in der praktischen Anwendung auf unebenem Gelände sehr schwierig sein, daher ermöglicht die in 4.5.4 beschriebene verallgemeinerte Subtraktionstechnik die Anordnung des Messgitters ohne eine starre Verbindung zum Lautsprecher. Kleine, unvermeidbare Abweichungen zwischen den vor dem Prüfkörper und im Freifeld gemessenen Impulsantworten desselben Mikrofons können durch das in 4.5.4 beschriebene Einstellverfahren ausgeglichen werden.

Die Mikrofone müssen so angebracht werden, dass sie in der Ebene des Messgitters liegen, um die gerichtete und die reflektierte Komponente mit nominell gleichem Richtfaktor zu messen, und dass die Membran nicht auf den Boden gerichtet ist.

4.4.2 Schallquelle

Die elektroakustische Schallquelle muss folgende Eigenschaften aufweisen:

- einen einzigen Lautsprechertreiber besitzen;
- ohne Öffnung, z. B. zur Verbesserung des Verhaltens bei tiefen Frequenzen, ausgeführt sein;
- ohne aktive oder passive elektronische Bauelemente (wie etwa Weichen) ausgeführt sein, die den Frequenzverlauf des gesamten Systems beeinflussen können;
- einen glatten Frequenzverlauf ohne starke Unregelmäßigkeiten innerhalb des Messfrequenzbereichs entsprechend einer Impulsantwort unter Freifeldbedingungen mit einer Länge von höchstens 3 ms aufweisen.

ANMERKUNG Der Schallreflexionsindex berechnet sich aus dem Verhältnis energetischer Größen, die aus Impulsantworten stammen, welche mit demselben Lautsprecher und Messgitter innerhalb einer kurzen Zeitspanne erfasst wurden. Deshalb sind die Kenndaten des Lautsprecher-Frequenzgangs unkritisch, sofern ein guter Lautsprecher verwendet wird, der die obigen Anforderungen erfüllt.

4.4.3 Prüfsignal

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

Die Verwendung eines Lautsprechers führt in der Regel zu nichtlinearen Verzerrungen im System, was streng genommen gegen die Forderung nach Linearität in diesem Verfahren verstößt. Die durch den Lautsprecher verursachten Verzerrungen nehmen mit dem Erregungspegel zu. Der Benutzer muss sich dieses Problems bewusst sein und mit dem Erregungspegel experimentieren, um das optimale S/N -Verhältnis zu erzielen. In manchen Fällen kann das S/N -Verhältnis durch eine Verringerung des Erregungspegels verbessert werden. Bei bestimmten Signaltypen kann das S/N -Verhältnis durch Wiederholung desselben Prüfsignals und synchrone Mittelwertbildung der Mikrofonantwort verbessert werden.

Im Allgemeinen kann jede Art von Erregungssignal verwendet werden, um die Impulsantwort und die entsprechende Frequenzgangfunktion eines beliebigen linearen und zeitinvarianten Systems zu bestimmen, vorausgesetzt, es enthält bei jeder interessierenden Frequenz ausreichend Energie. Die Impulsantwort kann durch Dekonvolution aus der Antwort auf die Erregung oder durch Teilung des Ausgangsspektrums des zu prüfenden Systems durch das Eingangsspektrum als Frequenzgangfunktion ermittelt werden. Letzteres setzt eine Fourier-Transformation des Eingangs- und Ausgangssignals voraus, um die Aufteilung im Spektralbereich durchzuführen.

Dieses Dokument empfiehlt, ein Signal mit linearem Spektrum, wie eine Periode einer Maximalfolge (MLS) oder einen exponentiellen Sinus-Sweep (ESS) zu verwenden und die gemessene Antwort in eine Impulsantwort zurück zu transformieren.

Es muss verifiziert werden, dass:

- die Erzeugung des Prüfsignals deterministisch und wiederholbar ist;
- Impulsantworten im gesamten interessierenden Frequenzbereich (Terzbänder zwischen 100 Hz und 5 kHz) exakt (ohne starke Verzerrungen) erfasst werden;
- das Prüfverfahren eine ausreichende Unempfindlichkeit gegen Fremdgeräusche besitzt, d. h., dass der wirksame Signal-Rauschabstand über den gesamten interessierenden Frequenzbereich innerhalb einer kurzen Messzeit (nicht mehr als 5 min je Impulsantwort) auf mehr als 10 dB gebracht werden kann;
- die Abtastrate hoch genug gewählt werden kann, um eine exakte Korrektur möglicher temperaturschwankungsbedingter Zeitverschiebungen in den Impulsantworten zwischen der Messung vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung zu ermöglichen.

4.5 Datenverarbeitung

4.5.1 Kalibrierung

Das hier beschriebene Messverfahren beruht auf Verhältnissen der Leistungsspektren von Signalen, die aus den mit derselben Apparatur an derselben Stelle 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.

Aufgrund mechanischer, elektronischer oder softwaretechnischer Manipulationen lassen sich geringfügige Änderungen der Verstärkungseinstellungen des Lautsprechers und der Empfindlichkeitseinstellungen der einzelnen Mikrofone beim Wechsel der Messkonfiguration von Freifeld zu vor dem Prüfkörper oder umgekehrt manchmal nicht vollständig vermeiden. Aus diesen Gründen wird in Gleichung (1) ein weiterer Korrekturfaktor $C_{gain,k}$ berücksichtigt, der leicht von der Einheit abweichen kann. Er muss mindestens einmal

für jede Messgitterposition als das Verhältnis zwischen dem Spektrum, das durch Zeitfenstervorgänge der einfallenden Komponente aus der Impulsantwort vor dem Prüfkörper erhalten wird, und dem Spektrum der einfallenden Komponente, das durch Zeitfenstervorgänge der Freifeld-Impulsantwort erhalten 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 dem Prüfkörper;

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

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

F das Symbol der Fourier-Transformation;

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

k die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$).

