

DIN ISO 13472-1



ICS 17.140.30; 93.080.20

Einsprüche bis 2023-03-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 13472-1:2004-04

Entwurf

**Akustik –
Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen
vor Ort –
Teil 1: Freifeldverfahren (ISO 13472-1:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Acoustics –
Measurement of sound absorption properties of road surfaces in situ –
Part 1: Extended surface method (ISO 13472-1:2022);
Text in German and English

Acoustique –
Mesurage in situ des propriétés d'absorption acoustique des revêtements de chaussées –
Partie 1: Méthode de la surface étendue (ISO 13472-1:2022);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-01-06 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 nals@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/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

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

Gesamtumfang 73 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Vorwort	7
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Zusammenfassende Beschreibung des Verfahrens	12
4.1 Allgemeines Prinzip	12
4.2 Verfahren zur Signaltrennung	13
4.3 Prüfverfahren	14
5 Messsystem	15
5.1 Bestandteile des Messsystems	15
5.2 Schallquelle	15
5.3 Prüfsignal	15
6 Datenverarbeitung	16
6.1 Kalibrierung	16
6.2 Abtastrate	16
6.3 Zeitliche Signaltrennung	16
7 Messaufbau	17
7.1 Größte erfasste Fläche	17
7.2 Anordnung der Messgeräte	17
7.3 Reflektierende Gegenstände	18
7.4 Fremdgeräusch	18
7.5 Sicherheitshinweise	19
8 Straßenoberfläche und meteorologische Bedingungen	19
8.1 Zustand der Straßenoberfläche	19
8.2 Wind	20
8.3 Temperatur	20
9 Messverfahren	20
10 Messunsicherheit	21
11 Prüfbericht	23
Anhang A (normativ) Radius der größten erfassten Fläche	25
Anhang B (normativ) Referenzmessung und Korrekturverfahren	26
Anhang C (informativ) Physikalisches Prinzip der Messung	27
Anhang D (informativ) Beispiel für einen Prüfbericht	29
Anhang E (informativ) Schallabsorptionsgrad bei schrägem Schalleinfall	33
Anhang F (normativ) Korrektur von geringen Zeitverschiebungen in der direkten Impulsantwort zwischen der Freifeldmessung und der reflektierten Messung	35
Literaturhinweise	39

Bilder

Bild 1 — Skizze der wesentlichen Bestandteile des Messaufbaus	13
Bild 2 — Prinzip des Signalsubtraktionsverfahrens	14
Bild 3 — Adrienne-Zeitfenster	17
Bild D.1 — Beschreibung des Ortes der Prüfung	29
Bild D.2 — Prüfaufbau	30
Bild D.3 — Form und Länge der Zeitfenster	31

Bild D.4 — Messergebnisse in Terzbändern	31
Bild E.1 — Skizze des Messaufbaus für Messungen bei schrägem Schalleinfall	33
Bild F.1 — Beispiel einer Freifeldmessung (Kreise) und einer zu dieser geringfügig zeitverschobenen Messung mit Reflexion (Kreuze)	37
Bild F.2 — Ergebnis des Subtraktionsverfahrens ohne (Kreise) und mit (Kreuze) Zeitverschiebungskorrektur	38

Tabellen

Tabelle 1 — Empfohlene Mindestzeiten zwischen Niederschlag und Messung	20
Tabelle 2 — Unsicherheitsbudget für die Bestimmung des Schallabsorptionsgrades	23
Tabelle 3 — Erweiterungsfaktoren für typische Vertrauensniveaus (Gaußsche Normalverteilung)	23

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 13472-1:2022, die vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-01-05 AA „Geräuschemissionenmessungen an Straßenfahrzeugen einschließlich Messungen im Fahrgastraum und am Arbeitsplatz“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

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.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

IEC 61260	siehe	DIN EN 61260
IEC 61672-1	siehe	DIN EN 61672-1
ISO 354	siehe	DIN EN ISO 354
ISO 10534-1	siehe	DIN EN ISO 10534-1
ISO 10534-2	siehe	DIN EN ISO 10534-2
ISO 11819-2:2017	siehe	DIN EN ISO 11819-2:2017-10
ISO 13472-2	siehe	DIN ISO 13472-2
ISO 13473-1	siehe	DIN EN ISO 13473-1
ISO 18233	siehe	DIN EN ISO 18233

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

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 13472-1:2004-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- die Verweisung auf IEC 60651 wurde durch die Verweisung auf IEC 61672-1 ersetzt;
- es wurde eine Verweisung auf ISO 18233 aufgenommen, um auf eine genormte Beschreibung der MLS- oder ESS-Signale zurückgreifen zu können. Die Literaturhinweise wurden um zwei Verweisungen auf ESS ergänzt;
- die Anforderung, dass der Abstand zwischen Quelle und Mikrofon eine Grenzabweichung von $\pm 0,005$ m haben muss, wurde wegen der Möglichkeit zur Korrektur, die durch das im neuen Anhang F dargelegte Verfahren für den genauen Abgleich eingeräumt wird, auf $\pm 0,01$ m gelockert;
- in 8.1 wurde ein Verfahren zur Überprüfung der Feuchtigkeit der Straßenoberfläche festgelegt, das aus ISO 11819-2 übernommen wurde;
- die Spezifikationen des Zeitfensters wurden verbessert;
- der frühere Anhang D zu den Maximalfolgen-Signalen (en: MLS – maximum-length sequence) wurde gestrichen (und durch eine Verweisung auf ISO 18233 ersetzt);

- g) der frühere Anhang G zur Korrektur geringer Zeitverschiebungen wurde durch den neuen Anhang F ersetzt, in dem ein Verfahren für den genauen Abgleich festgelegt ist; Anhang F ist jetzt normativ;
- h) redaktionelle Überarbeitung des Dokuments.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 61260, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven*

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

DIN EN ISO 354, *Akustik — Messung der Schallabsorption in Hallräumen*

DIN EN ISO 10534-1, *Akustik — Bestimmung des Schallabsorptionsgrades und der Impedanz in Impedanzrohren — Teil 1: Verfahren mit Stehwellenverhältnis*

DIN EN ISO 10534-2, *Akustik — Bestimmung der akustischen Eigenschaften in Impedanzrohren — Teil 2: Verfahren mit Übertragungsfunktion*

DIN EN ISO 11819-2:2017-10, *Akustik — Messung des Einflusses von Straßenoberflächen auf Verkehrsgeräusche — Teil 2: Nahfeldmessverfahren (ISO 11819-2:2017); Deutsche Fassung EN ISO 11819-2:2017*

DIN EN ISO 13473-1, *Charakterisierung der Textur von Deckschichten unter Verwendung von Oberflächenprofilen — Teil 1: Bestimmung der mittleren Profiltiefe*

