

DIN EN ISO 3382-2



ICS 91.120.20

Teilweiser Ersatz für
DIN EN ISO 3382:2000-03

**Akustik –
Messung von Parametern der Raumakustik –
Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen (ISO 3382-2:2008);
Deutsche Fassung EN ISO 3382-2:2008**

Acoustics –
Measurement of room acoustic parameters –
Part 2: Reverberation time in ordinary rooms (ISO 3382-2:2008);
German version EN ISO 3382-2:2008

Acoustique –
Mesurage des paramètres acoustiques des salles –
Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires (ISO 3382-2:2008);
Version allemande EN ISO 3382-2:2008

Gesamtumfang 26 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN
Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN



Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 3382-2:2008) wurde vom Komitee ISO/TC 43/SC 2 „Bauakustik“, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird, in Abstimmung mit dem Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Baustoffen und Bauteilen und von Gebäuden“, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird, erarbeitet. Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-02-31 AA „Schalldämmung und Schallabsorption, Messung und Bewertung“ im Normenausschuss Materialprüfung (NMP).

ISO 3382 besteht aus den folgenden Teilen unter dem Haupttitel *Acoustics — Measurement of room acoustic parameters*:

- *Part 1: Performance rooms*;
- *Part 2: Reverberation time in ordinary rooms*

Der folgende Teil ist in Vorbereitung:

- *Part 3: open plan spaces*.

Für die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen.

ISO 3382-1	siehe DIN EN ISO 3382-1
ISO 18233	siehe DIN EN ISO 18233
IEC 61260	siehe DIN EN 61260

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 3382:2000-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen.

- a) Titel geändert;
- b) Ausschluss von Konzertsälen und weiteren Veranstaltungsräumen aus dem Anwendungsbereich;
- c) Unterscheidung nach Kurzverfahren, Standardverfahren und Präzisionsverfahren;
- d) Anhänge A und B, die sich auf Zuhörerräume bezogen, entfernt;
- e) Anhang A „Messunsicherheit“ hinzugefügt;
- f) Auswertung nicht linearer Abklingkurven detaillierter beschrieben und in Anhang B verschoben;
- g) Anhang C „Gleichungen für die Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate“ hinzugefügt;
- h) die in dieser Norm nicht behandelten Bereiche der DIN EN ISO 3382-1 hinzugefügt, die zur Zeit erarbeitet wird.

Frühere Ausgaben

DIN 52216: 1965-08
DIN EN ISO 3382: 2000-03

Nationaler Anhang NA
(informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO 3382-1, *Akustik — Messung von raumakustischen Parametern — Teil 1: Aufführungsräume*

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

— Leerseite —

Deutsche Fassung

**Akustik —
Messung von Parametern der Raumakustik —
Teil 2: Nachhallzeit in gewöhnlichen Räumen
(ISO 3382-2:2008)**

Acoustics —
Measurement of room acoustic parameters —
Part 2: Reverberation time in ordinary rooms
(ISO 3382-2:2008)

Acoustique —
Mesurage des paramètres acoustiques des salles —
Partie 2: Durée de réverbération des salles ordinaires
(ISO 3382-2:2008)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 22. Mai 2008 angenommen.

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

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

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



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe	5
4 Messbedingungen	6
4.1 Allgemeines.....	6
4.2 Geräte.....	6
4.3 Messpositionen.....	8
5 Durchführung der Messungen	9
5.1 Allgemeines.....	9
5.2 Verfahren des abgeschalteten Rauschens	10
5.3 Verfahren der integrierten Impulsantwort.....	10
6 Auswertung der Abklingkurven	11
7 Messunsicherheit.....	12
7.1 Verfahren des abgeschalteten Rauschens	12
7.2 Verfahren der integrierten Impulsantwort.....	12
7.3 Untere Grenzwerte für zuverlässige Ergebnisse, bedingt durch das Filter und den Detektor	12
8 Räumliche Mittelwertbildung.....	13
9 Auswertung	13
9.1 Tabellen und Kurven	13
9.2 Prüfbericht.....	13
Anhang A (informativ) Messunsicherheit	15
Anhang B (informativ) Auswertung nicht-linearer Abklingkurven.....	19
Anhang C (informativ) Gleichungen für die Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate.....	21
Literaturhinweise	22

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 3382-2:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 126 „Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2008 zurückgezogen werden.

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

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 3382:2000.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 3382-2:2008 wurde vom CEN als EN ISO 3382-2:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Dieser Teil von ISO 3382 legt drei Stufen der Messgenauigkeit fest: Kurz, Standard und Präzision. Der Hauptunterschied besteht in der Anzahl der Messpositionen und damit in der für die Messungen erforderlichen Zeit. Anhang A enthält einige zusätzliche Angaben zur Messunsicherheit der Nachhallzeit. Die Aufnahme der Option einer Messung im Kurzverfahren soll zu einer häufigeren Messung der Nachhallzeit in Räumen führen, in denen dies relevant ist. Es ist offensichtlich, dass eine sehr einfache Messung besser ist als keine Messung.

Es gibt verschiedene Gründe für die Messung der Nachhallzeit. Erstens sind der Schalldruckpegel von Geräuschquellen, die Verständlichkeit von Sprache und das Empfinden der Privatsphäre in einem Raum in hohem Maße von der Nachhallzeit abhängig. Zu Räumen können Wohnräume, Treppenhäuser, Werkstätten, Industrieanlagen, Klassenräume, Büros, Restaurants, Messehallen, Sporthallen sowie Bahnhöfe und Flughafenabfertigungsgebäude zählen. Zweitens wird die Nachhallzeit zur Bestimmung des Korrekturausdrucks für die Raumabsorption gemessen, die fester Bestandteil vieler akustischer Messungen ist. Beispiele hierfür sind Messungen der Schalldämmung nach ISO 140 (alle Teile) und Messungen der Schalleistung nach ISO 3740.

In einigen Ländern legen Bauvorschriften die erforderliche Nachhallzeit für Klassenräume und weitere Kategorien von Räumen fest. Bei den allermeisten Räumen liegt es jedoch in der Hand der Konstrukteure, Festlegungen und Bemessungen für eine Nachhallzeit vorzunehmen, die dem Zweck eines Raumes angemessen ist. Dieser Teil von ISO 3382 soll zum allgemeinen Verständnis und zur Akzeptanz der Nachhallzeit für die Qualität und Nutzbarkeit von Räumen beitragen.

In diesem Teil von ISO 3382 sind zwei verschiedene Auswertungsbereiche definiert, 20 dB und 30 dB. Aus zahlreichen Gründen wird jedoch dem 20-dB-Auswertungsbereich der Vorrang gegeben:

- a) die subjektive Auswertung des Nachhalles steht mit dem frühen Teil des Abklingens im Zusammenhang;
- b) für die Abschätzung des stationären Schallpegels in einem Raum aus dessen Nachhallzeit ist es angemessen, den frühen Teil des Abklingens zu nutzen; und
- c) bei Messungen in Gebäuden stellt der Störabstand häufig ein Problem dar, und oft ist es schwierig oder unmöglich, einen Auswertungsbereich von mehr als 20 dB zu erreichen. Dies erfordert einen Signal-Rausch-Pegel von mindestens 35 dB.