- Weicht der Wert von $C_{gain,k}$ um weniger als 5 % von 1 ab, kann er gleich 1 gesetzt werden.
- Weicht $C_{gain,k}$ um mehr als 20 % von der Einheit ab, so kann dies als Warnung angesehen werden, dass sich einige Einstellungen des Messsystems wesentlich geändert haben, und es wird empfohlen, die Daten erneut zu überprüfen.
- Weicht $C_{gain,k}$ um weniger als 20 % und mehr als 5 % von 1 ab, so müssen die Werte dieses Faktors nach Gleichung (4) bestimmt werden.

Der oben beschriebene Wert von $C_{gain,k}$ sollte als frequenzunabhängig betrachtet werden. Abweichungen von der Einheit können in der Regel auf Abweichungen bei der Gesamtverstärkung des Lautsprechers oder der Einstellung der Mikrofonempfindlichkeit zurückgeführt werden. Andererseits sind aufgrund von Unsicherheiten bei den Messungen, z. B. im Zusammenhang mit den Auswirkungen von Zeitfenstervorgängen, die sich hauptsächlich auf niedrige Frequenzen auswirken, oder mit Mikrofonabschattungen, die sich hauptsächlich auf hohe Frequenzen auswirken, einige Abweichungen von einem flachen Verhalten bei diesen niedrigen und hohen Frequenzen zu erwarten, während sie in den Terzbändern zwischen 500 Hz und 2 kHz vernachlässigbar sind. Daher muss der Wert von $C_{gain,k}$ in dem Frequenzbereich abgeleitet werden, der von den Terzbändern zwischen 500 Hz und 2 kHz abgedeckt wird.

Die in dem hier beschriebenen Kalibrierverfahren verwendete Länge des Adrienne-Fensters — Gleichung (4) — sollte kürzer sein als die Standardlänge von $T_{W,ADR} = 7,9$ ms (siehe 4.5.6), da der einfallenden Bezugskomponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt vor dem Prüfkörper, $h_{i,k,D}(t)$, die reflektierte Komponente folgt. Unter Berücksichtigung der ungünstigeren Fälle (Mikrofone 1, 3, 7 und 9) beträgt die Verzögerung zwischen der einfallenden Komponente der Impulsantwort und der reflektierten Komponente etwa 1,3 ms, und das Adrienne-Fenster sollte wie folgt zusammengesetzt sein (siehe 4.5.6): linke Hälfte Blackman-Harris-Form mit einer Länge von 0,5 ms; flacher Teil mit einer Länge von 0,56 ms; rechte Hälfte Blackman-Harris mit einer Länge von 0,24 ms; Gesamtlänge von 1,3 ms.

ANMERKUNG Der Korrekturfaktor $C_{\text{gain},k}$ wird nur aus einem Teil des Spektrums (Terzbänder 500 Hz bis 2 kHz) erhalten, während die Signalsubtraktion durch Anpassung der direkten Komponenten der Freifeld-Impulsantwort an die Impulsantwort vor dem Prüfkörper in allen Einzelheiten, also breitbandig, optimiert wird. Daher wird der Korrekturfaktor $C_{\text{gain},k}$ getrennt von dem in 4.5.4 beschriebenen Signal-Subtraktions-Verfahren berücksichtigt.

4.5.2 Abtastrate und Filterung

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

Die Abtastrate f_s muss einen Wert von größer oder gleich 44 kHz haben.

ANMERKUNG Obwohl das Signal bereits eindeutig definiert ist, wenn das Nyquist-Kriterium erfüllt ist, erleichtern höhere Abtastraten eine eindeutige Reproduktion. Dieses Dokument verlangt die Anwendung des Signal-Subtraktions-Verfahrens (siehe 5.5.4), welches die Kenntnis der exakten Wellenform beinhaltet. Deshalb können mit den vorgeschriebenen Abtastraten Fehler festgestellt und leichter korrigiert werden, wie etwa temperaturschwankungsbedingte Zeitverschiebungen in den Impulsantworten zwischen der Messung vor dem Prüfkörper und der Freifeldmessung.

Die Abtastrate muss gleich der Taktfrequenz des Signalgenerators sein.

Wenn die Messvorrichtung die Auswahl und Anwendung eines Tiefpassfilters auf das von den Mikrofonen stammende Analogsignal ermöglicht, um das Nyquist-Kriterium zu erfüllen, dann gelten die folgenden beiden Vorgaben:

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

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

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

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

Verwendet die Messvorrichtung einen Sigma-Delta-A/D-Umwandler mit Überabtastung und integriertem Tiefpassfilter, so wird die Grenzfrequenz automatisch optimal gewählt und die obige Vorgabe nach Gleichung (5) ist nicht anwendbar.

4.5.3 Hintergrundgeräusch

Das wirksame Signal-Rausch-Verhältnis S/N muss unter Berücksichtigung der Probenmittelwertbildungen im Messfrequenzbereich größer als 10 dB betragen.

ANMERKUNG Kohärenzverfahren, wie z. B. die MLS-Kreuzrelation, liefern hohe S/N -Verhältnisse.