DIN EN ISO 18233, *Akustik — Anwendung neuer Messverfahren in der Bau- und Raumakustik*

DIN ISO 13472-2, *Akustik — Messung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen vor Ort — Teil 2: Impedanzrohrverfahren für reflektierende Oberflächen*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

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

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

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 1, *Noise* erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 13472-1:2002), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- die Verweisung auf IEC 60651 wurde durch die Verweisung auf IEC 61672-1 ersetzt;
- es wurde eine Verweisung auf ISO 18233 aufgenommen, um auf eine genormte Beschreibung der MLS- oder ESS-Signale zurückgreifen zu können. Die Literaturhinweise wurden um zwei Verweisungen auf ESS ergänzt;
- die Anforderung, dass der Abstand zwischen Quelle und Mikrofon eine Grenzabweichung von $\pm 0,005$ m haben muss, wurde wegen der Möglichkeit zur Korrektur, die durch das im neuen Anhang F dargelegte Verfahren für den genauen Abgleich eingeräumt wird, auf $\pm 0,01$ m gelockert;
- in 8.1 wurde ein Verfahren zur Überprüfung der Feuchtigkeit der Straßenoberfläche festgelegt, das aus ISO 11819-2 übernommen wurde;
- die Spezifikationen des Zeitfensters wurden verbessert;
- der frühere Anhang D zu den Maximalfolgen-Signalen (en: MLS – maximum-length sequence) wurde gestrichen (und durch eine Verweisung auf ISO 18233 ersetzt);

- der frühere Anhang G zur Korrektur geringer Zeitverschiebungen wurde durch den neuen Anhang F ersetzt, in dem ein Verfahren für den genauen Abgleich festgelegt ist; Anhang F ist jetzt normativ;

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 13472 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Messung des Schallabsorptionskoeffizient von Straßenoberflächen vor Ort als Funktion der Frequenz bei senkrechtem Schalleinfall.

Dieses Prüfverfahren ermöglicht die Bewertung der Schallabsorptionseigenschaften einer Straßenoberfläche, ohne diese zu beschädigen. Es ist für die Anwendung beim Straßenbau, bei der Straßeninstandhaltung und anderen Untersuchungen von Verkehrsgeräuschen bestimmt. Es darf auch zur Ermittlung der Absorptionseigenschaften von Straßenoberflächen bei Fahrzeug- und Reifenuntersuchungen angewendet werden. Die Standardunsicherheit ist jedoch auf 0,05 begrenzt.

Dieses Prüfverfahren beruht auf der Ausbreitung des Prüfsignals von der Schallquelle zur Straßenoberfläche und zurück zum Empfänger in einem Freifeld, wobei eine Fläche von etwa 3 m^2 erfasst und ein Frequenzbereich in Terzbändern von 250 Hz bis 4 kHz abgedeckt wird (siehe IEC 61260).

Als Ergänzung dieses Verfahrens steht ein Punktmessverfahren (siehe ISO 13472-2) zur Verfügung. Dieses Prüfverfahren beruht auf der Übertragung des Prüfsignals von der Schallquelle zur Straßenoberfläche und zurück zum Empfänger durch ein Rohr, wobei eine Fläche von etwa $0,1 \text{ m}^2$ erfasst und ein Frequenzbereich in Terzbändern von 315 Hz bis 2 kHz abgedeckt wird.

Beide Verfahren sollten im Frequenzbereich von 315 Hz bis 2 kHz zu den gleichen Ergebnissen führen.

Sie können beide auch für die akustischen Eigenschaften anderer Materialien als Straßenoberflächen eingesetzt werden.

Die Messergebnisse dieses Verfahrens sind mit den Ergebnissen von Impedanzrohrmessungen vergleichbar, die an aus der Oberfläche entnommenen Bohrkernen durchgeführt werden (z.B. nach ISO 10534-1 und ISO 10534-2).

Die Messergebnisse dieses Verfahrens sind im Allgemeinen nicht mit den Ergebnissen von Messungen im Hallraum (siehe ISO 354) vergleichbar, weil das in diesem Dokument beschriebene Verfahren ein gerichtetes Schallfeld nutzt, während das Hallraumverfahren von einem diffusen Schallfeld ausgeht.

Siehe Anhang E für Informationen über den Schallabsorptionsgrad bei schrägem Schalleinfall.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument beschreibt ein Prüfverfahren zur Messung des Schallabsorptionsgrades von Straßenoberflächen vor Ort als Funktion der Frequenz im Bereich von 250 Hz bis 4 kHz.

Dabei wird von senkrechtem Einfall ausgegangen. Dieses Prüfverfahren kann jedoch auch bei schrägem Einfall angewendet werden, dann allerdings mit einigen Einschränkungen (siehe Anhang F). Das Prüfverfahren ist für folgende Anwendungen bestimmt:

- Bestimmung der Schallabsorptionseigenschaften von Straßenoberflächen im regulären Einsatz;
- Vergleich der in der Ausschreibung geforderten Schallabsorption einer Straßenoberfläche mit den nach Fertigstellung der Bauarbeiten tatsächlich erreichten Werten.

Der komplexe Schallreflexionsfaktor kann mit diesem Verfahren ebenfalls ermittelt werden.

2 Normative Verweisungen

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

ISO 10534-1, *Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 1: Method using standing wave ratio*

ISO 10534-2, *Acoustics — Determination of sound absorption coefficient and impedance in impedance tubes — Part 2: Transfer-function method*

IEC 61672-1, *Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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

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

3.1

Einfallswinkel

Winkel zwischen der Normalen auf der zu prüfenden Oberfläche und der Richtung der auf die Prüfoberfläche auftreffenden Schallwelle

3.2

Schallleistungsreflexionsgrad

Q_w

Anteil der auftreffenden Schallleistung, der vom Oberflächenmaterial der Straße reflektiert wird (siehe 3.4)

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird von einer kugelförmigen auf die Probenoberfläche auftreffenden Schallwelle ausgegangen.

3.3

Schallabsorptionsgrad

α

Verhältnis der in die Oberfläche des Prüfobjekts eindringenden Schallleistung (ohne Rückkehr) zur auftretenden Schallleistung:

$$\alpha = 1 - Q_W$$

3.4

Schalldruckreflexionsfaktor

Q_p

komplexes Verhältnis der Druckamplitude der reflektierten Schallwelle zur Druckamplitude der auftretenden Schallwelle an der Straßenoberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Es wird von einer kugelförmigen auf die Probenoberfläche auftretenden Schallwelle ausgegangen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Diese Größe ist für das Verständnis des in Anhang B und Gleichung (C.4) beschriebenen Korrekturverfahrens notwendig. Der Schallleistungsreflexionsgrad ist gleich dem quadrierten Betrag des Schallreflexionsfaktors: $Q_W(f) = |Q_p(f)|^2$.

