

DIN EN 60268-21

ICS 33.160.50

Einsprüche bis 2018-05-02

Entwurf

**Elektroakustische Geräte –
Teil 21: Akustische (ausgabebasierte) Messungen
(IEC 100/2957A/CDV:2017);
Deutsche und Englische Fassung prEN 60268-21:2017**

Sound system equipment –
Part 21: Acoustical (output based) measurements
(IEC 100/2957A/CDV:2017);
German and English version prEN 60268-21:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-03-02 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 dke@vde.com 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 die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

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 149 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE
DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 60268-21:2017 „Elektroakustische Geräte – Teil 21: Akustische (ausgabebasierte) Messungen“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (IEC) und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 100/2957A/CDV:2017 „Sound system equipment – Part 21: Acoustical (output based) measurements“ unverändert in den Entwurf prEN 60268-21:2017 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 100 „Audio, video and multimedia systems and equipment“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 742.5 „Lautsprecher“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

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

Elektroakustische Geräte – Teil 21: Akustische (ausgabebasierte) Messungen

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	2
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	10
4 Typbeschreibung	10
5 Physikalische Eigenschaften	10
5.1 Kennzeichnung der Anschlüsse und Steuerungen	10
5.2 Maße	10
5.3 Gewicht	10
5.4 Steckverbinder und Kabelsätze	10
6 Auslegungsdaten	10
7 Bedingungen	11
7.1 Bemessungsbedingungen	11
7.2 Klimatische Bedingungen	11
7.3 Normale Messbedingungen	11
8 Prüfsignale	12
8.1 Sinusförmiger Chirp	12
8.2 Stationäres Eintonsignal	12
8.3 Stationäres Zweitonsignal	13
8.4 Dünnbesetzter Mehrtonkomplex	13
8.5 Breitband-Rauschsignal	14
8.6 Schmalband-Rauschsignal	14
8.7 Hann-Burstsignal	14
8.8 Impulsartiges Signal	14
9 Akustische Umgebung	14
9.1 Freifeldbedingungen	14
9.2 Halbraum-Freifeldbedingungen	15
9.3 Simulierte Freifeldbedingungen	15
9.4 Simulierte Halbraum-Freifeldbedingungen	15
9.5 Bedingungen eines diffusen Schallfelds	15
9.6 Bedingungen der Zielanwendung	15
10 Positionierung des DUT	15
10.1 Geometrische Bemessungsbedingungen	15
10.1.1 Bezugsebene und Normalenvektor	16
10.1.2 Bezugspunkt	16

	Seite
10.1.3 Bezugsachse	16
10.1.4 Orientierungsvektor	17
10.1.5 Auswertungspunkt	17
10.1.6 Auswertungsabstand	17
10.2 Messabstand zwischen dem DUT und dem Mikrofon	18
10.2.1 Fernfeldbedingungen	18
10.2.2 Nahfeldbedingungen	18
10.2.3 Diffusfeldbedingungen	18
10.2.4 Bedingungen der Zielanwendung	19
11 Messeinrichtung und Prüfergebnisse	19
12 Genauigkeit der akustischen Messung	19
12.1 Messunsicherheit	19
13 Aufstellung des DUT	20
13.1 Aufstellung und akustische Last der Antriebseinheiten	20
13.2 Aufstellung und akustische Last eines elektroakustischen Systems	20
14 Vorbehandlung	21
15 Bemessungsumgebungsbedingungen	21
15.1 Temperaturbereiche	21
15.1.1 Leistungsbegrenzter Temperaturbereich	21
15.1.2 Schadensbegrenzter Temperaturbereich	21
15.2 Feuchtebereiche	21
15.2.1 Bereich der relativen Feuchte	21
15.2.2 Schadensbegrenzter Feuchtebereich	21
16 Bemessungsfrequenzbereich	22
16.1 Festzulegende Bedingungen	22
17 Eingangssignal	22
17.1 Höchster Bemessungseingangswert	22
17.1.1 Festzulegende Bedingung	22
17.1.2 Direkte Messung	22
17.1.3 Indirekte Messung auf Grundlage von SPL_{max}	23
17.2 Höchster Eingangspegel	24
18 Schalldruckausgabe	24
18.1 Höchster Bemessungsschalldruck	24
18.1.1 Festzulegende Bedingungen	24
18.1.2 Direkte Messung	25
18.1.3 Indirekte Messung auf Grundlage des höchsten Eingangswertes	26
18.2 Höchster Bemessungs-Schalldruckpegel	26
18.2.1 Festzulegende Bedingung	26