Um dieses Signal-Rausch-Verhältnis S/N für jede Impulsantwort zu bewerten, muss ein Zeitintervall, das nur das Hintergrundgeräusch enthält, und ein Zeitintervall, das das reflektierte Signal enthält, bestimmt werden. Das Zeitintervall für die Bewertung des Hintergrundgeräusches wird mit einem „Geräuschfenster“ $w_{n,k}(t)$ gewählt. Das Zeitintervall für die Bewertung des Signals ist jenes 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 gerichteten Signals; in diesem Fall liegt die niederfrequente Grenze der Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses bei 400 Hz.

- 2) vom Ende der Impulsantwort zu ihrem Anfang hin, wobei ein Adrienne-Fenster mit derselben Breite wie für das reflektierte Signal verwendet wird; in diesem Fall ist die Niederfrequenzgrenze der Berechnung des Signal-Rausch-Verhältnisses dieselbe wie bei der Berechnung von RI.

Das Signal-Rausch-Verhältnis in jedem Frequenzband beträgt:

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

Dabei ist

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

$h_{n,k}(t)$ die Komponente des Hintergrundgeräusches 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 Komponente des Hintergrundgeräusches am k -ten Messpunkt;

F das Symbol der Fourier-Transformation;

j der Index des j -ten Terzbandes (zwischen 100 Hz und 5 kHz);

Δf_j die Breite des j -ten Terzbands;

k die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$);

Das Signal-Rausch-Verhältnis beträgt insgesamt:

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

Dabei ist

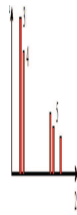
m die Nummer des niedrigsten verlässlichen Terzfrequenzbandes.

4.5.4 Signal-Subtraktions-Verfahren

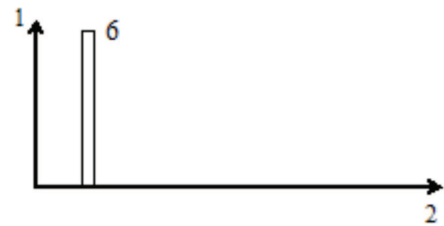
Die Gesamtimpulsantwort besteht aus einer direkten Komponente, einer am Prüfobjekt reflektierten Komponente und anderen Störreflexionen [Bild 11 a)]. Die direkte Komponente und die am Prüfkörper reflektierte Komponente müssen für jede Mikrofonposition voneinander getrennt werden.

Diese Trennung muss mittels Signal-Subtraktions-Verfahren (Bild 11) durchgeführt werden: Die reflektierte Komponente wird aus der Gesamt-Impulsantwort extrahiert, nachdem die direkte Komponente durch Subtraktion eines identischen Signals eliminiert wurde [Bild 11 c) und Bild 11 d)]. Dies lässt sich durch eine Freifeld-Messung für jedes Mikrofon mit derselben geometrischen Anordnung von Lautsprecher und Messgitter erreichen. Insbesondere muss deren relative Lage zueinander so konstant wie möglich gehalten werden. Die direkte Komponente wird aus der Freifeld-Messung abgeleitet [Bild 11 b)].

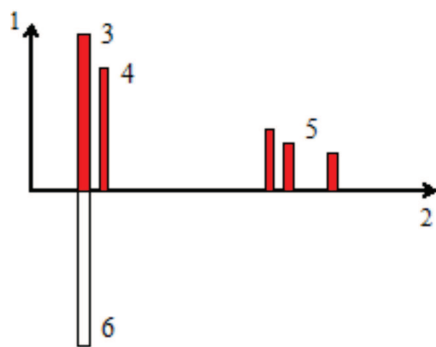
ANMERKUNG Dieses Verfahren ermöglicht eine Verbreiterung des Zeitfensters und damit eine niedrigere Frequenzgrenze des Arbeitsfrequenzbereichs ohne sehr große Abstände zwischen Lautsprecher, Mikrofon und Prüfkörper.



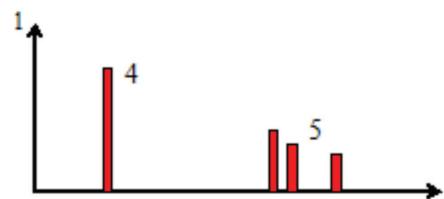
(a): Gesamt-Impulsantwort mit: Direkte einfallende Komponente (3), reflektierte Komponente (4), unerwünschte Störkomponente (5)



(b): Freifeld-Direktkomponente (6)



(c) Auslöschung der Direktkomponente aus der Gesamt-Impulsantwort mit Hilfe der Freifeld-Direktkomponente (4)



(d): Ergebnis

Legende

- | | |
|--|-----------------------------|
| 1 Impulsantwort-Umfang [beliebige Einheiten] | 2 Zeit, t [ms] |
| 3 direkt einfallende Komponente | 4 reflektierte Komponente |
| 5 unerwünschte Störkomponente | 6 Freifeld-Direktkomponente |

Bild 11 — Prinzip des Signal-Subtraktions-Verfahrens

4.5.5 Genaues Ausrichtungsverfahren

Im Grundsatz erfordert das Signal-Subtraktions-Verfahren, dass die relative Position des Lautsprechers und des Mikrofons konstant gehalten wird, um eine perfekte Übereinstimmung zwischen den vor dem Prüfkörper und im Freifeld gemessenen Impulsantworten für dasselbe Mikrofon zu erhalten.