3.5

geometrischer Ausbreitungsfaktor

Abschwächung der Amplitude einer sich von einem Punkt zu einem anderen ausbreitenden Schalldruckwelle aufgrund kugelförmiger Schallausbreitung

3.6

Bezugsebene der Straßendeckschicht

gedachte Ebene, die die überwiegende Anzahl der Elemente der zu prüfenden Oberfläche berührt

3.7

größte erfasste Fläche

Fläche innerhalb der Reflexionsebene, die frei von reflektierenden Gegenständen sein muss, die Störreflexionen verursachen

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Anhang A.

3.8

Hintergrundgeräusch

Geräusch, das von anderen Quellen als dem Prüfsignal verursacht wird

3.9

Störabstand

S/N

Differenz zwischen dem Pegel des nominellen Nutzsignals und dem Pegel des Hintergrundgeräuschs im Moment der Erfassung des Nutzereignisses

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Störabstand wird in Dezibel angegeben.

3.10

Impulsantwort

Zeitsignal am Ausgang eines Systems als Antwort auf eine Dirac-Funktion am Eingang

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Dirac-Funktion, auch δ -Funktion, ist die mathematische Idealisierung eines zeitlich unendlich kurzen Signals, das die Einheitsmenge der Energie trägt.

3.11

Übertragungsfunktion

Fouriertransformation der *Impulsantwort* (3.10)

4 Zusammenfassende Beschreibung des Verfahrens

4.1 Allgemeines Prinzip

Eine von einem Signalgenerator gespeiste Schallquelle wird über der zu prüfenden Oberfläche positioniert und ein Mikrofon befindet sich zwischen der Schallquelle und der Prüfoberfläche. Das Messverfahren basiert auf der Bewertung der Übertragungsfunktion zwischen dem Ausgang des Signalgenerators und dem Ausgang des Mikrofons. Diese Übertragungsfunktion setzt sich aus zwei Faktoren zusammen, einem aus dem direkten Weg (vom Signalgenerator über den Verstärker und den Lautsprecher zum Mikrofon) und einem zweiten aus dem reflektierten Weg (vom Signalgenerator über den Verstärker, den Lautsprecher und die zu prüfende Oberfläche zum Mikrofon) (siehe Bild 1).

Die gesamte Impulsantwort, die den direkten und den reflektierten Schall beinhaltet, wird im Zeitbereich gemessen. Diese gesamte Impulsantwort besteht aus der Impulsantwort des direkten Schallwegs und, mit einer gewissen Verzögerung aufgrund des längeren Laufweges, aus der Impulsantwort des reflektierten Weges.

Mittels geeigneter Verarbeitung im Zeitbereich (z. B. Signalsubtraktion und zeitliche Signaltrennung, siehe 4.2) können diese Impulsantworten getrennt werden. Nach einer Fourier-Transformation ergeben sich die Übertragungsfunktionen für den Direktschallweg, $H_i(f)$, und für den Reflexionsschallweg, $H_r(f)$. Das Verhältnis der quadrierten Beträge dieser Übertragungsfunktionen ergibt den Schallleistungsreflexionsgrad $Q_W(f)$; zur Berücksichtigung der Weglängendifferenz zwischen dem Anteil des Direktschallwegs und dem Anteil des Reflexionsschallwegs wird das oben genannte Verhältnis außerdem mit einem Faktor K_r multipliziert, um einen größeren geometrischen Ausbreitungsfaktor des Reflexionsschallwegs auszugleichen, siehe Gleichung (2). Anschließend kann der Schallabsorptionsgrad mithilfe des Schallleistungsreflexionsgrades $Q_W(f)$ (siehe 3.3) berechnet werden.

Wird der Faktor K_r für den geometrischen Ausbreitungsfaktor ebenfalls berücksichtigt, so errechnet sich der Schallabsorptionsgrad mit Gleichung (1):

$$\alpha(f) = 1 - Q_W(f) = 1 - \frac{1}{K_r^2} \left| \frac{H_r(f)}{H_i(f)} \right|^2 \quad (1)$$

$$K_r = \frac{d_s - d_m}{d_s + d_m} \quad (2)$$

Dabei ist

d_s der Abstand zwischen der Schallquelle und der Bezugsebene der zu prüfenden Oberfläche;

d_m der Abstand zwischen dem Mikrofon und der Bezugsebene der zu prüfenden Oberfläche.

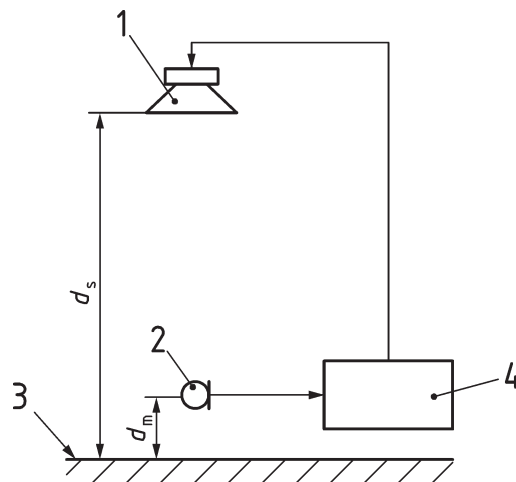
ANMERKUNG Der komplexe Reflexionsfaktor, der für die Berechnung der Ausbreitung oder den Vergleich von Messergebnissen mit theoretischen Berechnungen notwendig ist, lässt sich wie folgt mit Gleichung (3) bilden:

$$Q_p(f) = \frac{1}{K_f} \cdot \frac{H_r(f)}{H_i(f)} \cdot \exp(i2\pi\Delta\tau) \quad (3)$$

wobei $\Delta\tau$ der Zeitunterschied zwischen dem Auftreffen des direkten und des reflektierten Impulses ist (siehe Anhang C).

Es gelten keine besonderen Anforderungen an die Signalquelle, solange sie die Ermittlung der Impulsantwort über den vorgesehenen Frequenzbereich ermöglicht (siehe auch 5.2).

Bei dieser Methode wird der Teil der Energie, der nicht spiegelbildlich reflektiert und nicht vom Mikrofon erfasst wird, als absorbiert betrachtet. Der Schallabsorptionsgrad darf^{N1)} daher leicht überschätzt werden.