	Seite
18.3 Höchster Kurzzeit-Schalldruckpegel	26
18.3.1 Festzulegende Bedingungen	26
18.3.2 Messverfahren	27
18.4 Höchster Langzeit-Schalldruckpegel.....	27
18.4.1 Festzulegende Bedingungen	27
18.4.2 Messverfahren	28
18.5 Schalldruck in einem angegebenen Frequenzband.....	28
18.5.1 Festzulegende Bedingung	28
18.5.2 Messverfahren	28
18.6 Schalldruckpegel in einem angegebenen Frequenzband.....	29
18.6.1 Festzulegende Bedingung	29
18.7 Mittlerer Schalldruck in einem angegebenen Frequenzbereich.....	29
18.7.1 Festzulegende Bedingung	29
18.7.2 Messverfahren	29
18.8 Mittlerer Schalldruckpegel in einem angegebenen Frequenzbereich.....	29
18.8.1 Festzulegende Bedingung	29
19 Frequenzgang der Grundschiwingung.....	29
19.1 Übertragungsfunktion.....	29
19.1.1 Festzulegende Bedingungen	29
19.1.2 Messverfahren	30
19.2 SPL-Frequenzgang	31
19.2.1 Festzulegende Bedingungen	31
19.2.2 Messverfahren	31
19.3 Zeitabhängige Amplitudenkompression der Grundschiwingung	32
19.3.1 Messverfahren	32
19.4 Amplitudenkompression bei höchstem Eingangswert	32
19.4.1 Kurzzeit-Amplitudenkompression	32
19.4.2 Messverfahren	33
19.4.3 Langzeit-Amplitudenkompression	33
19.4.4 Messverfahren	33
19.5 Korrekturen auf Grundlage einer Freifeld-Bezugsmessung	33
19.5.1 Korrektur des gemessenen Schalldrucksignals	34
19.5.2 Korrektur des Amplitudengangs.....	35
19.6 Wirksamer Frequenzbereich	35
19.6.1 Festzulegende Bedingungen	35
19.6.2 Messverfahren	36
19.7 Interne Latenz	36
19.7.1 Festzulegende Bedingungen	36

	Seite
19.7.2 Messverfahren.....	36
20 Richtungskennwerte.....	36
20.1 Direktes Schallfeld im dreidimensionalen Raum.....	36
20.1.1 Direktionale Übertragungsfunktion.....	36
20.1.2 Extrapolierte Fernfelddaten.....	37
20.1.3 Parameter der holografischen Schallfeldausbreitung.....	37
20.1.4 Extrapolierte Nahfelddaten.....	39
20.2 Direktionale Fernfeld-Kenndaten.....	40
20.2.1 Richtungsfaktor.....	40
20.2.2 Richtungsmaß.....	41
20.2.3 Bündelungsgrad.....	41
20.2.4 Bündelungsmaß.....	42
20.3 Akustische Ausgangsleistung.....	43
20.3.1 Festzulegende Bedingungen.....	43
20.3.2 Messverfahren.....	43
20.4 Schallleistungspegel.....	44
20.4.1 Festzulegende Bedingungen.....	44
20.5 Mittlere akustische Ausgangsleistung in einem Frequenzband.....	45
20.5.1 Festzulegende Bedingungen.....	45
20.5.2 Messverfahren.....	45
20.6 Strahlungswinkel.....	45
20.6.1 Festzulegende Bedingungen.....	45
20.6.2 Messverfahren.....	45
20.7 Abstrahlwinkel.....	45
20.7.1 Festzulegende Bedingungen.....	45
20.7.2 Messverfahren.....	45
20.8 Mittlerer Schalldruckpegel in einer akustischen Zone.....	46
20.8.1 Messverfahren.....	46
21 Klirrfaktor.....	46
21.1 Einleitung.....	46
21.2 Oberschwingung N -ter Ordnung.....	46
21.2.1 Festzulegende Bedingungen.....	46
21.2.2 Messverfahren.....	47
21.3 Gesamtoberschwingungen.....	47
21.3.1 Festzulegende Bedingungen.....	47
21.3.2 Messverfahren.....	48
21.4 Gesamtklirrfaktor.....	48
21.4.1 Festzulegende Bedingungen.....	48