Dies kann in der praktischen Anwendung sehr schwierig sein, wenn durch die Aufstellung der Vorrichtungen auf unebenem Gelände, durch kleine Bewegungen der Lautsprechermembran oder der Mikrofone beim Verschieben der Vorrichtungen, durch temperaturbedingte oder elektrische Abweichungen zwischen dem Freifeld und den reflektierten Messungen usw. Schwankungen im Ansprechverhalten der Messvorrichtungen auftreten.

Daher ist es erforderlich, dass das Freifeldsignal vor der Signalsubtraktion an jedem Mikrofon um eine kleine Verschiebung gegenüber der Impulsantwort vor dem Prüfkörper korrigiert wird.

Da die tatsächliche Zeitverschiebung im Allgemeinen nicht einem Vielfachen der zeitlichen Probengröße Δt entspricht, ist die schrittweise Verschiebung eines oder mehrerer Datenpunkte unzureichend.

Die genaue Ausrichtung muss wie folgt vorgenommen werden:

- 1) Für jede Mikrofonposition wird eine vor dem Prüfkörper und eine im Freifeld gemessene Impulsantwort mit nominell gleicher Geometrie verglichen.
- 2) Die Freifeld-Impulsantwort wird wiederholt mit einem kleinen „beweglichen Abstand“ $\Delta\tau$ verschoben; $\Delta\tau$ muss $\Delta\tau \approx \Delta t/50$ betragen, d. h. etwa 1/50 des zeitlichen Abstands Δt zwischen den diskreten Punkten der erfassten Daten (verbunden mit der gegebenen Abtastrate f_s durch $\Delta t \approx 1/f_s$).
- 3) Die Summe der quadrierten Differenzen zwischen der Freifeld-Impulsantwort und der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort wird in einem begrenzten Intervall von etwa 50 diskreten Datenpunkten um die erste und wichtigste Spitze der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort berechnet.
- 4) Die Vorgänge in 2 und 3 werden wiederholt, bis das Minimum der Summe in 3 gefunden ist (kleinste Quadrate); die Anzahl n der beweglichen Abstände $\Delta\tau$, die erforderlich sind, um dieses kleinste quadratische Minimum zu erreichen, wird aufgezeichnet. Diese Iteration ist auf ± 2 diskrete Datenpunkte der erfassten Daten Δt , d. h. ± 100 bewegliche Abstände $\Delta\tau$, begrenzt; dieser Bereich ist auf die erste und wichtigste Spitze der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort zentriert, d. h. die Hauptspitze der einfallenden Komponente der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort.
- 5) Die Freifeld-Impulsantwort wird schließlich mit dem in 4 ermittelten zeitlichen Abstand $n\Delta\tau$ verschoben und ihre Amplitude so angepasst, dass die Amplitude ihrer ersten (und Haupt-)Spitze genau der ersten (und Haupt-)Spitze der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort entspricht.
- 6) Die verschobene und amplitudenangepasste Freifeld-Impulsantwort wird von der vor dem Prüfkörper gemessenen Impulsantwort abgezogen.

ANMERKUNG 1 Die in Schritt 5 verwendete verschobene und amplitudenangepasste Freifeld-Impulsantwort wird nach der Subtraktion verworfen; die zur Berechnung des Reflexionsindex nach Gleichung (1) verwendete Freifeld-Impulsantwort ist die ursprüngliche, unveränderte Impulsantwort.

ANMERKUNG 2 Dieses Verfahren ermöglicht die Anordnung des Messgitters ohne starre Verbindung mit dem Lautsprecher; die unvermeidlichen Abweichungen zwischen den vor dem Prüfkörper und im Freifeld gemessenen Impulsantworten desselben Mikrofons können dann so lange ausgeglichen werden, bis sie kleiner oder gleich 50 mm sind.

Um die Freifeld-Impulsantwort in n beweglichen Abständen, $n\Delta\tau$, zu verschieben, wobei $\Delta\tau$ wesentlich kleiner ist als der zeitliche Abstand Δt zwischen den diskreten Punkten der erfassten Daten, muss das folgende Verfahren angewendet werden.

- a) Die Freifeld-Impulsantwort wird im Frequenzbereich Fourier-transformiert und ihre Phase wird durch Multiplikation mit einem frequenzabhängigen Faktor $\exp(i2\pi f n \Delta\tau)$ verändert.
- b) Die sich daraus ergebende phasenkorrigierte Fouriertransformation wird invers transformiert, um die verschobene Freifeld-Impulsantwort im Zeitbereich zu erzeugen, die dann zur Signalsubtraktion verwendet werden kann.

ANMERKUNG 3 Bei dem oben beschriebenen Verfahren der genauen Ausrichtung werden der ursprünglichen Impulsantwort keine zusätzlichen Punkte hinzugefügt. Der Satz in Schritt 2 oben, der besagt, dass „die Freifeld-Impulsantwort wiederholt mit einem kleinen ‚beweglichen Abstand‘ $\Delta\tau$ verschoben wird“, bedeutet im Grunde, dass die Freifeld-Impulsantwort im Frequenzbereich Fourier-transformiert und ihre Phase geändert wird, wie in den Schritten a und b oben erläutert.