Das herkömmliche Messverfahren beruht auf der visuellen Untersuchung jeder einzelnen Abklingkurve. Mit einer modernen Messausrüstung werden die Abklingkurven üblicherweise nicht abgebildet; daraus kann sich das Risiko ergeben, dass anormale Abklingkurven für die Bestimmung der Nachhallzeit angewendet werden. Daher werden in Anhang B zwei neue Maße eingeführt, die den Grad der Nichtlinearität und den Grad der Krümmung der Abklingkurve quantifizieren. Diese Maße können als Warnhinweis genutzt werden, wenn die Abklingkurve nicht linear ist und folglich das Ergebnis als weniger zuverlässig und mit dem Hinweis, dass der Nachhall uneinheitlich ist, gekennzeichnet werden sollte.

Die Arbeitsgruppe hat auch den Einsatz von rotierenden Mikrofonen bei der Messung von Abklingkurven in Erwägung gezogen und festgestellt, dass dieses Verfahren keine deutlich erkennbare physikalische Bedeutung aufweist und es deshalb nur für das Verfahren des abgeschalteten Rauschens und wenn das Ergebnis für einen Korrekturterm verwendet wird, akzeptiert ist.

Für weitere Messungen der Nachhallzeit behandeln ISO 3382-1 Zuhörerräume und Veranstaltungsräume und ISO 354 Messungen des Absorptionskoeffizienten in einem Hallraum. Weder ISO 3382-1 noch ISO 354 sind für Messungen in Räumen wie den vorstehend genannten geeignet. Daher schließt dieser Teil von ISO 3382 eine Lücke zwischen den Normen zur Messung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden.

Dieser Teil von ISO 3382 wiederholt nicht die technischen Einzelheiten von ISO 3382-1, aber er behandelt die Messung der Nachhallzeit in allen möglichen Arten von Räumen.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 3382 legt Verfahren zur Messung der Nachhallzeit in Räumen fest. Sie legt das Messverfahren, die benötigten Geräte, die erforderliche Anzahl der Messpunkte und das Verfahren zur Auswertung der Daten und zur Abfassung des Prüfberichts fest.

Die Messergebnisse können für die Korrektur weiterer akustischer Messungen angewendet werden, z. B. die Bestimmung des Schalldruckpegels von Schallquellen oder Messungen der Schalldämmung und für den Vergleich mit den Anforderungen an die Nachhallzeit in Räumen.

2 Normative Verweisungen

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

ISO 3382-1:—¹⁾, *Acoustics — Measurement of room acoustic parameters — Part 1: Performance spaces*

ISO 18233, *Acoustics — Application of new measurement methods in building and room acoustics*

IEC 61260, *Electro-acoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Abklingkurve

graphische Darstellung der Abnahme des Schalldruckpegels in einem Raum als Funktion der Zeit nach Abschalten der Schallquelle

[ISO 354:2003, 3.1]

ANMERKUNG Dieser Abklingvorgang kann entweder nach dem tatsächlichen Abschalten einer kontinuierlich tönenden Schallquelle im Raum gemessen oder aus der Rückwärts-Integration der quadrierten Impulsantwort des Raumes abgeleitet werden, siehe Abschnitt 5.

3.2

Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen

Verfahren, mit dem die Abklingkurven durch direkte Aufzeichnung des abklingenden Schalldruckpegels bestimmt werden, wenn die Anregung eines Raumes mit Breitbandrauschen oder Rauschen mit Bandbegrenzung erfolgt

[ISO 354:2003, 3.3]

3.3

Verfahren der integrierten Impulsantwort

Verfahren, mit dem die Abklingkurven durch Rückwärtsintegration der quadrierten Impulsantworten bestimmt werden

[ISO 354:2003, 3.4]

1) Zur Veröffentlichung vorgesehen, Überarbeitung von ISO 3382:1997.

3.4

Impulsantwort

zeitliche Entwicklung des Schalldrucks, der an einem Ort in einem Raum als Ergebnis der Emission eines Dirac-Impulses an einem anderen Ort im Raum beobachtet wird

[ISO 354:2003, 3.5]

ANMERKUNG Zwar ist es unmöglich, in der Praxis wahre Diracsche Delta-Funktionen zu erzeugen und abzustrahlen, jedoch können kurze, transiente Schallvorgänge (z. B. von Pistolenschüssen) für praktische Messungen hinreichend genaue Näherungen bieten. Ein alternatives Messverfahren beruht jedoch auf der Verwendung einer Periode eines Signals vom Typ einer Maximalfolge oder eines anderen deterministischen Signals mit flachem Spektrum, wie z. B. einem Sinus-Sweep, und Rück-Umrechnung der gemessenen Antwort in eine Impulsantwort.

3.5

Nachhallzeit

T

<raumakustische Parameter>

Dauer zwischen dem Abschalten der Quelle und dem Zeitpunkt, an dem die räumlich gemittelte Schallenergiedichte um 60 dB abgenommen hat

ANMERKUNG 1 Die Nachhallzeit wird in Sekunden angegeben.

ANMERKUNG 2 T kann aus einem kleineren Dynamik-Bereich als 60 dB ermittelt und auf eine Abklingzeit bei 60 dB extrapoliert werden. Sie wird dann entsprechend gekennzeichnet. Wird T aus der Zeit genommen, in der die Abklingkurve erstmalig die Werte 5 dB und 25 dB unter dem Anfangspegel erreicht, wird sie T_{20} bezeichnet. Werden Abklingwerte von 5 dB bis 35 dB unter dem Anfangspegel verwendet, wird sie T_{30} bezeichnet.

3.6

großes Raumvolumen

geschlossener Raum mit einem Volumen größer als 300 m³

4 Messbedingungen

4.1 Allgemeines

In vielen Räumen kann die Anzahl der dort anwesenden Personen einen großen Einfluss auf die Nachhallzeit ausüben. Messungen der Nachhallzeit sollten in einem Raum erfolgen, in dem sich keine Personen aufhalten. Sofern nicht anders festgelegt, kann es zulässig sein, von einem unbesetzten Zustand des Raumes auszugehen, wenn dort bis zu zwei Personen anwesend sind. Wird das Messergebnis zur Korrektur eines gemessenen Schalldruckpegels angewendet, sollte die Anzahl der im Raum anwesenden Personen dieselbe sein wie bei der Messung.

In großen Räumen kann die Dämpfung durch die Luft wesentlich zur Schallabsorption bei hohen Frequenzen beitragen. Für Präzisionsmessungen müssen normalerweise die Temperatur und die relative Feuchte der Luft im Raum gemessen werden.

Der Beitrag durch die Luftabsorption ist vernachlässigbar, wenn die Nachhallzeit bei 2 kHz kürzer als 1,5 s und bei 4 kHz kürzer als 0,8 s ist. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, die Temperatur und die relative Luftfeuchte zu messen.

4.2 Geräte

4.2.1 Schallquelle

Die Schallquelle sollte so ungerichtet wie möglich sein. Für Präzisionsmessungen muss die Richtcharakteristik der Schallquelle die Anforderungen nach ISO 3382-1:—, A.3.1, erfüllen. Für die Messungen nach dem Kurz- und dem Standardverfahren gibt es keine besonderen Anforderungen an die Richtcharakteristik. Er muss einen Schalldruckpegel erzeugen, der ausreicht, um ohne Störung durch Fremdgeräusche Abklingkurven mit dem erforderlichen Mindest-Dynamik-Bereich zu liefern.