Legende

- 1 Schallquelle
- 2 Mikrofon
- 3 zu prüfende Oberfläche
- 4 Signalverarbeitungseinheit
- d_m Abstand zwischen dem Mikrofon und der Bezugsebene der zu prüfenden Oberfläche
- d_s Abstand zwischen der Schallquelle und der Bezugsebene der zu prüfenden Oberfläche

Bild 1 — Skizze der wesentlichen Bestandteile des Messaufbaus

4.2 Verfahren zur Signaltrennung

Dieses Dokument legt fest, wie die Schallquelle und das Mikrofon über der zu prüfenden Oberfläche anzuordnen sind und wie die gesamte Impulsantwort zu messen ist.

Die gesamten Impulsantworten bestehen aus einer direkten Komponente, einer von der zu prüfenden Oberfläche reflektierten Komponente und anderen Störreflexionen, siehe Bild 2 a). Die direkte Komponente und die von der zu prüfenden Oberfläche reflektierte Komponente müssen getrennt werden.

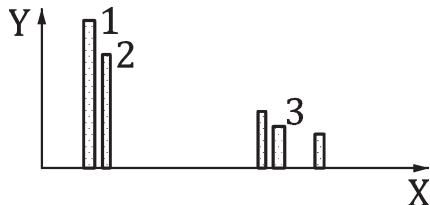
Diese Trennung muss nach dem Signalsubtraktionsverfahren (siehe Bild 2) vorgenommen werden: Dabei wird der reflektierte Anteil aus der gesamten Impulsantwort extrahiert, nachdem der Anteil der direkten Komponente durch Subtraktion eines identischen Signals entfernt wurde [siehe Bild 2 c) und Bild 2 d)]. Dies lässt sich erreichen, indem bei identischer Anordnung von Lautsprecher und Mikrofon eine Freifeldmessung durchgeführt wird. Im Besonderen muss deren relative Position zueinander möglichst konstant gehalten werden. Der Anteil des Direktschallwegs wird aus der Freifeldmessung extrahiert [siehe Bild 2 b)].

ANMERKUNG Dieses Verfahren ermöglicht das Vergrößern des Zeitfensters, was zu einem tieferen unteren Grenzwert des Arbeitsfrequenzbereichs führt, ohne große Abstände zwischen Lautsprecher, Mikrofon und Prüfoberfläche haben zu müssen. Darüber hinaus kann das Mikrofon dichter an der Straßenoberfläche angeordnet werden, womit der Störabstand S/N verbessert und der Einfluss des geometrischen Ausbreitungsfaktors verringert wird.

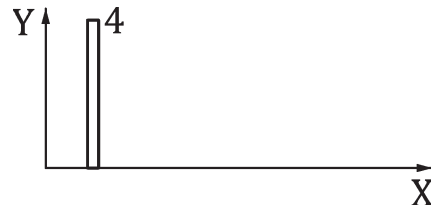
Für die Abstände der Quelle und des Mikrofons zur Bezugsebene der Straßenoberfläche sind nach diesem Dokument die folgenden Werte erforderlich: $d_s = 1,25$ m und $d_m = 0,25$ m (siehe Bild 1). Diese Abstände müssen während des Mittelungsvorgangs (auf $\pm 0,01$ m) konstant gehalten werden.

N1) Nationale Fußnote: Hier ist eigentlich „kann“ gemeint.

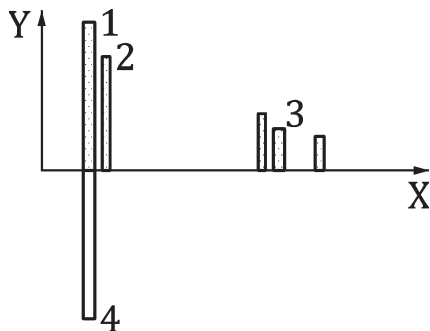
Die direkte Impulsantwort muss in Form, Amplitude und Zeitverzögerung genau bekannt sein. Dies wird durch eine Freifeldmessung unter Verwendung der gleichen geometrischen Anordnung von Lautsprecher und Mikrofon erreicht. Im Besonderen muss der Abstand zwischen diesen sehr genau konstant gehalten werden. Diese Anforderung kann durch Verwendung einer festen und stabilen Verbindung zwischen Schallquelle und Mikrofon erfüllt werden. Wenn bei der direkten Impulsantwort selbst eine geringe Zeitverschiebung zwischen der Freifeldmessung und der Messung mit Reflexion auftritt, muss dies korrigiert werden (siehe Anhang F).



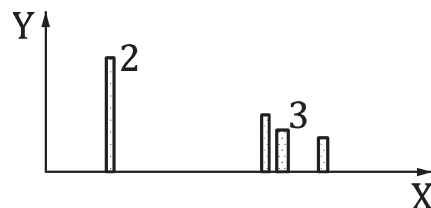
a) Gesamte Impulsantwort einschließlich: des Anteils des Direktschallwegs, des Anteils des Reflexionsschallwegs und unerwünschter störender Anteile



b) Anteil des Direktschallwegs im Freifeld



c) Eliminierung des Anteils des Direktschallwegs aus der gesamten Impulsantwort durch Verwendung des Anteils des Direktschallwegs im Freifeld



d) Ergebnis

Legende

- X Zeit, angegeben in Millisekunden
- Y Amplitude der Impulsantwort
- 1 direkt einfallende Komponente
- 2 reflektierte Komponente
- 3 unerwünschter störender Anteil
- 4 Freifeld-Direktanteil

Bild 2 — Prinzip des Signalsubtraktionsverfahrens

Um Temperaturunterschiede zwischen der Freifeldmessung und der Messung an der zu prüfenden Oberfläche zu vermeiden, wird empfohlen, die beiden Messungen innerhalb eines kurzen Zeitraums (< 10 min) durchzuführen.

4.3 Prüfverfahren

Für die Messung müssen im Wesentlichen Freifeldbedingungen vorliegen, d. h. es dürfen keine Reflexionen von anderen Gegenständen als der zu prüfenden Oberfläche auftreten. Durch Verwendung eines Zeitfensters werden allerdings Reflexionen ausgeblendet, die nach Ablauf einer gewissen Zeit eintreffen und deren Ursprung somit außerhalb eines bestimmten Abstands liegt (siehe Abschnitt 7).

Um die Einflüsse von Hintergrundgeräuschen und meteorologischen Schwankungen so gering wie möglich zu halten, muss eine Anzahl von Impulsantworten erfasst und gemittelt werden, woraus sich der in 7.4 festgelegte Mindeststörabstand S/N ergibt.

ANMERKUNG Erfahrungsgemäß reicht üblicherweise der Mittelwert von 16 bis 32 Impulsantworten aus.

Oft werden bei tiefen Frequenzen sehr kleine Schallabsorptionswerte gemessen. Es ist sehr schwierig, in diesem Frequenzbereich genaue Werte zu ermitteln. Geringe Schwankungen in der Auswertung der Schalldruckpegel sowohl des direkten als auch des reflektierten Signals können zu großen Ungenauigkeiten bei den Schallabsorptionswerten führen. Um dieses Problem zu umgehen und die Genauigkeit des Verfahrens zu erhöhen, ist eine Referenzmessung an einer vollständig reflektierenden Oberfläche durchzuführen (siehe Anhang B).