Die Wirksamkeit der Signalsubtraktion kann anhand der Schallpegelreduzierung des gerichteten Schalls vor und nach der Signalsubtraktion gemessen werden, und zwar innerhalb von 0,5 ms beiderseits der ersten und wichtigsten Spitze der direkten Komponente. Damit wird der Reduktionsfaktor R_{Sub} definiert:

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

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 restliche einfallende Bezugskomponente der vor dem Prüfkörper am k -ten Messpunkt (nach der Signalsubtraktion) gemessenen Impulsantwort;
- $t_{p,k}$ der Zeitpunkt, an dem sich die erste einfallende Komponente und die Spitze der einfallenden Komponente der Impulsantwort am k -ten Messpunkt befinden (vor der Signalsubtraktion);
- F das Symbol der Fourier-Transformation;
- k die Anzahl der Mikrofone entsprechend Bild 3 b) ($k = 1, \dots, 9$).

Ein Reduktionsfaktor R_{sub} , der dem Verhältnis von Spitzenwert zu Rauschen der Messung entspricht, kann als vollständige Subtraktion angesehen werden, da in diesem Fall im Bereich des direkten Schalls nichts außer dem Hintergrundgeräusch übrig bleibt.

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

4.5.6 Adrienne-Zeitfenster

Bei der Anwendung dieses Dokuments muss für Zeitfenstervorgänge ein Zeitfenster, genannt 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 Anteil („Hauptteil“);
- eine Rückflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form;
- die Längen des flachen Teils und des rechtsseitigen Blackman-Harris-Teils müssen im Verhältnis 7/3 stehen.

Im Folgenden werden die beiden häufigsten Adrienne-Fenster 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 Rückflanke 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:

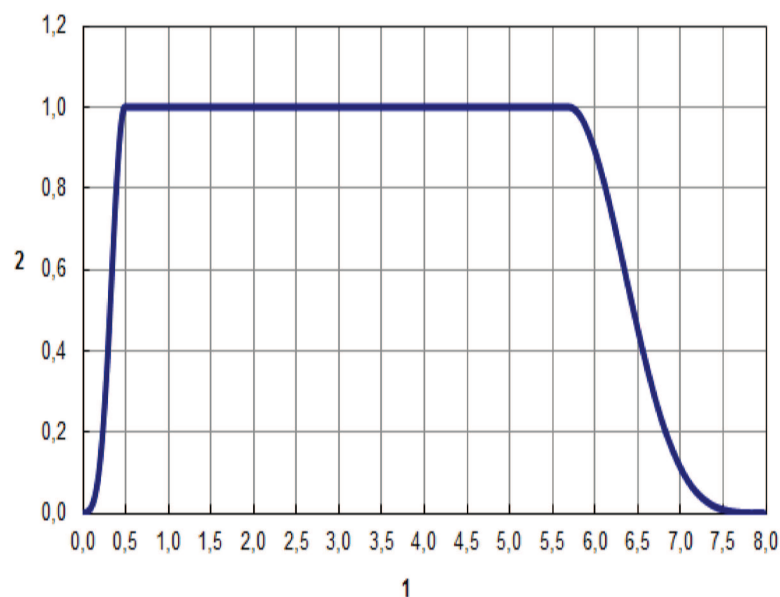
- eine Vorderflanke als linksseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer festen Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);
- ein flacher Teil mit einer Länge von 3,85 ms („Hauptteil“);
- eine Rückflanke als rechtsseitige halbe Blackman-Harris-Form mit einer Länge von 1,65 ms.

In allen Fällen, in denen die Fensterbreite $T_{W,ADR}$ von ihrem Standardwert von 7,9 ms geändert werden muss, müssen die Längen des flachen Teils und des rechtsseitigen Blackman-Harris-Teils ein Verhältnis von 7/3 aufweisen.

Die Länge des Adrienne-Fensters muss beispielsweise verkürzt werden, um bei der Prüfung von Lärmschutzeinrichtungen mit einer Höhe von weniger als 4 m die Bodenreflexion vollständig aus dem Fenster für die Analyse der reflektierten Komponenten zu entfernen (siehe 4.5.7). In diesem Fall erhöht sich die untere Frequenzgrenze (siehe 4.6.4).

Die Länge des Adrienne-Fensters darf bei der Prüfung sehr großer Prüfkörper vergrößert werden, um eine niedrigere untere Frequenzgrenze zu erreichen (siehe 4.6.4).

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



Legende

1 Zeit t [ms]

2 Adrienne-Zeitfenster-Form [willkürliche Einheiten]

Bild 12 — Das Adrienne-Zeitfenster

ANMERKUNG 1 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 der Prüfkörper die Mindestmaße für die Gültigkeit der Ergebnisse im Frequenzbereich von 200 Hz bis 5 kHz in Terzbändern ($h_B \geq 4$ m) hat, muss das Adrienne-Zeitfenster Folgendes aufweisen:

- eine Gesamtlänge von $T_{W,ADR} = 7,9$ ms, um die von den Mikrofonen 1 bis 6 stammenden Impulsantworten zu verarbeiten; die für die sechs Mikrofone erhaltenen RI -Werte müssen gemittelt werden, 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 von den Mikrofonen 1 bis 9 stammenden Impulsantworten zu verarbeiten; die über die neun Mikrofone erhaltenen RI -Werte müssen gemittelt werden, um die endgültigen RI -Werte in den Terzbändern mit einer Mittenfrequenz von 250 Hz bis 5 kHz zu erhalten.

Mit anderen Worten, in den Terzbändern, die auf 100 Hz, 125 Hz, 160 Hz und 200 Hz zentriert sind, wird der Mittelwert nur für die Mikrofone 1 bis 6 gebildet (siehe Bild 3), wobei ein Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge von $T_{W,ADR} = 7,9$ ms verwendet wird. Ab dem Terzband 250 Hz werden alle neun Mikrofone berücksichtigt, wobei ein Adrienne-Zeitfenster mit einer Gesamtlänge von $T_{W,ADR} = 6,0$ ms verwendet wird.