	Seite
21.4.2 Messverfahren	48
21.5 Klirrfaktor höherer Ordnung	49
21.5.1 Festzulegende Bedingungen	49
21.5.2 Messverfahren	49
21.6 Höchster Schalldruckpegel, der durch den Gesamtklirrfaktor begrenzt wird.....	50
21.6.1 Festzulegende Bedingungen	50
21.6.2 Messverfahren	50
21.7 Äquivalenter Eingangs-Klirrfaktor N -ter Ordnung.....	51
21.7.1 Festzulegende Bedingungen	51
21.7.2 Messverfahren	51
21.8 Äquivalenter Eingangs-Gesamtklirrfaktor	52
21.8.1 Festzulegende Bedingungen	52
21.8.2 Messverfahren	52
22 Zweiton-Intermodulationsverzerrung.....	53
22.1 Änderung der Anregungsfrequenzen	53
22.2 Intermodulationsverzerrung	53
22.2.1 Festzulegende Bedingungen	53
22.2.2 Messverfahren	53
22.3 Amplitudenmodulationsverzerrung.....	54
22.3.1 Festzulegende Bedingungen	54
22.3.2 Messverfahren	55
23 Mehrtonverzerrung	55
23.1 Festzulegende Bedingungen	55
23.2 Messverfahren.....	56
24 Impulsive Verzerrungen	57
24.1 Pegel impulsiver Verzerrungen	57
24.1.1 Festzulegende Bedingungen	57
24.1.2 Messverfahren	57
24.2 Größtes Verhältnis impulsiver Verzerrungen	58
24.2.1 Festzulegende Bedingungen	58
24.2.2 Messverfahren	58
24.3 Mittlerer Pegel impulsiver Verzerrungen	58
24.3.1 Festzulegende Bedingungen	58
24.3.2 Messverfahren	59
24.4 Crest-Faktor der impulsiven Verzerrungen	59
24.4.1 Festzulegende Bedingungen	59
24.4.2 Messverfahren	59
25 Magnetische Streufelder	59

	Seite
25.1 Statische Anteile	60
25.1.1 Festzulegender Kennwert	60
25.1.2 Messverfahren	60
25.2 Dynamische Anteile	60
25.2.1 Festzulegende Kennwerte	60
25.2.2 Messverfahren	61
Anhang A (normativ)	62
A.1 Aufstellung des Wandlers	62
A.1.1 Norm-Schallwand	62
A.1.2 Norm-Messgehäuse	64
A.1.2.1 Typ A	64
A.1.2.2 Typ B	65
A.2 Simuliertes Programmsignal	66
Anhang B (informativ)	69
B.1 Kugelwellenausbreitung	69
B.1.1 Koeffizienten der Kugelwellenausbreitung	69
B.1.2 Richtungsfaktor	69
B.1.3 Bündelungsgrad	70
B.1.3.1 Festzulegende Kennwerte	70
B.1.4 Akustische Ausgangsleistung	70
B.2 Äquivalenter Eingangs-Klirrfaktor	70
B.3 Zweiton-Intermodulation	71
B.4 In Audiosystemen erzeugte Signalverzerrung	73
B.5 Magnetisches Streufeld	74
B.6 Bemessung der Höchstwerte für Eingang und Ausgang	74
B.7 Analyse der Unsicherheit	76
Literaturhinweise	78
Bilder	
Bild 1 – Zur Beschreibung der Position des DUT im Koordinatensystem verwendete Bemessungsbedingungen	16
Bild 2 – Empfohlene Position und Ausrichtung des DUT	17
Bild 3 – Gültiger Bereich der Ausbreitung des Schalldrucks $p(r)$ am Beobachtungspunkt r in dem Abstand $r > a$	39
Bild 4 – Messung der von einem Mehrtonstimulus erzeugten Verzerrung	56
Bild 5 – Messung der impulsiven Verzerrungen	57
Bild A. 1 – Norm-Schallwand, Maße	62
Bild A. 2 – Norm-Schallwand mit Fase	63
Bild A. 3 – Norm-Schallwand mit Sub-Schallwand	64
Bild A. 4 – Norm-Messgehäuse vom Typ A (Nettovolumen etwa 600 l)	65