5 Messsystem

5.1 Bestandteile des Messsystems

Die Messeinrichtung muss aus einem elektronischen Signalgenerator, einem Leistungsverstärker und einem Lautsprecher, einem Mikrofon mit Verstärker und einem Signalanalysator bestehen, der in der Lage ist, Kreuzkorrelationen und Transformationen zwischen dem Zeit- und dem Frequenzbereich durchzuführen.

Bild 1 zeigt eine Skizze der wesentlichen Bestandteile des Messsystems.

Das gesamte Messsystem muss mindestens die Anforderungen an Geräte der Klasse 2 nach IEC 61672-1 erfüllen. Für die Anwendung dieses Dokuments erfolgt die Darstellung des Messfrequenzbereichs in Terzbändern, und zwar von 250 Hz bis 4 kHz.

5.2 Schallquelle

Für den Lautsprecher gilt:

- einen einzigen Lautsprecher-Chassis haben;
- er muss ohne Öffnung konstruiert sein, z. B. zur Verbesserung der Frequenzantwort im Tieftonbereich;
- er muss ohne elektrisch aktive oder passive Bauteile (wie z. B. Umschaltungen) ausgeführt sein, die die Frequenzantwort des gesamten Systems beeinflussen können; und
- er muss einen glatten Amplitudenverlauf der Frequenzantwort haben, der über den gesamten Messfrequenzbereich keine großen Unregelmäßigkeiten aufweist, damit die Impulsantwort unter Freifeldbedingungen nicht länger als 3 ms ist.

ANMERKUNG Da der Schallreflexionsgrad anhand des Verhältnisses dynamischer Größen berechnet wird, die aus mit demselben Lautsprecher und demselben Mikrofon innerhalb eines kurzen Zeitraums erfassten Impulsantworten extrahiert wurden, ist der Frequenzgang des Lautsprechers unkritisch, vorausgesetzt, es wird ein qualitativ hochwertiger Lautsprecher verwendet, der den obenstehenden Anforderungen entspricht.

5.3 Prüfsignal

Das Prüfsignal muss aus einem wiederholbaren kurzen Signal bestehen, das einen niedrigen Scheitelfaktor von in der Regel kleiner als 2 und ein nahezu ebenes Spektrum hat, das die Terzbänder von 250 Hz bis 4 kHz bei einem annehmbaren Störabstand S/N abdeckt. Es dürfen verschiedene Signale verwendet werden, wie z. B. Maximalfolgen (MLS, en: maximum-length sequences) oder exponentielle Sinussweeps (ESS, en: exponential sine sweeps), siehe ISO 18233.

6 Datenverarbeitung

6.1 Kalibrierung

Das in diesem Dokument beschriebene Messverfahren beruht auf dem Verhältnis der Leistungen zweier Übertragungsfunktionen, die mit derselben elektroakustischen Messkette gewonnen wurden. Eine absolute Kalibrierung der Messkette bezüglich des Schalldruckpegels ist daher nicht notwendig. Eine Referenzmessung, wie in Anhang B beschrieben, ist jedoch erforderlich.

6.2 Abtastrate

Die Signalsubtraktion setzt die Kenntnis der genauen Wellenform voraus, besonders zur Feststellung einer Veränderung der Laufzeit in der Messkette. Die Abtastrate f_s muss daher einen Wert größer als 40 kHz haben.

ANMERKUNG 1 Bei der Verwendung einer Audiokarte in Verbindung mit einem tragbaren Computer kommt es in der Messkette häufig zu einer Zeitverzögerung. Diese Zeitverzögerung wird vor der Durchführung des Signalsubtraktionsverfahrens in 6.3 ausgeglichen.

ANMERKUNG 2 Obwohl das Signal bereits eindeutig bestimmt ist, wenn bei der Abtastung das Nyquist-Kriterium der Abtastrate beachtet wurde (siehe Literaturhinweis [18]), ermöglichen höhere Abtastraten eine saubere Wiedergabe des Signals. Somit können Abweichungen leichter entdeckt und kompensiert werden, wie z. B. notwendige Korrekturen für eine Laufzeitveränderung aufgrund von Temperaturänderungen.

6.3 Zeitliche Signaltrennung

Vor den Messungen ist jeweils sicherzustellen, dass keinerlei Störsignale in dem Zeitfenster auftreten (siehe 7.3).

Die Trennung des direkten Signals vom reflektierten Signal wird durch Anwendung der Signalsubtraktion erreicht (siehe 4.2).

Die untere Frequenzgrenze der Analyse ist proportional zum Kehrwert der Länge des schmalsten verwendeten Zeitfensters und hängt von der Form des Fensters ab. Damit die Messungen im 250-Hz-Terzband gültig sind, muss die untere Frequenzgrenze 220 Hz betragen, was einer Mindestlänge des Fensters von etwa 5,9 ms entspricht. Für weitere Einzelheiten siehe Anhang F.

In jedem Fall sind die Form und die Länge des gewählten Zeitfensters im Prüfbericht anzugeben.

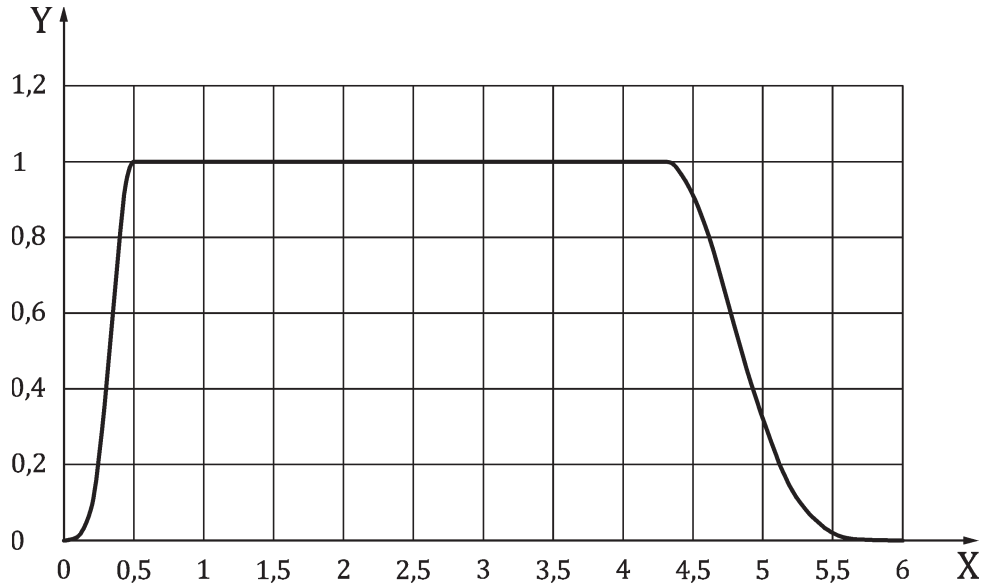
Für die Anwendung dieses Dokuments müssen Fensterungsoperationen im Zeitbereich unter Verwendung eines Zeitfensters durchgeführt werden, das als Adrienne-Zeitfenster bezeichnet wird und wie folgt festgelegt ist (siehe Bild 3):