Wenn der Prüfkörper nicht die Mindestmaße für die Gültigkeit der Ergebnisse im Frequenzbereich 200 Hz bis 5 kHz in Terzbändern ($h_B < 4$ m, siehe 4.6.4) aufweist, muss das Adrienne-Zeitfenster eine reduzierte Länge haben, um Bodenreflexionen von der reflektierten Komponente der Impulsantworten auszuschließen; es dürfen unterschiedliche Fensterlängen für die Mikrophone 1 bis 3, die Mikrophone 4 bis 6 und die Mikrophone 7 bis 9 verwendet werden.

4.5.7 Anordnung des Adrienne-Zeitfensters

Direktkomponente

Für die „Freifeld“-Direktkomponente muss das Adrienne-Zeitfenster wie folgt angeordnet werden:

- 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 ermittelt;
- das Adrienne-Zeitfenster für die direkte Komponente wird so angeordnet, dass sein Markierungspunkt mit diesem neuen Zeitpunkt zusammenfällt.

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 oben beschriebene Verfahren muss für jede Mikrofonposition wiederholt werden. Bei Änderung der Mikrofonposition wird der Markierungspunkt zu leicht unterschiedlichen Zeitpunkten gesetzt.

Reflektierte Komponente

Das Adrienne-Fenster für die reflektierte Komponente muss auf die Impulsantwort angewendet werden, wie sie sich aus dem Signal-Subtraktions-Verfahren ergibt (siehe 4.5.4).

ANMERKUNG Nach der Signalsubtraktion hat das sich ergebende Signal seine erste Spitze, an der die reflektierte Komponente beginnt.

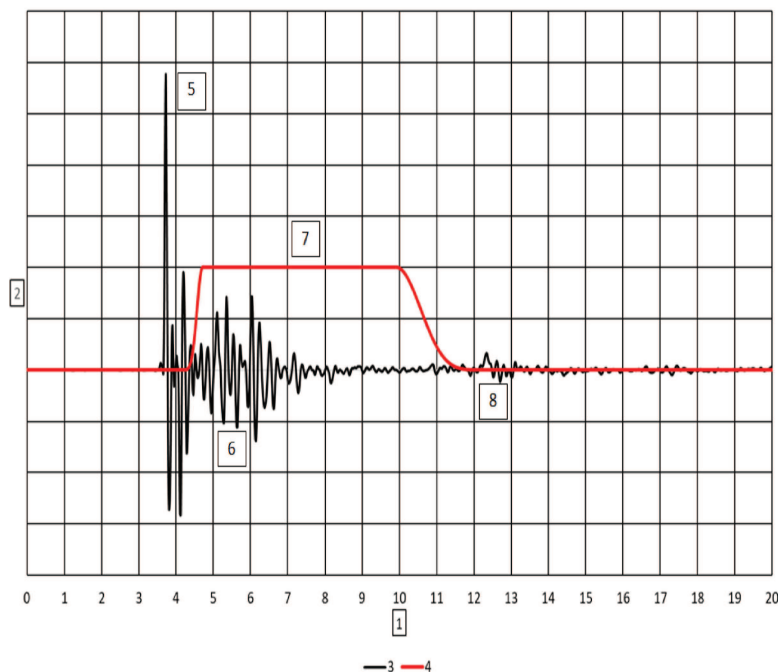
Für die reflektierte Komponente muss das Adrienne-Zeitfenster, das auf die aus der Signalsubtraktion resultierende Impulsantwort wirkt, wie folgt angeordnet werden:

- die erste Spitze der Impulsantwort, die der reflektierten Komponente entspricht, wird ermittelt, wenn möglich mittels geometrischer Berechnungen unter Annahme spiegelnder Reflexion (bei nicht ebenen Vorrichtungen ist die herkömmliche Reflexionsfläche die Bezugsfläche 3.10);
- ein Zeitpunkt, der um 0,2 ms vor der Spitze der reflektierten Komponente liegt, wird ermittelt;
- das Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente wird so angeordnet, dass sein Markierungspunkt mit diesem neuen Zeitpunkt zusammenfällt.

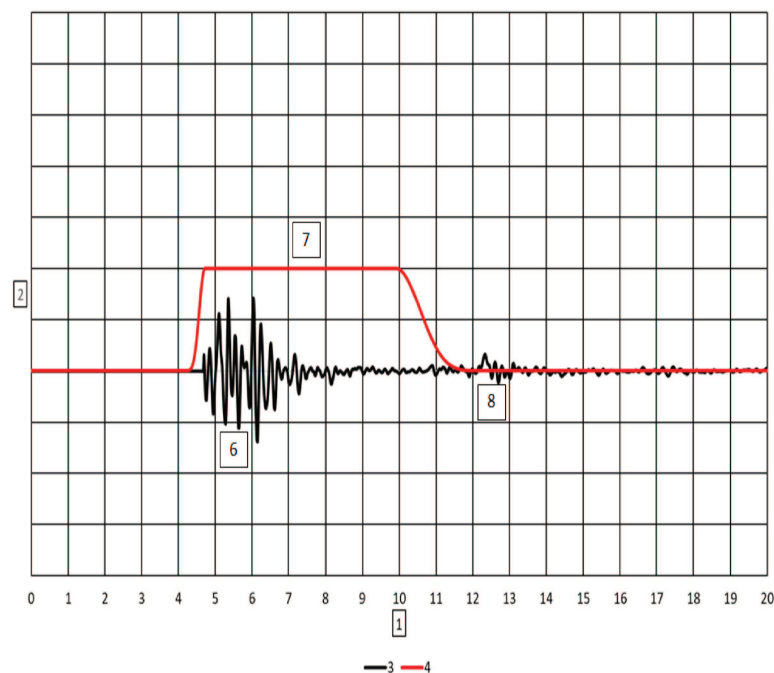
Mit anderen Worten, das Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente wird so angeordnet, dass sein flacher Teil 0,2 ms vor der ersten Spitze der reflektierten Komponente beginnt (siehe Bild 13).