	Seite
Bild A. 5 – Norm-Messgehäuse vom Typ B (Nettovolumen etwa 450 l)	66
Bild A. 6 – Blockschaltbild der Prüfeinrichtung zum Erzeugen des simulierten Rauschsignals, das für das Prüfen passiver Lautsprechersysteme mit Netzfilter verwendet wird	66
Bild B. 1 – Signalflussdiagramm des elektroakustischen Systems	71
Bild B. 2 – Änderung der Frequenzen des Zweitonstimulus bei der Intermodulationsmessung.....	72
Bild B. 3 – Erzeugung der Signalverzerrung in Audiosystemen.....	73
Bild B. 4 – Einrichtung für die Messung des magnetischen Streufeldes.....	74
Bild B. 5 – Beziehung zwischen der Toleranz, den entsprechenden Akzeptanzintervallen und dem Grenzwert der Messunsicherheit U_{MAX}	76

Tabellen

Tabelle A. 1 – Leistungsspektrum des simulierten Programmsignals in 1/3-Oktavbändern.....	67
Tabelle B. 1 – Beispielhaftes Unsicherheitsbudget – akustische Lautsprecherauswertung.....	77

Einleitung

Lautsprecher, Kopfhörer und andere Aktoren werden immer vielseitiger, was bedeutet, dass neue Messtechniken zur Bewertung dieser Systeme benötigt werden. Im Folgenden ist eine Reihe von Beispielen angegeben, für die neue Messtechniken erforderlich sind:

- Eingeschränkter Zugang zu den elektrischen Anschlüssen des Wandlers

Durch eine stärkere Integration der elektrischen, akustischen und mechanischen Elemente wird der Zugang zu den elektrischen Anschlüssen des Wandlers eingeschränkt.

- Analoge oder digitale Audioeingangssignale

Audioeingänge können analoge und digitale Signale unterschiedlicher Formate aufnehmen.

- Latenz und andere Arten von Verzerrung, die mit der digitalen Signalverarbeitung zusammenhängen

Mittels der digitalen Signalverarbeitung wird zum einen das Übertragungsverhalten des passiven Systems korrigiert und zum anderen wird eine gewünschte Ausgabe erzeugt, sodass Latenz und andere Arten von Verzerrung, die bei analogen Geräten nicht auftreten, erzeugt werden können.

- Übermäßige Entzerrung

Eine übermäßige Entzerrung kann dazu führen, dass der Wandler dazu gezwungen ist, im Großsignalbereich zu arbeiten, wodurch thermische und nichtlineare Effekte verursacht werden.

- Aktiver Schutz

Beim aktiven Schutz wird das Eingangssignal gedämpft, um eine mechanische und thermische Überlastung des Wandlers und anderer Bauteile zu verhindern.

- Andere Wandlerprinzipien

Wenngleich bei den meisten Lautsprechersystemen eine sich bewegende Spule in einem elektrodynamischen Wandler zum Einsatz kommt, so gibt es doch einen Bedarf dafür, die Anwendung auf elektrostatische, elektromagnetische und andere Wandlungsprinzipien auszuweiten.