4.2.2 Mikrofone und Geräte für die Analyse

Zur Ermittlung des Schalldrucks sind ungerichtete Mikrofone einzusetzen, deren Ausgangssignale entweder

- direkt einem Verstärker, einem Filter und einem Gerät zur Darstellung der Abklingkurven oder einem Analysegerät zur Ableitung der Impulsantworten, oder
- zum Zwecke der späteren Analyse einem Signalaufzeichnungsgerät

zugeleitet werden dürfen.

4.2.2.1 Mikrofone und Filter

Das Mikrofon sollte so klein wie möglich sein und vorzugsweise einen Membrandurchmesser von höchstens 14 mm aufweisen. Mikrofone mit Durchmessern bis zu 27 mm sind zulässig, wenn es sich um reine Druckempfänger handelt oder sie als Freifeld-Mikrofone mit einem Diffusor-Vorsatz ausgestattet sind. Die Oktav- oder Terzfilter müssen IEC 61260 entsprechen.

4.2.2.2 Apparatur zur Aufzeichnung der Pegelabnahme

Die Apparatur zur Aufzeichnung (und Darstellung und/oder Auswertung) des Abklingvorgangs muss eines der folgenden Verfahren anwenden:

- a) Exponentialmittelwertbildung mit einer kontinuierlichen Kurve als Ausgangssignal;
- b) Exponentialmittelwertbildung mit aufeinander folgenden diskreten Abtastwerten aus dem fortlaufend gebildeten Mittelwert als Ausgangssignal;
- c) lineare Mittelwertbildung mit aufeinander folgenden diskreten Linear-Mittelwerten als Ausgangssignal.

Die Mittelungszeit, d. h. die Zeitkonstante eines Mittelwertbildners für Exponentialmittelwertbildung muss kleiner als $T/30$, jedoch möglichst nahe diesem Wert sein. Entsprechend muss die Mittelwertbildungszeit für einen Mittelwertbildner für lineare Mittelwertbildung kleiner als $T/12$ sein. Dabei ist T die gemessene Nachhallzeit.

Bei Geräten, die die Abkling-Aufzeichnung als Folge diskreter Abtastwerte erzeugen, muss das Zeitintervall zwischen je zwei Punkten der Aufzeichnung kleiner als das 1,5fache der Mittelungszeit des Geräts sein.

In allen Fällen, in denen die Auswertung der Abkling-Aufzeichnung visuell erfolgt, ist die Zeitskala der Anzeige so einzurichten, dass die Neigung der Aufzeichnungslinie möglichst nahe bei 45° liegt.

ANMERKUNG 1 Die Mittelungszeit eines Mittelwertbildners für Exponentialmittelung ist gleich $4,34 [= 10 \lg(e)]$, geteilt durch die Abklingrate des Geräts in Dezibel je Sekunde.

ANMERKUNG 2 Handelsübliche Pegelschreiber, die den Schalldruckpegel als Funktion der Zeit graphisch darstellen, entsprechen üblicherweise Mittelwertbildnern für Exponentialmittelung.

ANMERKUNG 3 Bei Anwendung eines Mittelwertbildners für Exponentialmittelwertbildung bringt es kaum einen Vorteil, die Mittelungszeit sehr viel kleiner als $T/30$ einzustellen. Bei Anwendung eines Mittelwertbildners für lineare Mittelwertbildung bringt es keinen Vorteil, das Intervall zwischen zwei Punkten sehr viel kleiner als $T/12$ zu wählen. Bei einigen sequenziellen Messverfahren ist es möglich, die Mittelungszeit für jedes Frequenzband angemessen einzustellen. Bei anderen Verfahren ist dies nicht möglich; dann muss eine Mittelungszeit oder ein Intervall, die/das wie vorstehend mit Bezug auf die kürzeste Nachhallzeit in jedem Band ausgewählt wurde, für die Messungen in allen Bändern verwendet werden.

4.2.2.3 Übersteuerung

Übersteuerung darf in keiner Stufe der Messapparatur auftreten. Beim Gebrauch von Impuls-Schallquellen sind zur Überwachung gegen Übersteuerung Spitzenwert-Anzeiger anzuwenden.

4.3 Messpositionen

4.3.1 Allgemeines

Die Mindestanzahl der Messpositionen, um eine gute Abdeckung des Raumes zu erreichen, sind in Tabelle 1 festgelegt. In Räumen mit einer komplizierten Geometrie sollten mehr Messpositionen genutzt werden. Es ist eine Verteilung der Mikrofonpositionen zu wählen, bei der die wichtigsten Einflüsse vorausgesehen werden, die wahrscheinlich über den Raum Unterschiede in der Nachhallzeit verursachen.

Tabelle 1 — Mindestanzahl der Messpunkte und Messungen

	kurz	Standard^a	Präzision
Sender-Mikrofon-Kombinationen	2	6	12
Senderpositionen ^b	≥ 1	≥ 2	≥ 2
Mikrofonpositionen ^c	≥ 2	≥ 2	≥ 3
Anzahl der Abklingvorgänge an jeder Position (Verfahren des abgeschalteten Rauschens)	1	2	3

^a In den Fällen, in denen das Ergebnis für einen Korrekturausdruck für weitere Messungen im Standardverfahren verwendet wird, sind nur eine Senderposition und drei Mikrofonpositionen erforderlich.

^b Für das Verfahren des abgeschalteten Rauschens dürfen unkorrelierte Sender simultan angewendet werden.

^c Für das Verfahren des abgeschalteten Rauschens sowie in den Fällen, in denen das Ergebnis für einen Korrekturausdruck verwendet wird, darf anstelle mehrerer Mikrofonpositionen ein rotierender Mikrofongalgen eingesetzt werden.

Beim Verfahren des abgeschalteten Rauschens ergibt sich die Gesamtzahl der Abklingvorgänge üblicherweise aus einer Reihe wiederholter Abklingvorgänge an jeder Position. Jedoch ist es ebenfalls zulässig, für jeden Abklingvorgang eine neue Position zu wählen, vorausgesetzt, die Gesamtzahl der Abklingvorgänge entspricht den Festlegungen.

Die Senderpositionen dürfen als übliche Positionen entsprechend der Nutzung des Raumes gewählt werden. In kleinen Räumen wie Wohnräumen oder in Fällen, in denen keine üblichen Positionen bestehen, sollte sich eine Senderposition in einer Ecke des Raumes befinden. Die Mikrofonpositionen sollten vorzugsweise mindestens eine halbe Wellenlänge voneinander entfernt sein, d. h. im üblichen Frequenzbereich mindestens etwa 2 m. Der Abstand jeder Mikrofonposition zur nächstgelegenen reflektierenden Oberfläche, einschließlich des Bodens, sollte vorzugsweise eine Viertel Wellenlänge betragen, d. h. üblicherweise etwa 1 m. Symmetrische Positionen sollten vermieden werden. Im besonderen Fall eines bewegten Mikrofons muss der Schwenkradius mindestens 0,7 m betragen. Die Traversenebene darf nicht innerhalb von 10° zu einer Ebene des Raums (Wand, Boden, Decke) liegen. Die Dauer der Traversenbewegung muss mindestens 15 s betragen.