Das oben beschriebene Verfahren muss für jede Mikrofonposition wiederholt werden. Bei Änderung der Mikrofonposition wird der Markierungspunkt zu leicht unterschiedlichen Zeitpunkten gesetzt.

Bei den Berechnungen, in die die Schallgeschwindigkeit c eingeht, muss deren temperaturabhängiger Wert verwendet werden.



(a)



(b)

Legende

- | | | | |
|---|--|---|---|
| 1 | Zeit t [ms] | 2 | Impulsantwort oder Adrienne-Zeitfenster-Form [relative Einheiten] |
| 3 | Impulsantwort [relative Einheiten] | 4 | Adrienne-Zeitfenster [relative Einheiten] |
| 5 | Direktkomponente | 6 | reflektierte Komponente |
| 7 | Adrienne-Zeitfenster für die reflektierte Komponente | 8 | Störkomponente aufgrund von Bodenreflexion |

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

4.5.8 Größte abgetastete Fläche

Die Ausdehnung der größten abgetasteten Fläche ist durch die kürzesten Abstände von Lautsprechervorderseite und den Mikrofonen zur Bezugsebene für Messungen des Reflexionsindex der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung und die Breite des Adrienne-Fensters festgelegt.

Bei Messungen mit senkrechtem Schalleinfall wird die größte abgetastete Fläche für jedes Mikrofon durch einen Kreis begrenzt, dessen Mittelpunkt im Auftreffpunkt liegt. Bei Bezug auf dieselbe Länge des Adrienne-Zeitfensters, wie sie für die Berechnung der unteren Frequenzgrenze verwendet wird (siehe 4.5.6, 4.5.7 und Bild 6 bis Bild 9) beträgt der Radius r in Meter für den obenerwähnten Kreis:

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

Dabei ist

- d_s der Abstand der Lautsprechervorderseite zur Bezugsfläche (m),
- d_M der Abstand des Mikrofons zur Bezugsfläche (m),
- c die Schallgeschwindigkeit in Luft (m/s),
- $T_{w,ADR}$ die Breite des Adrienne-Zeitfensters für die reflektierte Komponente (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 oben definierten größten abgetasteten Fläche.

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

ANMERKUNG 2 Bei schrägem Einfall ergibt sich die größte mögliche Fläche des Prüfkörpers aus der geometrischen Fläche, die durch den Schnittpunkt zwischen der Bezugsebene und dem Rotationsellipsoid definiert ist, dessen Fokus die Position der Schallquelle und die Position des Mikrofons sind und dessen Hauptachse gegeben ist durch:

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

mit den vorher verwendeten Symbolen. Dabei ist:

- d_s der kürzeste (standardmäßige) Abstand zwischen der Lautsprechervorderseite und der Bezugsfläche (m);
- d'_M der kürzeste (standardmäßige) Abstand zwischen dem Mikrofon und der Bezugsfläche, abhängig von der Mikrofonposition (m);
- d_p der Abstand zwischen der Lautsprechervorderseite und dem auf die Bezugsfläche projizierten Mikrofon (m).

4.6 Anordnung der Messvorrichtung

4.6.1 Allgemeines

Die Positionierung der Messvorrichtung muss in vier Schritten erfolgen:

- 1) Auswahl der Messpositionen entsprechend den Abmessungen, der Form und der Zusammensetzung des Prüfkörpers;
- 2) Positionierung des Lautsprechers und des Messgitters und Überprüfung der korrekten Anordnung;
- 3) Berücksichtigung der relevanten Reflexionen und der Störreflexionen, um die spätere Anordnung und Breite der Analysefenster zu definieren;
- 4) Bestimmung der unteren Frequenzgrenze;
- 5) Durchführung von tatsächlichen Messungen.

Die einzelnen Schritte werden im Folgenden beschrieben.

ANMERKUNG Die Positionierung der Messvorrichtung ist eine wesentliche Aufgabe, die ein Urteil von Experten über die Auswirkungen der getroffenen Entscheidungen erfordert, die im Prüfbericht klar beschrieben und begründet werden.

4.6.2 Auswahl der Messpositionen

4.6.2.1 Allgemeines

Die Messvorrichtung muss vor der zu prüfenden Lärmschutzvorrichtung oder der verwandten Vorrichtung in Positionen angeordnet sein, die nach folgenden Regeln ausgewählt werden.

Im Folgenden sind die Bilder, die die nach den Regeln gewählten Referenzpositionen zeigen, nur beispielhaft; die Verantwortung für die richtige Wahl bleibt dem Bediener überlassen. Der Prüfungsbericht muss eine klare Begründung für alle getroffenen Entscheidungen enthalten.