- Andere mechanische und akustische Elemente

Um die Klangabstrahlung zu verbessern, werden ventilierte Gehäuse, geschlossene Gehäuse, Passivstrahler, Hörner, Wellenleiter, Flat Panels und andere mechanische und akustische Elemente eingebaut.

- Impulsive Verzerrungen

Herstellungsmängel (z. B. Reiben der Schwingspule) oder der Betrieb bei Übersteuerung können zu impulsiven Verzerrungen führen, die einen starken Einfluss auf die wahrgenommene Klangqualität haben, mittels herkömmlicher Messungen (z. B. Gesamtklirrfaktor) jedoch nicht erfasst werden können.

- Richtungseigenschaften und komplexe Nahfeldeigenschaften

Indem zusätzlich zu den vorhandenen Fernfeldmessungen auch die komplexen Nahfeldeigenschaften berücksichtigt werden, können auch professionelle Geräte, einschließlich der Richtungseigenschaften, umfassend bewertet werden. Darüber hinaus müssen Geräte, die für die Verwendung im Nahfeld vorgesehen sind, wie beispielsweise handgeführte Audiogeräte (z. B. Laptops, Tablets oder Smartphones) und andere tragbare Schallsysteme unter Berücksichtigung ihrer vorgesehenen Verwendung bewertet werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt akustische Messverfahren für elektroakustische Wandler sowie passive und aktive Schallsysteme wie z. B. Lautsprecher, Fernsehempfänger, Multimediageräte, persönliche tragbare Audiogeräte, Schallsysteme für Fahrzeuge und professionelle Geräte fest. Das zu prüfende Gerät (en: device under test; DUT) kann elektrische Bauteile umfassen, die eine analoge oder digitale Signalverarbeitung vornehmen, bevor die passiven Aktoren die elektrischen Eingaben in ein akustisches Ausgangssignal wandeln. Die Norm beschreibt nur physikalische Messungen, mit denen das Übertragungsverhalten des DUT zwischen einem beliebigen analogen oder digitalen Eingangssignal und der akustischen Ausgabe an einem beliebigen Punkt im Nah- und Fernfeld des Systems bewertet wird. Dies betrifft den Betrieb des DUT im Klein- ebenso wie im Großsignalbereich. Der Einfluss der akustischen Grenzen auf die Zielanwendung (z. B. der Innenraum eines Autos) kann bei der physikalischen Bewertung des Schallsystems ebenso berücksichtigt werden. Die Norm nimmt keine Bewertung der Wahrnehmung und kognitiven Auswertung des wiedergegebenen Klangs oder der Auswirkungen auf die wahrgenommene Klangqualität vor.

ANMERKUNG Einige der in dieser Norm definierten Messverfahren können in Übereinstimmung mit IEC 60268-7 auch auf Kopfhörer, Hör-Sprech-Garnituren, Ohrhörer und Ohrhörer-Sprech-Garnituren angewendet werden. Diese Norm gilt nicht für Mikrofone und andere Sensoren. Diese Norm erfordert keinen Zugang zu den Netzvariablen (Spannung, Strom) an den elektrischen Anschlüssen des Wandlers. Die Empfindlichkeit, die elektrische Eingangsleistung und andere auf der elektrischen Impedanz beruhende Kennwerte werden in einem eigenen Normdokument, IEC 60268-Xb, beschrieben, das elektrische und mechanische Messungen behandeln wird.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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).

IEC 60263, *Scales and sizes for plotting frequency characteristics and polar diagrams*

IEC 60268-1, *Sound system equipment – Part 1: General*

IEC 60268-2, *Sound system equipment – Part 2: Explanation of general terms and calculation methods*

IEC 61094-4, *Measurement microphones – Part 4: Specifications for working standard microphones*

IEC 60268-7:2010 *Sound system equipment – Part 7: Headphones and earphones*

IEC 61260-1:2014, *Electroacoustics – Octave-band and fractional-octave-band filters – Part 1: Specifications*

ISO 3, *Preferred numbers – Series of preferred numbers*

ISO 3741, *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation test rooms*