Die Mikrofonpositionen dürfen nicht zu dicht beieinander liegen. Anderenfalls liegt die Anzahl der unabhängigen Positionen unter der tatsächlichen Anzahl der Messpunkte. Die Mindestzahlen nach Tabelle 1 stellen die Anzahl der unabhängigen Positionen dar.

Keine Mikrofonposition darf zu nahe an einer Senderposition liegen, damit ein zu starker Direktschall-Einfluss vermieden wird. Der Mindestabstand, d_{\min} , in Meter, kann nach Gleichung (1) berechnet werden:

$$d_{\min} = 2 \sqrt{\frac{V}{c\hat{T}}} \quad (1)$$

Dabei ist

- V das Volumen, in Kubikmeter;
- c die Schallgeschwindigkeit, in Meter je Sekunde;
- \hat{T} ein Schätzwert der erwarteten Nachhallzeit, in Sekunden.

4.3.2 Kurzverfahren

Das Kurzverfahren ist für die Beurteilung des Umfangs der Raumabsorption zum Zwecke des Schallschutzes sowie für Messungen der Luftschall- und der Trittschalldämmung im Kurzverfahren geeignet. Es sollte für Messungen nach ISO 10052 angewendet werden. Messungen nach dem Kurzverfahren werden ausschließlich in Oktavbändern durchgeführt. Es wird davon ausgegangen, dass die Nenngenauigkeit bei Oktavbändern besser als 10 % ist, siehe Anhang A.

Die Messungen der Nachhallzeit sind mindestens an einer Senderposition durchzuführen. Es ist der Durchschnitt der Ergebnisse von mindestens zwei Mikrofonpositionen zu bestimmen, siehe Tabelle 1.

4.3.3 Standardverfahren

Das Standardverfahren ist für die Überprüfung der Eigenschaften von Gebäuden beim Vergleich mit Spezifikationen der Nachhallzeit oder der Raumabsorption geeignet. Es sollte für Messungen nach ISO 140 (alle Teile) angewendet werden, in denen Verweisungen auf die Messung der Nachhallzeit enthalten sind. Es wird davon ausgegangen, dass die Nenngenauigkeit bei Oktavbändern besser als 5 % und bei Terzbändern besser als 10 % ist, siehe Anhang A.

Die Messungen der Nachhallzeit sind mindestens an zwei Senderpositionen durchzuführen. Es sind mindestens sechs unabhängige Sender-Mikrofonkombinationen erforderlich, siehe Tabelle 1.

4.3.4 Präzisionsverfahren

Das Präzisionsverfahren ist geeignet, wenn eine hohe Messgenauigkeit gefordert ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Nenngenauigkeit bei Oktavbändern besser als 2,5 % und bei Terzbändern besser als 5 % ist, siehe Anhang A.

Die Messungen der Nachhallzeit sind mindestens an zwei Senderpositionen durchzuführen. Es sind mindestens 12 unabhängige Sender-Mikrofonkombinationen erforderlich, siehe Tabelle 1.

5 Durchführung der Messungen

5.1 Allgemeines

In diesem Teil von ISO 3382 werden zwei Verfahren zur Messung der Nachhallzeit beschrieben: das Verfahren des abgeschalteten Rauschens und das Verfahren der integrierten Impulsantwort. Beide Verfahren weisen den gleichen Erwartungswert auf. Der Frequenzbereich ist vom Zweck der Messungen abhängig. Sofern keine Anforderungen an bestimmte Frequenzbänder vorliegen, sollte der Frequenzbereich für das Kurzverfahren mindestens 250 Hz bis 2 000 Hz abdecken. Für das Standardverfahren und das Präzisionsverfahren sollte der Frequenzbereich bei Oktavbändern mindestens 125 Hz bis 4 000 Hz sowie bei Terzbändern 100 Hz bis 5 000 Hz abdecken.

5.2 Verfahren des abgeschalteten Rauschens

5.2.1 Anregung des Raumes

Als Schallquelle ist ein Lautsprecher zu verwenden, und das dem Lautsprecher zugeführte Signal ist mit breitbandigem statistischem oder pseudo-statistischem elektrischem Rauschen zu erzeugen. Sofern pseudo-statistisches Rauschen genutzt wird, ist es auf Zufallsbasis zu unterbrechen, ohne eine wiederholte Folge zu nutzen. Der Sender muss einen Schalldruckpegel erzeugen können, der ausreicht, eine Abklingkurve sicherzustellen, die mindestens 35 dB oberhalb des Störpegels im entsprechenden Frequenzband beginnt. Ist T_{30} zu messen, muss ein Pegel erzeugt werden, der mindestens 45 dB oberhalb des Störpegels liegt.

Für Messungen in Oktavbändern ist die Bandbreite des Signals mit mindestens einer Oktave und für Messungen in Terzbändern mit mindestens einer Terz zu wählen. Das Spektrum muss im jeweils tatsächlich zu messenden Oktavband angemessen flach sein. Alternativ darf das breitbandige Rausch-Spektrum so geformt sein, dass sich für den stationären Nachhall-Schall im Raum ein rosa Spektrum zwischen 88 Hz und 5 657 Hz ergibt. Somit umfasst der Frequenzbereich die Terzbänder mit Bandmittenfrequenzen von 100 Hz bis 5 kHz oder die Oktavbänder von 125 Hz bis 4 kHz.

Für das Standardverfahren und das Präzisionsverfahren muss die Anregungsdauer des Raumes so lang sein, dass das Schallfeld den stationären Zustand erreicht, bevor der Sender abgeschaltet wird. Dazu ist es erforderlich, das Geräusch mindestens $T/2$ s lang abzustrahlen. Bei großen Volumen muss die Anregungsdauer wenigstens einige Sekunden betragen.

Beim Kurzverfahren darf als Alternative zum abgeschalteten Rauschsignal eine kurze Anregung oder ein Impulssignal verwendet werden. In diesem Fall liegt jedoch die Messgenauigkeit unter der in 4.3.1 angegebenen.

5.2.2 Mittelung der Messergebnisse

Die Anzahl der verwendeten Mikrofonpositionen wird durch die geforderte Genauigkeit bestimmt. Mit Blick auf den Zufallscharakter des Sendersignals ist es jedoch erforderlich, an jeder Position einen Mittelwert aus einer Reihe von Messwerten zu bilden, um eine annehmbare Messunsicherheit zu erreichen (siehe 7.1). Die Mittelwertbildung kann auf zwei Arten erfolgen, entweder

- durch Feststellen der einzelnen Nachhallzeiten aller Abklingkurven und Bilden des Mittelwertes daraus, oder
- durch Bilden eines Scharmittelwertes der quadrierten Abklingvorgänge des Schalldruckes und Feststellen der Nachhallzeit für die sich ergebende Abklingkurve. Die einzelnen Abklingvorgänge werden mit synchronisierten Anfangspunkten überlagert. Die diskreten quadrierten Abtastwerte des Schalldruckes werden für jedes Zeitintervall der zunehmenden Abklingvorgänge summiert, und die Folge dieser Summen wird als einzelner Gesamt-Scharabklingvorgang genutzt, mit dessen Hilfe dann T ausgewertet wird. Die von dem Sender abgestrahlte Schallleistung muss bei allen Messungen gleich bleiben. Dies ist das bevorzugte Verfahren.