- mit einer Anstiegsflanke in Form der linken Hälfte der Blackman-Harris-Fensterfunktion und mit einer festgelegten Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);
- einem Teil mit konstantem Durchlass („Hauptteil“);
- einer Abfallflanke in Form der rechten Hälfte der Blackman-Harris-Fensterfunktion;
- der Teil mit konstantem Durchlass und der Teil in Form der rechten Hälfte der Blackman-Harris-Fensterfunktion müssen ein Längenverhältnis von 7/3 zueinander haben.

Das Adrienne-Fenster mit einer Gesamtlänge $T_{W,ADR} = 5,9$ ms (Normlänge) ist wie folgt festgelegt:

- mit einer Anstiegsflanke in Form der linken Hälfte der Blackman-Harris-Fensterfunktion und mit einer festgelegten Länge von 0,5 ms („Vorfenster“);

- einem Teil mit konstantem Durchlass mit einer Gesamtlänge von 3,78 ms („Hauptteil“);
- einer Abfallflanke in Form der rechten Hälfte der Blackman-Harris-Fensterfunktion und mit einer Länge von 1,62 ms.



Legende

X Zeit, angegeben in Millisekunden

Y Form des Adrienne-Fensters

Bild 3 — Adrienne-Zeitfenster

ANMERKUNG 1 Ein vier Zeiten umfassendes vollständiges Blackman-Harris-Fenster der Länge $T_{W,BH}$ ergibt sich mit Gleichung (4):

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

wobei $a_0 = 0,358\,75$; $a_1 = 0,488\,29$; $a_2 = 0,141\,28$; $a_3 = 0,011\,68$; $0 \leq t \leq T_{W,BH}$.

7 Messaufbau

7.1 Größte erfasste Fläche

Die Größe der größten erfassten Fläche ist durch den Abstand der Schallquelle und des Mikrofons von der zu prüfenden Oberfläche sowie durch die Länge des Zeitfensters vorgegeben. Bei senkrechtem Schalleinfall wird die größte erfasste Fläche durch einen Kreis beschrieben, dessen Mittelpunkt der Schalleinfallspunkt ist und dessen Radius r durch die Beziehung in Anhang A gegeben ist.

Die verbindlich vorgeschriebene Referenzoberfläche muss mindestens die größte erfasste Fläche umfassen (siehe Anhang B).

7.2 Anordnung der Messgeräte

Die Messgeräte sind wie in Bild 1 gezeigt und mit den in 4.2 angegebenen Positionen über der zu prüfenden Oberfläche oder der Referenzoberfläche anzuordnen.

Die Schallquelle muss in einer Höhe d_s von 1,25 m über der Bezugsebene der Straßenoberfläche angebracht werden. Das Empfängermikrofon muss in einer Höhe d_m von 0,25 m über der Bezugsebene der Straßenoberfläche angebracht werden. Die Abstände dürfen von diesen Werten um höchstens $\pm 0,01$ m abweichen.

Die akustischen Mittelpunkte von Schallquelle und Mikrofon müssen senkrecht zur Bezugsebene auf einer Linie liegen, und die Mikrofonachse muss parallel zur Bezugsebene sein.

Schallquelle und Mikrofon sind so anzuordnen, dass die größte erfasste Fläche (siehe 7.1 und Anhang A) vollständig innerhalb der zu prüfenden Straßenoberfläche liegt.

7.3 Reflektierende Gegenstände

Abgesehen vom Straßenbelag ist jeder Gegenstand als reflektierender Gegenstand zu betrachten, der störende Reflexionen verursachen kann (z. B. Zäune, Steinblöcke, Schallschutzwände, geparkte Fahrzeuge). Derartige Gegenstände müssen außerhalb der größten erfassten Fläche liegen und einen Abstand vom Mikrofon haben, der größer als d_s ist.

Es ist darauf zu achten, dass der Mikrofonständer die Messung nicht beeinflusst.

7.4 Fremdgeräusch

Der effektive Störabstand S/N muss in jedem Terzband zwischen 250 Hz und 4 kHz größer als 10 dB sein.

Um diesen Störabstand S/N für jede Impulsantwort zu bewerten, müssen ein Zeitintervall, das nur das Fremdgeräusch enthält, und ein Zeitintervall, das das reflektierte Signal enthält, bestimmt werden. Das Zeitintervall für die Bewertung des Fremdgeräusches wird mit einem „Geräuschfenster“ $w_n(t)$ gewählt. Das Zeitintervall für die Bewertung des reflektierten Anteils des Signals wird mit einem Fenster $w_r(t)$ gewählt.

Das Zeitintervall für die Bewertung des Fremdgeräusches kann auf zwei Arten gewählt werden:

- vom Beginn der Impulsantwort ($t = 0$) bis zum Beginn des direkten Signals; in diesem Fall liegt die niederfrequente Grenze der Berechnung des Störabstandes bei 400 Hz;
- vom Ende der Impulsantwort zu ihrem Anfang hin, wobei ein Adrienne-Fenster mit derselben Länge wie für das reflektierte Signal verwendet wird; in diesem Fall ist die Niederfrequenzgrenze der Berechnung des Störabstandes dieselbe wie bei der Berechnung des Schallabsorptionsgrades.

Der Störabstand in jedem Frequenzband beträgt:

$$S/N_j = 10 \lg \left\{ \frac{\int_{\Delta f_j} |F[h_r(t) w_r(t)]|^2 df}{\int_{\Delta f_j} |F[h_n(t) w_n(t)]|^2 df} \right\} \quad (5)$$

Dabei ist

$h_r(t)$ der reflektierte Anteil der vor der zu prüfenden Oberfläche gemessenen Impulsantwort;

$h_n(t)$ der Anteil des Störabstandes der Impulsantwort;

$w_r(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für den reflektierten Anteil;

$w_n(t)$ das Zeitfenster (Adrienne-Zeitfenster) für den Anteil des Fremdgeräusches;

F das Symbol der Fourier-Transformation;

j der Index für die Terzbänder (zwischen 250 Hz und 4 kHz);

Δf_j die Breite des j -ten Terzbandes.