In allen Fällen sollten die Abstände nach Möglichkeit mit einer Unsicherheit von nicht mehr als 10 mm gemessen werden.

ANMERKUNG Einige Lärmschutzwände oder verwandte Vorrichtungen sind so hergestellt oder angebracht, dass ihre Oberfläche offensichtliche Unregelmäßigkeiten aufweist, so dass es schwierig ist, einen gut definierten Bezugspunkt zu finden, von dem aus ein Abstand gemessen werden kann, selbst wenn der Prüfkörper als eben angegeben ist. In diesen Fällen wird die Messunsicherheit von der Herstellungs- und Verarbeitungstoleranz bestimmt, die Werte bis zu einigen Zentimetern annehmen könnte, und es ist unmöglich, eine geringere Unsicherheit zu erhalten.

4.6.2.2 Ebene homogene Prüfkörper

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzwand oder eine verwandte Vorrichtung als eben, wenn die Tiefe b_s ihrer Oberflächenstruktur nicht mehr als 17 mm beträgt [siehe Bild 14 a)].

ANMERKUNG 1 Eine Tiefe der Oberflächenstruktur von 17 mm entspricht einem Viertel der Freifeldwellenlänge zur Mittenfrequenz des höheren Terzbands (5 kHz) im standardisierten Schienenverkehrslärmspektrum nach EN 16272-3-2.

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzwand oder eine verwandte Vorrichtung als homogen, wenn ihre Oberfläche, die dem Geräusch des Schienenverkehrs ausgesetzt wird, wenn die Vorrichtung angebracht ist, überall die gleiche akustische Impedanz aufweist [siehe Bild 14 b)].

ANMERKUNG 2 Dies wird verifiziert, wenn die Oberfläche aus demselben Material oder aus einer Aneinanderreihung derselben Materialien gebildet wird.

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.

Der Lautsprecher und das Messgitter werden so angeordnet, dass sie sich in den jeweiligen *Referenzpositionen* befinden (siehe 3.11 und 3.12). Das Messgitter ist auf die Bezugsfläche ausgerichtet, und die Mikrofone Nummer 4, 5 und 6 haben den gleichen Abstand $d_M = 0,25$ m von der Bezugsebene.

Das mittige Mikrofon des Messgitters (Mikrofon 5) muss den gleichen Abstand zum Rand der beiden nachfolgenden Pfosten haben. Besteht der Prüfkörper aus freistehenden Elementen ohne Pfosten, so muss das Mikrofon 5 mittig auf einem Element angebracht werden, und die Abstände müssen von den Kanten des Elements nach links und rechts gemessen werden.

Der Abstand zwischen der Lautsprechervorderseite und dem Mikrofonraster muss so konstant wie möglich gehalten werden und $d_{SM} = 1,25$ m betragen.

Eine Reihe von neun Impulsantworten, eine für jedes Mikrofon auf dem Messgitter, wird vor dem Prüfkörper gemessen.

Für jede Mikrofonposition wird eine Freifeld-Impulsantwort gemessen, wobei der Lautsprecher und das Messgitter so verschoben werden, dass kein nahegelegenes Objekt, einschließlich des Bodens, gegenüberliegt und die relative Geometrie nominell gleich bleibt.

ANMERKUNG 4 Gewöhnlich werden die Messungen an den neun Mikrofonen eines Gitters und die entsprechenden Freifeldmessungen innerhalb kurzer Zeit (in der Regel weniger als 20 min) mit einer Mehrkanal-Vorrichtung durchgeführt. Dies ist hilfreich, um Temperaturänderungen zu vermeiden, die Zeitverschiebungen zwischen den Messungen vor dem Prüfkörper und den Freifeldmessungen verursachen können.

Die Messungen vor dem Prüfkörper und die entsprechenden Freifeldmessungen müssen entsprechend Gleichung (1) für den Reflexionsindex durchgeführt und gemittelt werden.

In jedem Terzband wird die Anzahl n_j der Messungen, die für den Mittelungsprozess zu berücksichtigen sind, nach 4.5.6 ausgewählt.

Für jedes Terzband werden die Messungen, die für den Mittelungsprozess zu berücksichtigen sind, mit der gleichen Länge des Adrienne-Zeitfensters entsprechend 4.5.6 verarbeitet.

4.6.2.3 In einer Richtung unebene oder nichthomogene Prüfkörper

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzwand oder eine verwandte Vorrichtung als nicht eben, wenn die Tiefe b_s ihrer Oberflächenstruktur mehr als 17 mm beträgt [siehe Bild 14 a)].

ANMERKUNG 1 Eine Tiefe der Oberflächenstruktur von 17 mm entspricht einem Viertel der Freifeldwellenlänge zur Mittenfrequenz des höheren Terzbands (5 kHz) im standardisierten Schienenverkehrslärmspektrum nach EN 16272-3-2.

Für die Anwendung dieses Dokuments gilt eine Lärmschutzwand oder eine verwandte Einrichtung als nichthomogen, wenn ihre Oberfläche, die dem Geräusch des Schienenverkehrs ausgesetzt ist, wenn die Vorrichtung angebracht ist, aus Teilen mit unterschiedlicher akustischer Impedanz besteht und jeder Teil eine Mindestbreite b_m von mehr als 17 mm hat [siehe Bild 14 b)].

ANMERKUNG 2 Dies wird verifiziert, wenn die Oberfläche aus verschiedenen Materialien parallel (mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften) oder aus einer Aneinanderreihung verschiedener Materialien gebildet wird.