5.3 Verfahren der integrierten Impulsantwort

5.3.1 Allgemeines

Die Impulsantwort von einer Sender- an eine Empfängerposition in einem Raum ist eine gut definierte Größe, die auf unterschiedliche Weise gemessen werden kann (z. B. unter Verwendung von Pistolenschüssen, Impulsen von Funkenstrecken, Rausch-Impulsen, Zirpen oder Maximalfolgen als Signal). Es ist nicht das Ziel dieses Teils von ISO 3382, weitere Verfahren, die eine korrekte Impulsantwort liefern können, auszuschließen.

5.3.2 Anregung des Raumes

Die Impulsantwort kann direkt gemessen werden, indem eine Impulsquelle wie ein Pistolenschuss oder ein beliebiger anderer Sender genutzt wird, die selbst nicht nachhallend ist und solange ihr Spektrum hinreichend breit ist, um die Bedingungen nach 5.2.1 zu erfüllen. Der Impulssender muss einen Spitzen-Schalldruckpegel erzeugen können, der ausreicht, einen Beginn der Abklingkurve bei mindestens 35 dB über dem Störpegel im jeweiligen Frequenzband sicherzustellen. Ist T_{30} zu messen, so ist es erforderlich, einen Pegel zu erzeugen, der mindestens 45 dB über dem Störpegel liegt.

Es dürfen besondere Schallsignale verwendet werden, die die Impulsantwort erst nach spezieller Verarbeitung des aufgezeichneten Mikrofonsignals liefern, siehe ISO 18233. Damit kann ein verbesserter Störabstand erreicht werden. Sinus-Sweeps oder pseudo-statistisches Rauschen (z. B. Maximalfolgen) dürfen verwendet werden, wenn die Anforderungen an das Spektrum und an die Richtcharakteristik des Senders eingehalten werden. Wegen der Verbesserung beim Störabstand können die Anforderungen an die Aussteuerbarkeit des Senders beträchtlich niedriger sein als im vorstehenden Absatz angegeben. Wird Zeitmittelung angewendet, ist es erforderlich sicherzustellen, dass die Mittelwertbildung die gemessene Impulsantwort nicht verändert. Bei der Anwendung dieser Messverfahren stellt die Frequenzfilterung häufig einen festen Bestandteil der Signalanalyse dar, und es ist ausreichend, dass das Anregungssignal die zu messenden Frequenzbänder abdeckt.

5.3.3 Integration der Impulsantwort

Für jedes Oktav- oder Terzband ist die Abklingkurve durch Rückwärts-Integration der quadrierten, gefilterten Impulsantwort zu erzeugen. Für weitere Einzelheiten siehe ISO 3382-1:—.

ANMERKUNG Im Grenzfall einer unendlichen Anzahl von Messungen mit abgeschaltetem Rauschen ist die als Scharmittel erzeugte Abklingkurve mit der Abklingkurve einer einzelnen integrierten quadrierten Impulsantwort identisch.

6 Auswertung der Abklingkurven

Für die Bestimmung von T_{20} beträgt der ausgewertete Bereich der Abklingkurven 5 dB bis 25 dB unterhalb des stationären Pegels. Für das Verfahren der integrierten Impulsantwort handelt es sich beim stationären Pegel um den Gesamtpegel der integrierten Impulsantwort. Innerhalb des Auswertungsbereichs ist für die Kurve rechnerisch eine Gerade nach der Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate zu erstellen, oder es ist, sofern die Abklingkurven direkt mit einem Pegelschreiber aufgezeichnet werden, eine Gerade manuell so gut wie möglich an die Abklingkurve anzupassen. Die Gleichung für das Verfahren der kleinsten Fehlerquadrate ist in Anhang C angegeben. Weitere Algorithmen, die zu vergleichbaren Ergebnissen führen, dürfen verwendet werden. Die Neigung der Geraden ergibt die Abklingrate d in Dezibel je Sekunde, woraus die Nachhallzeit als $T_{20} = 60/d$ berechnet wird. Für die Bestimmung von T_{30} beträgt der Auswertungsbereich 5 dB bis 35 dB.

Falls das Verfahren zur Bestimmung der Nachhallzeit darauf beruht, dass Pegelschreiber-Diagramme ausgewertet werden, so kann eine visuell bestimmte Kurve bester Näherung eine berechnete Regressionskurve ersetzen, sie ist jedoch nicht so zuverlässig wie eine Regressionsanalyse.

Um eine Nachhallzeit festzulegen müssen die Abklingkurven annähernd einer geraden Linie folgen. Sind die Kurven wellenförmig oder gekrümmt, kann dies auf eine Mischung aus Abklingarten mit verschiedenen Nachhallzeiten hinweisen, womit das Ergebnis unzuverlässig sein kann. Zwei Indikatoren für nicht-lineare Abklingkurven werden in Anhang B vorgeschlagen.

Der nach nicht-kontinuierlicher Anregung eines Raumes (z. B. durch Aufzeichnung eines Pistolenschusses mit einem Pegelschreiber) direkt gewonnene Abklingvorgang wird für eine genaue Auswertung der Nachhallzeit nicht empfohlen. Dieses Verfahren sollte nur für überschlägige Messungen nach dem Kurzverfahren angewendet werden.

7 Messunsicherheit

7.1 Verfahren des abgeschalteten Rauschens

Aufgrund des Zufallscharakters des Anregungs-Signals hängt beim Verfahren des abgeschalteten Rauschens die Messunsicherheit stark von der Anzahl der ausgeführten Mittelungen ab. Die Scharmittelung und die Mittelung einzelner Werte der Nachhallzeit weisen die gleichen Abhängigkeiten von der Anzahl der Mittelungen auf. Die Standardabweichung des Messergebnisses $\sigma(T_{20})$ oder $\sigma(T_{30})$, in Sekunden, kann nach Gleichung (2) bzw. (3) abgeschätzt werden:

$$\sigma(T_{20}) = 0,88 \times T_{20} \sqrt{\frac{1 + 1,90 / n}{N B T_{20}}} \quad (2)$$

$$\sigma(T_{30}) = 0,55 \times T_{30} \sqrt{\frac{1 + 1,52 / n}{N B T_{30}}} \quad (3)$$

Dabei ist

- B die Bandbreite, in Hertz;
- n die Anzahl der an jeder Position gemessenen Abklingvorgänge;
- N die Anzahl der unabhängigen Messpunkte (Kombinationen aus Sender- und Empfängerpositionen);
- T_{20} die Nachhallzeit, in Sekunden, bei einem Untersuchungsbereich von 20 dB;
- T_{30} die Nachhallzeit, in Sekunden, bei einem Untersuchungsbereich von 30 dB.

Die Gleichungen (2) und (3) wurden [1] und [2] entnommen und beruhen auf bestimmten Annahmen zum Mittelwertbildner. Weitere Informationen sind in Anhang A enthalten.