Der Störabstand beträgt insgesamt:

$$S/N = 10 \lg \left\{ \frac{\sum_{j=1}^{13} \int_{\Delta f_j} |F[h_r(t) w_r(t)]|^2 df}{\sum_{j=1}^{13} \int_{\Delta f_j} |F[h_n(t) w_n(t)]|^2 df} \right\} \quad (6)$$

7.5 Sicherheitshinweise

Dieses Prüfverfahren kann gefährliche Arbeitsschritte beinhalten, wenn Messungen an Straßen mit fließendem Verkehr durchgeführt werden. Dieses Dokument erhebt nicht den Anspruch, sämtliche mit seiner Anwendung verbundenen Sicherheitsprobleme anzusprechen. Es liegt in der Verantwortung des Anwenders dieses Dokuments, vor der Anwendung geeignete Vorsichtsmaßnahmen für den Arbeits- und Gesundheitsschutz zu treffen und zu klären, ob einschränkende Vorschriften zu berücksichtigen sind.

8 Straßenoberfläche und meteorologische Bedingungen

8.1 Zustand der Straßenoberfläche

Die zu prüfende Straßenoberfläche muss augenscheinlich homogen und frei von Änderungen der Materialeigenschaften sein.

Die Messungen dürfen nur bei trockener Straßenoberfläche durchgeführt werden. Wenn davon auszugehen ist, dass die Straßenoberfläche einen signifikanten Hohlraumanteil aufweist, sollten die Poren auf Trockenheit überprüft werden.

Messungen, die zu Studien- oder Forschungszwecken speziell darauf ausgerichtet sind, den Einfluss von Witterungs- oder anderen Umweltbedingungen auf die Schallabsorption zu ermitteln, dürfen auch bei nasser oder feuchter Straßenoberfläche durchgeführt werden, die Ergebnisse können dann jedoch nicht zur qualitativen Einstufung oder Beurteilung der geprüften Straßenoberfläche herangezogen werden.

Für die Überprüfung der Feuchtigkeit der Straßenoberfläche sind die folgenden Verfahren anzuwenden.

ANMERKUNG Das Verfahren entspricht dem in ISO 11819-2:2019, Anhang F, beschriebenen.

Die Oberflächen können für die Messungen als trocken genug angesehen werden, wenn die in Tabelle 1 angegebene Mindestdauer für die Trocknung nach Niederschlag eingehalten wurde. Es ist jedoch zu beachten, dass die Dauer für die Trocknung stark von Wind und Sonneneinstrahlung abhängig ist, weshalb die angegebenen Werte entsprechend angepasst werden dürfen.

Tabelle 1 — Empfohlene Mindestzeiten zwischen Niederschlag und Messung

Oberflächentyp	Empfohlene Zeit bis zur Messung	Bemerkungen
Dichte, undurchlässige Deckschichten, z. B. warmgewalzter Asphalt (HRA, en: hot rolled asphalt), dichter Asphaltbeton (DAC, en: dense asphalt cement), Zementbeton (CC, en: cement concrete)	keine bestimmte Zeit festgelegt	visuelle Beurteilung
Negativ texturierte Deckschichten, die potentiell große Vertiefungen enthalten, z. B. Splittmastixasphalt und dünne Asphaltschichten	3 h	visuelle Beurteilung
Offenporige (durchlässige) Deckschichten	24 h bis 48 h	Der niedrigere Wert ist nur dann zulässig, wenn während des Tages Sonneneinstrahlung und eine signifikante Luftbewegung über der Oberfläche durch Wind oder Verkehr stattgefunden haben. Ferner sollte die Tagesdauer nicht zu kurz sein.

Sofern nicht mehr als 2 Tage seit dem letzten Niederschlag verstrichen sind, wird empfohlen, zu überprüfen, ob eine Oberfläche, von der angenommen wird, dass sie eine signifikante Porösität aufweist, noch eine Restfeuchte enthält.

Dazu wird Druckluft in die Straßenoberfläche geblasen, z. B. mit einer gewöhnlichen Luftpistole mit Pistolengriff oder einer Sprühdose mit Druckluft, die vertikal auf die Oberfläche gerichtet wird. Restfeuchte zeigt sich in Form einer deutlich sichtbaren Sprühwolke. Die Oberfläche kann als trocken angesehen werden, wenn sich bei fünf Prüfungen an repräsentativen Punkten entlang der Straßenoberfläche keine Sprühwolke zeigt (es kann auch Löschpapier verwendet werden, um vorhandenes Wasser nachzuweisen).

ANMERKUNG Diese Prüfung kann mithilfe eines tragbaren Kompressors durchgeführt werden. Ein kurzer Druckluftstoß mit 0,5 kPa bis 0,8 kPa ist für die Prüfung ausreichend.

8.2 Wind

Die Windgeschwindigkeit am Mikrofon darf während der Messungen nicht höher als 5 m/s sein.

8.3 Temperatur

Die Lufttemperatur muss während der Messung zwischen 0 °C und 40 °C liegen. Die Temperatur der Straßenoberfläche muss während der Messung zwischen 0 °C und 55 °C liegen.

9 Messverfahren

Die Messungen sind wie folgt durchzuführen.