Für ein Oktavfilter gilt $B = 0,71 \times f_c$ und für ein Terzfilter $B = 0,23 \times f_c$, wobei f_c die Bandmittenfrequenz, in Hertz, des Filters ist. Oktavbandmessungen führen bei derselben Anzahl von Messpunkten zu einer besseren Messgenauigkeit als Terzbandmessungen.

7.2 Verfahren der integrierten Impulsantwort

Die Messunsicherheit beim Verfahren der integrierten Impulsantwort liegt in derselben Größenordnung wie bei Anwendung eines Mittelwerts von $n = 10$ Messungen an jeder Position beim Verfahren des abgeschalteten Rauschens. Es ist keine zusätzliche Mittelung erforderlich, um die statistische Messgenauigkeit für jede Position zu erhöhen.

7.3 Untere Grenzwerte für zuverlässige Ergebnisse, bedingt durch das Filter und den Detektor

Im Falle sehr kurzer Nachhallzeiten kann die Abklingkurve durch das Filter und den Detektor beeinflusst werden. Wird die herkömmliche Vorwärts-Analyse angewendet, so müssen, um zuverlässige Ergebnisse zu erzielen, die unteren Grenzwerte wie folgt sein:

$$BT > 16 \quad (4)$$

$$T > T_{\text{det}} \quad (5)$$

Dabei ist

- B die Filterbandbreite, in Hertz;
- T die gemessene Nachhallzeit, in Sekunden;
- T_{det} die Nachhallzeit, in Sekunden, des mittelwertbildenden Detektors.

ANMERKUNG Sehr kurze Nachhallzeiten können mit dem in ISO 3382-1:— beschriebenen Zeitumkehr-Verfahren analysiert werden. In diesem Fall sind die unteren Grenzen für zuverlässige Ergebnisse $BT > 4$ und $T > T_{\text{det}}/4$.

8 Räumliche Mittelwertbildung

Zur Bestimmung räumlicher Mittelwerte können die für den Bereich der Sender- und Mikrofonpositionen gemessenen Ergebnisse entweder für getrennt ausgewiesene Flächenbereiche oder für den gesamten Raum kombiniert werden. Diese räumliche Mittelung ist nach einem der beiden folgenden Verfahren vorzunehmen.

- Arithmetische Mittelung der Nachhallzeiten. Der räumliche Mittelwert wird erhalten, indem der Mittelwert der einzelnen Nachhallzeiten für alle unabhängigen Sender- und Mikrofonpositionen gebildet wird. Die Standardabweichung darf bestimmt werden, um ein Maß für die Genauigkeit und die räumliche Varianz der Nachhallzeit zu bieten.
- Scharmittelung der Abklingkurven. Die einzelnen Abklingvorgänge werden mit synchronisierten Anfangspunkten überlagert, siehe 5.2.2.

9 Auswertung

9.1 Tabellen und Kurven

Die für jede Messfrequenz ausgewerteten Nachhallzeiten sind in einer Tabelle anzugeben. Das Ergebnis darf auch in Form eines Diagramms dargestellt werden.

Im Falle eines Diagramms sollten entweder Geraden die Punkte verbinden, oder ein Säulendiagramm angewendet werden. Die Abszisse muss die Frequenz auf einer logarithmischen Skala darstellen, während die Ordinate entweder eine lineare Zeitskala mit einem Ursprung im Punkt Null oder eine logarithmische Skala aufweisen muss. Die Nennwerte der Bandmittelfrequenzen für Oktavbänder nach IEC 61260 sollten auf der Frequenzachse markiert werden.

In der Tabelle und im Diagramm muss deutlich angegeben werden, ob T_{20} oder T_{30} für die Nachhallzeit angewendet wurde.

9.2 Prüfbericht

Der Prüfbericht muss mindestens folgende Informationen enthalten:

- eine Aussage, dass die Messungen in Übereinstimmung mit diesem Teil von ISO 3382 durchgeführt wurden;
- alle notwendigen Informationen um den untersuchten Raum eindeutig zu bestimmen;
- Grundriss des Raumes mit Angabe des Maßstabs;
- Volumen des Raumes;

ANMERKUNG Falls es sich nicht um einen vollständig abgeschlossenen Raum handelt, ist zu erläutern, wie das angegebene Raumvolumen definiert wird.

- e) Bedingungen im Raum (Mobiliar, Anzahl der anwesenden Personen usw.);
- f) nur beim Präzisionsverfahren, die Temperatur und relative Luftfeuchte im Raum während der Messung;
- g) Art der Schallquelle;
- h) Beschreibung des eingesetzten Schallsignals;
- i) Grad der Genauigkeit (Kurzverfahren, Standardverfahren oder Präzisionsverfahren), einschließlich Einzelheiten zu den Sender- und Mikrofonpositionen, vorzugsweise in einem Plan zusammen mit einer Angabe der Höhe der Positionen dargestellt;
- j) Beschreibung des Messgeräts und der Mikrofone;
- k) Verfahren zur Auswertung der Abklingkurven, entweder mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate berechnete beste Anpassung oder visuell bestimmte beste Anpassung (Abschnitt 6);
- l) Verfahren zur Mittelung des Ergebnisses an jeder Position (5.2.2);
- m) Verfahren zur Mittelung des Ergebnisses über die Positionen (Abschnitt 8);
- n) Tabelle mit den Messergebnissen;
- o) Datum der Messung und Bezeichnung der die Messung durchführenden Organisation.

Anhang A (informativ)

Messunsicherheit

A.1 Allgemeines

Die Messunsicherheit der Messungen der Abklingrate wurde in [1] und [2] untersucht.

Die Abklingrate, d , in Dezibel je Sekunde, steht wie folgt mit der Nachhallzeit, T , in Sekunden, in Zusammenhang: $d = 60/T$. Die Messungen können an derselben Position wiederholt werden.

Die Varianz des Gesamtmittels $\text{var}(\bar{d})$ ist in Gleichung (A.1) festgelegt:

$$\text{var}(\bar{d}) = \frac{1}{N} \text{var}_s(d) + \frac{1}{N n} \text{var}_e(d) \quad (\text{A.1})$$

Dabei ist

n die Anzahl der an jeder Position gemessenen Abklingvorgänge;

N die Anzahl der unabhängigen Messpunkte;

$\text{var}_e(d)$ die Scharvarianz an einer Position;

$\text{var}_s(d)$ die räumliche Varianz.

Die relative Varianz der Nachhallzeit ist in Gleichung (A.2) festgelegt:

$$\frac{\text{var}(\bar{T})}{\bar{T}^2} = \frac{\text{var}(\bar{d})}{\bar{d}^2} \quad (\text{A.2})$$

Damit beträgt der geschätzte Variationskoeffizient der mittleren Nachhallzeit (auch als Standardunsicherheit bekannt):

$$\frac{\sigma(\bar{T})}{\bar{T}} = \sqrt{\frac{\text{var}(\bar{d})}{\bar{d}^2}} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sqrt{\frac{\text{var}_s(d)}{d^2} + \frac{\text{var}_e(d)}{n d^2}} \quad (\text{A.3})$$

A.2 Verfahren des abgeschalteten Rauschens

In [1] wurden die Scharvarianz und die räumliche Varianz für den Fall von Messungen unter Anwendung des Verfahrens des abgeschalteten Rauschens abgeleitet. Durch Einsetzen der Ergebnisse aus [1], Gleichungen (2.55) und (2.56), in Gleichung (A.3) ergibt sich Gleichung (A.4) um den geschätzten Variationskoeffizienten der mittleren Nachhallzeit zu erhalten:

$$\frac{\sigma(\bar{T})}{\bar{T}} = G \sqrt{\frac{1 + H / n}{N B T}} \quad (\text{A.4})$$

Dabei ist/sind

$\sigma(\bar{T})$ die Standardabweichung der mittleren Nachhallzeit, in Sekunden; und

B die Bandbreite, in Hertz;

G, H Konstanten, die vom Auswertungsbereich abhängig sind;

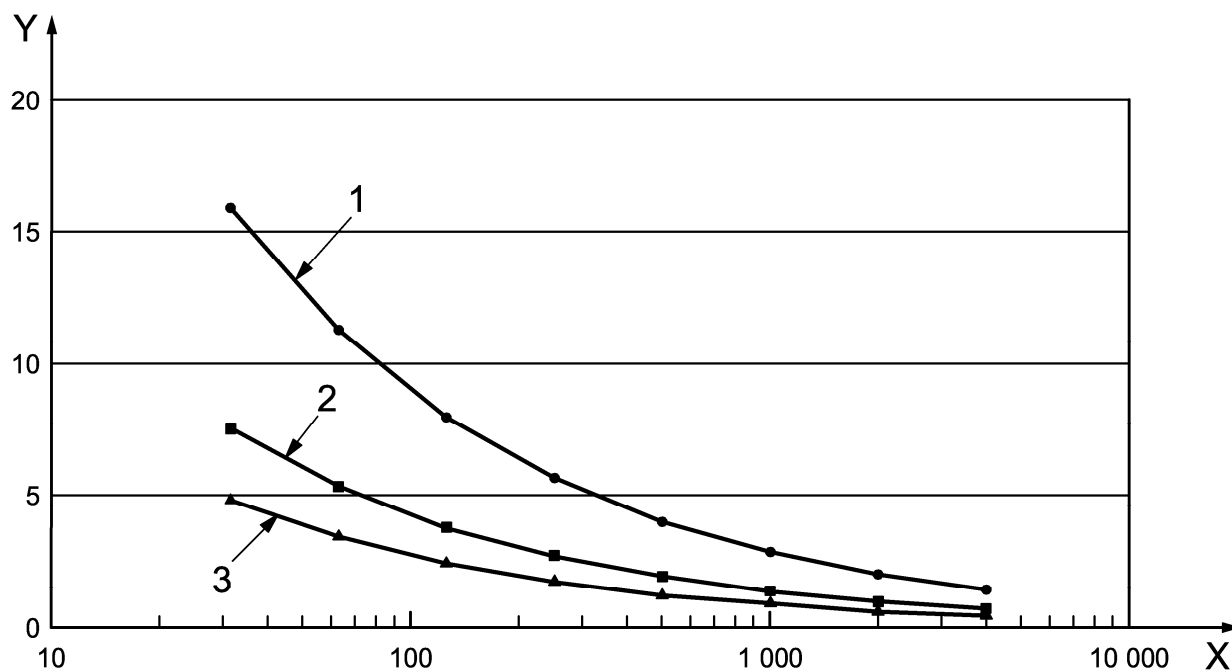
T die Nachhallzeit, in Sekunden.

Die Konstanten G und H hängen vom Auswertungsbereich D und einem Parameter $\gamma = T/T_{\text{det}}$ ab, der das Verhältnis zwischen gemessener Nachhallzeit und Nachhallzeit des Messgeräts darstellt. T_{det} ist die Nachhallzeit des mittelwertbildenden Detektors. Für einige typische Werte von D und γ können die Werte der Konstanten G und H aus Tabelle A.1 entnommen werden.

In den Gleichungen (2) und (3) ist $\gamma = 5$.

Tabelle A.1 — Werte der Konstanten G und H

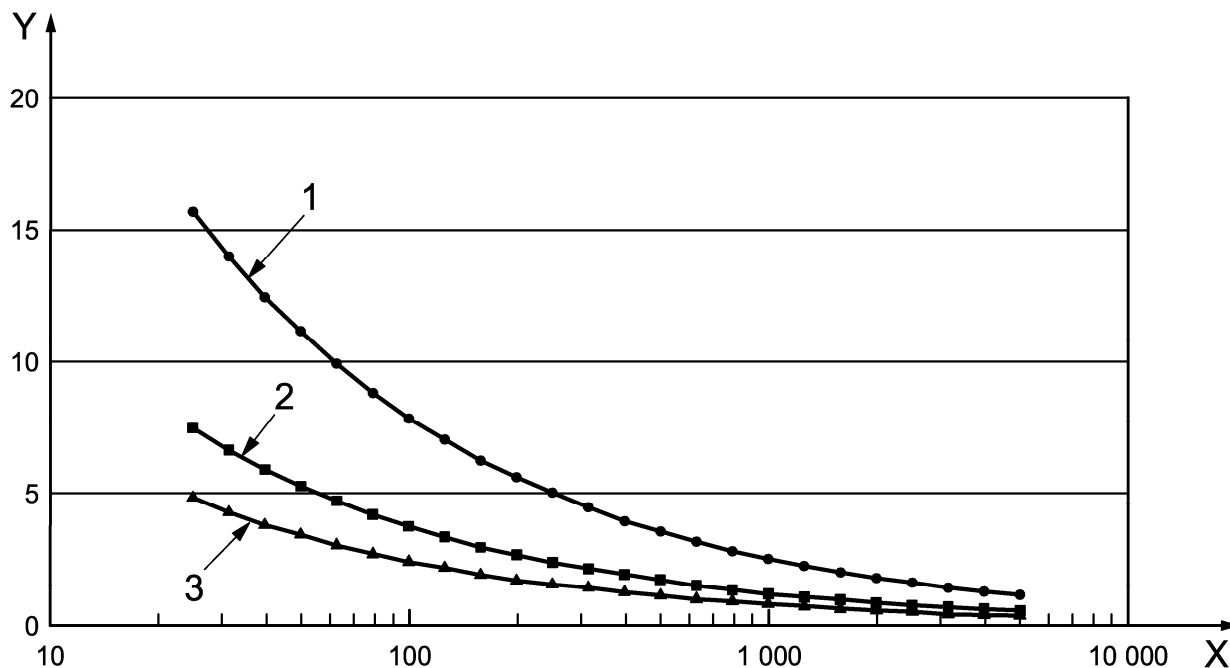
Auswertungsbereich, D dB	G %	H		
		$\gamma = 3$	$\gamma = 5$	$\gamma = 10$
10	175	2,67	3,32	3,87
20	88	1,72	1,90	2,04
30	55	1,42	1,52	1,59



Legende

- 1 Kurzverfahren
- 2 Standardverfahren
- 3 Präzisionsverfahren
- $\sigma(\bar{T}_{20})/\bar{T}_{20}$ Variationskoeffizient von T_{20} , %
- $f_c T_{20}$ Bandmittenfrequenz \times Nachhallzeit