- a) Die Straßenoberfläche und die meteorologischen Bedingungen sind auf Übereinstimmung mit den Festlegungen in 8.1 bis 8.3 zu überprüfen. Bei Nichtübereinstimmung können die Messungen nicht durchgeführt werden.
- b) Die Messgeräte sind am Ort der Prüfung, wie in 7.2 festgelegt, anzuordnen. Es gelten die Sicherheitshinweise nach 7.5.
- c) Der Radius der größten erfassten Fläche ist nach Anhang A zu berechnen. Es ist zu überprüfen, ob sich keine reflektierenden Gegenstände innerhalb der größten erfassten Fläche befinden. Anderenfalls können die Messungen nicht durchgeführt werden.
- d) Die Schallquelle und das Prüfsignal sind nach 5.2 und 5.3 auszuwählen.
- e) Das Prüfsignal ist zu erzeugen.
- f) Das vom Mikrofon empfangene Gesamtsignal ist mit einer nach 6.2 gewählten Abtastrate aufzunehmen.
- g) Die am Mikrofon gemessenen Werte sind wiederholt zu mitteln, bis eine stabile Impulsantwortfunktion vorliegt (siehe 4.3).
- h) Die Freifeld-Impulsantwort ist aufzuzeichnen, wobei alle reflektierenden Oberflächen, die die Messung beeinflussen könnten, aus der Messumgebung zu entfernen sind und die Anordnung des Messaufbaus beizubehalten ist (siehe 4.2).
- i) Die Impulsantwort des reflektierenden Wegs ist nach dem Signalsubtraktionsverfahren zu isolieren. Störende Reflexionen sind durch ein geeignetes Zeitfenster auszublenden (siehe 6.3). Dabei ist das in Anhang F angegebene Verfahren zum genauen Abgleich anzuwenden.
- j) Die direkte Komponente der Impulsantwort und die reflektierte Komponente der Impulsantwort sind unter Anwendung des gleichen Zeitfensters zu extrahieren, und die Leistungsspektren der beiden extrahierten Signale sind mittels Fourier-Transformation zu berechnen. Falls die Berechnung des komplexen Reflexionsfaktors notwendig ist, sollten die komplexen Spektren herangezogen werden.
- k) Der Schallleistungsreflexionsgrad ist zu berechnen (siehe 4.1 und Anhang C), wobei der geometrische Ausbreitungsfaktor nach 4.1 (Gleichung (2)) zu berücksichtigen ist.
- l) Die Schritte a) bis k) sind an einer hochreflektierenden Referenzoberfläche zu wiederholen, wobei das in Anhang B festgelegte Verfahren anzuwenden ist.
- m) Der Schallabsorptionsgrad der Straßenoberfläche ist durch lineare Mittelung der Schmalbandabsorption in Terzbändern zu berechnen (siehe 4.1 und Anhang B).
- n) Falls notwendig, sind weitere Messungen an anderen Stellen der Straßenoberfläche durchzuführen.
- o) Es ist ein Messbericht zu erstellen (siehe Abschnitt 11 sowie Anhang D).

10 Messunsicherheit

10.1 Das in diesem Dokument festgelegte Messverfahren unterliegt mehreren Einflussfaktoren, die zu Schwankungen der für denselben Prüfgegenstand ermittelten Ergebnisse führen. Die Ursachen und Eigenschaften dieser Störeinflüsse sind nicht vollständig bekannt. Die Messunsicherheit wird in Übereinstimmung mit dem ISO/IEC Guide 98-3 bestimmt.

Nach dem ISO/IEC Guide 98-3 ist jede signifikante Fehlerquelle zu identifizieren und zu korrigieren. Die folgenden Fehlerquellen wurden ermittelt und sind nach dem in ISO/IEC Guide 98-3 beschriebenen Verfahren zu behandeln.

10.2 Bei der Anwendung des Signalsubtraktionsverfahrens (siehe 4.2) lässt sich die direkte Impulsantwort möglicherweise nicht vollständig eliminieren, was zu einer geringen Abweichung führt. Sie ist jedoch in der Regel vernachlässigbar, wenn das in Anhang F beschriebene Verfahren zum genauen Abgleich angewendet wird, das es ermöglicht, einen Reduktionsfaktor $R_{\text{sub}} \geq 15$ dB zu erzielen.

10.3 Die Referenzoberfläche (siehe Anhang B) kann nie vollständig reflektierend sein, das gilt besonders bei Verwendung einer transportablen Konstruktion. Es muss sorgsam darauf geachtet werden, dass sie vorschriftsmäßig und (falls es sich um eine Verbundstoffoberfläche handelt) ohne Zwischenräume auf der zu prüfenden Straßenoberfläche angeordnet und vibrationsgedämpft wird.

10.4 Die Messkette ist möglicherweise nicht absolut stabil, was ebenfalls zur unvollständigen Eliminierung der direkten Impulsantwort führt. Es wird daher empfohlen, die beiden Messungen an der Prüfoberfläche und im Freifeld innerhalb eines kurzen Zeitraums (< 10 min, siehe 4.2) durchzuführen.

Die Ermittlung der geometrischen Ausbreitungsfaktor K_r beruht auf der Referenzmessung an einer reflektierenden Fläche. Bei dicken absorbierenden Oberflächen ist die Reflexionsebene nicht eindeutig definiert, was möglicherweise zu einer Unterschätzung des Reflexionsfaktors führt.

10.6 Bei hochreflektierenden Oberflächen nimmt die relative Messabweichung des Schallabsorptionsgrades zu. Um die Genauigkeit in diesem Falle zu verbessern, wird empfohlen, mehrere am selben Ort vorgenommene Messungen zu mitteln, bis ein stabiles Ergebnis erzielt wird.

10.7 Die statistische Repräsentativität des gewählten Bereichs der Straßenoberfläche ist eine andere Fehlerquelle als die Abweichung bei der Bestimmung des Absorptionsgrades an einer bestimmten Stelle; sie stellt eine Quelle für Varianzen bei der Bestimmung der akustischen Absorption eines Straßenabschnitts dar. Sie lässt sich auf ein Mindestmaß verringern, indem die Messungen so lange wiederholt werden, bis eine annehmbare Streuung der Ergebnisse erzielt wird. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die größte erfasste Fläche ausreichend groß sein muss, damit das Ergebnis für die Breite einer einzelnen Fahrspur repräsentativ ist.

10.8 Der allgemeine Ausdruck für die Berechnung des berichtigten Absorptionsgrades, $\alpha(f)$, ergibt sich aus Gleichung (7):

$$\alpha(f) = \alpha_{\text{road}}(f) + \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 + \delta_4 \quad (7)$$

Dabei ist

$\alpha_{\text{road}}(f)$ der gemessene Schallabsorptionsgrad nach Berichtigung in Bezug auf die Referenzoberfläche, wie in Anhang B festgelegt;

δ_1 eine Eingangsgröße, die bei Anwendung des Signalsubtraktionsverfahrens (siehe 4.2) allen mit der Eliminierung der direkten Impulsantwort verbundenen Unsicherheiten Rechnung trägt; $\delta_1 \approx 0$, wenn gilt: $R_{\text{sub}} \geq 15$ dB (siehe Anhang F);

δ_2 eine Eingangsgröße, die allen mit der Reflexion von der Referenzoberfläche verbundenen Unsicherheiten Rechnung trägt (siehe Anhang B);

δ_3 eine Eingangsgröße, die allen Unsicherheiten Rechnung trägt, die mit Änderungen der Messkette zwischen der Messung an der Prüfoberfläche und der Messung im Freifeld verbunden sind;

δ_4 eine Eingangsgröße, die allen mit der Bestimmung des geometrischen Ausbreitungsfaktor K_r verbundenen Abweichungen Rechnung trägt.

Dieses Dokument fordert dazu auf, zusätzliche Daten zu den Umgebungsbedingungen zu erfassen, um das Verständnis des Einflusses dieser Faktoren auf die Messungen zu verbessern. Dieses Dokument fordert außerdem dazu auf, zusätzliche Daten zu erfassen, um das Verständnis möglicher Auswirkungen unterschiedlicher Messgeräte auf die Messungen zu verbessern.