Bild A.1 — Variationskoeffizient von \bar{T}_{20} in Oktavbändern als Funktion der Mittenfrequenz, multipliziert mit der Nachhallzeit. Die Kurven stellen das Kurzverfahren, das Standardverfahren und das Präzisionsverfahren dar



Legende

- 1 Kurzverfahren
- 2 Standardverfahren
- 3 Präzisionsverfahren
- $\sigma(\bar{T}_{20})/\bar{T}_{20}$ Variationskoeffizient, %
- $f_c T_{20}$ Bandmittenfrequenz \times Nachhallzeit

Bild A.2 — Variationskoeffizient von \bar{T}_{20} in Terzbändern als Funktion der Mittenfrequenz, multipliziert mit der Nachhallzeit. Die Kurven stellen das Kurzverfahren, das Standardverfahren und das Präzisionsverfahren dar

A.3 Verfahren der integrierten Impulsantwort

Für das Verfahren der integrierten Impulsantwort ist die Scharvarianz theoretisch $\text{var}_e(d) = 0$. Dies entspricht der Mittelung einer unendlichen Anzahl von Anregungen an derselben Position mit dem Verfahren des abgeschalteten Rauschens, siehe [2]. Für die Abschätzung der Standardabweichung eines Messergebnisses darf Gleichung (A.4) mit einem Wert von $n = 10$ angewendet werden.

Anhang B (informativ)

Auswertung nicht-linearer Abklingkurven

B.1 Allgemeines

Die Messung der Nachhallzeit beruht auf der Annahme, dass innerhalb des Auswertungsbereichs eine Gerade die Neigung der Abklingkurve annähernd beschreiben kann. Es kann nützlich sein, einige Informationen über das Maß zu besitzen, bis zu dem diese Annahme tatsächlich erfüllt ist. Zwei derartige Indikatoren werden in diesem Anhang vorgeschlagen.

B.2 Grad der Nichtlinearität

Sofern die Auswertung der Abklingkurve durch Anpassung einer Geraden mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate erfolgt, darf der folgende Parameter der Nichtlinearität berechnet werden. L_i ist als Pegel, in Dezibel, des Punktes Nummer i anzusetzen, \hat{L}_i ist der Schätzwert des Punktes Nummer i aus der linearen Regression, und der Mittelwert der Punkte, \bar{L} , ist in Gleichung (B.1) festgelegt:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad (\text{B.1})$$

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten, r , ist in Gleichung (B.2) festgelegt:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\hat{L}_i - \bar{L})^2}{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2} \quad (\text{B.2})$$

Das Quadrat des Korrelationskoeffizienten kann jeden Wert zwischen 0 und 1 aufweisen, und eine vollkommen gerade Abklingkurve entspricht $r^2 = 1$. Der Nichtlinearitätsparameter ξ wird als Abweichung in Promille von der vollkommenen Linearität eingeführt:

$$\xi = 1\,000 \times (1 - r^2) \quad (\text{B.3})$$

Typische Werte für ξ sind 0 ‰ bis 5 ‰. Werte höher als 10 ‰ weisen auf eine Abklingkurve hin, die weit von einer Geraden abweicht. In diesem Fall kann der mit Hilfe der Abklingkurve abgeschätzte Wert für die Nachhallzeit fragwürdig sein. Diese Werte gelten für schargemittelte Kurven und Kurven integrierter Impulsantworten; höhere Werte können bei einzelnen Abklingkurven auftreten.

B.3 Grad der Krümmung

Die in einem Raum gemessene Abklingkurve ist häufig leicht nicht-linear. Der anfängliche Teil des Abklingvorgangs verläuft typischerweise geringfügig steiler als der letzte Teil dieses Vorgangs. Der Grund dafür besteht darin, dass der Abklingvorgang eine Mischung aus Abklingarten mit unterschiedlicher Pegelabnahme darstellt. Sofern die Absorption nicht gleichmäßig über die Oberflächen des Raumes verteilt ist, können die Abklingarten eine sehr unterschiedliche Pegelabnahme aufweisen. Es ist offensichtlich, dass eine gekrümmte Abklingkurve bedeutet, dass die mit Hilfe der Messung bestimmte Nachhallzeit davon abhängt, welcher Teil der Abklingkurve genutzt wird. Folglich ist das Ergebnis weniger zuverlässig als bei einer linearen Abklingkurve.

Der Krümmungsparameter, C , beruht auf den beiden Auswertungsbereichen von 20 dB und 30 dB und wird als prozentuale Abweichung von einer vollkommenen Geraden eingeführt:

$$C = 100 \times \left(\frac{T_{30}}{T_{20}} - 1 \right) \quad (\text{B.4})$$

Typische Werte für C sind 0 % bis 5 %. Werte höher als 10 % weisen auf eine Abklingkurve hin, die stark von einer Geraden abweicht. In diesem Fall kann der mit Hilfe der Abklingkurve abgeschätzte Wert für die Nachhallzeit fragwürdig sein. Negative Werte sollten nicht auftreten, und sie können auf einen Fehler bei den Messungen hinweisen.

Anhang C (informativ)

Gleichungen für die Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate

Die Nachhallzeit darf durch Anwendung der linearen Regressionsanalyse und der Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate ausgewertet werden. Das bedeutet, dass sich die Abklingkurve einer Geraden annähert; \hat{L}_i , die Höhe der Regressionsgeraden bei der Probe i , in Dezibel, ist in Gleichung (C.1) festgelegt:

$$\hat{L}_i = a + bt_i \quad (\text{C.1})$$

Dabei ist

- a der Achsenabschnitt der Geraden, in Dezibel;
- b die geschätzte Steigung, in Dezibel je Sekunde;
- t_i die Zeit, in Sekunden, des Punkts i .

Entsprechend dem Verfahren der Anpassung mit Hilfe des Verfahrens der kleinsten Fehlerquadrate sind die Schätzwerte für den Achsenabschnitt und die Steigung wie folgt zu bestimmen:

$$a = \bar{L} - b\bar{t} \quad (\text{C.2})$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (t_i L_i) - m \bar{t} \bar{L}}{\sum_{i=1}^n (t_i^2) - m \bar{t}^2} \quad (\text{C.3})$$

Dabei ist

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \text{ dB} \quad (\text{C.4})$$

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (\text{C.5})$$

Der Schätzwert für die Nachhallzeit, \hat{T} , in Sekunden, beträgt:

$$\hat{T} = -60 / b \quad (\text{C.6})$$

Literaturhinweise

- [1] Davy, J. L., Dunn, I. P., Dubout, P. The Variance of Decay rates in Reverberation Rooms. *Acustica* 1979, **43**, S. 12–25
- [2] Davy, J. L. The Variance of Impulse Decays. *Acustica* 1980, **44**, S. 51–56
- [3] ISO 140 (alle Teile), *Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements*
- [4] ISO 354, *Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room*
- [5] ISO 3740, *Acoustics — Determination of sound power levels of noise sources — Guidelines for the use of basic standards*
- [6] ISO 10052, *Acoustics — Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound — Survey method*
- [7] ISO 80000-8, *Quantities and units — Part 8: Acoustics*