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

IEC 62777, *“Quality evaluation method for the sound field of directional loudspeaker array system, Standard of the International Electrotechnical Commission, 2016*

CTA 2034-A *Standard Method of Measurement for In-Home Loudspeakers, Consumer Technology Association (Formerly CEA), 02/01/2015*

CTA 2010-B *Standard Method of Measurement for Powered Subwoofers, standard by Consumer Technology Association (Formerly CEA), 11/28/2014.*

ANMERKUNG Informative Referenzen sind in den Literaturinweisen aufgelistet

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC unterhalten Terminologie-Datenbanken zur Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen:

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

3.1 DUT

Die Abkürzung „DUT“ steht für „device under test“, also das zu prüfende Gerät.

4 Typbeschreibung

Die Typbeschreibung muss vom Hersteller bereitgestellt werden und die folgenden Informationen umfassen:

- Typ, Prinzipien und Anzahl der in dem Lautsprechersystem verwendeten Wandler
- akustische Last (z. B. Gehäuse, Horn, Bassreflex, Säule, Lautsprecherzeilen,...)
- Leistungsverstärkung
- DSP-Verarbeitung (z. B. Entzerrer, aktiver Schutz)

5 Physikalische Eigenschaften

5.1 Kennzeichnung der Anschlüsse und Steuerungen

Die Anschlüsse und Steuerungen müssen nach IEC 60268-1 und IEC 60268-2 gekennzeichnet werden.

5.2 Maße

Die Außenmaße des DUT nach IEC 60268-14 müssen festgelegt werden.

5.3 Gewicht

Das Gesamtgewicht des betriebsbereiten DUT muss festgelegt werden.

5.4 Steckverbinder und Kabelsätze

Die Kabelsätze und Steckverbinder müssen IEC 60268-11 und IEC 60268-12 entsprechen.

ANMERKUNG Unter bestimmten Bedingungen sind die derzeit genormten Steckverbinder nicht geeignet, sodass die Verwendung anderer Typen unvermeidbar ist.

6 Auslegungsdaten

Weitere Auslegungsdaten müssen als Zusatzinformationen festgelegt werden, z. B.:

- Typ des Wandlungsprinzips;
- Anzahl der Wandler (Antriebseinheiten);
- digitale Verarbeitung des Audiosignals (Entzerrung, Linearisierung, aktiver Schutz).

7 Bedingungen

7.1 Bemessungsbedingungen

Im Sinne der praktischen Umsetzung legt diese Norm fest, wie das elektroakustische Gerät für die Messung aufzustellen ist. In der vorliegenden Norm werden die normalen Messbedingungen definiert. Um die tatsächlichen Messbedingungen herzustellen, müssen einige Werte (die als „Bemessungsbedingungen“ bezeichnet werden) den Festlegungen des Herstellers entnommen werden.

Diese Bemessungsbedingungen sind selbst nicht Gegenstand der Messung, sondern bilden die Grundlage für die Durchführung der Messungen zur Bestimmung der anderen Kennwerte.

Hierzu gehören die folgenden Bemessungsbedingungen; diese sind vom Hersteller anzugeben:

- höchster Bemessungs-Schalldruck-Ausgangswert oder höchster Bemessungs-Eingangswert
- Bemessungsfrequenzbereich
- geometrische Bedingungen nach 10.1
- Umgebungsbedingungen nach Abschnitt 15

7.2 Klimatische Bedingungen

IEC 60268-1 besagt, dass die Prüfungen in der folgenden Umgebung durchgeführt werden sollten, um solche Einflüsse von Temperatur und Feuchte, welche die Eigenschaften der Aufhängung der Antriebseinheit beeinträchtigen können, zu vermeiden.

- Umgebungstemperatur T_{norm} : 15 °C ~ 35 °C
- relative Luftfeuchte: 25 % ~ 75 %
- Luftdruck: 86 kPa ~ 106 kPa

7.3 Normale Messbedingungen

Die Bedingungen, unter denen die Messungen an dem DUT durchgeführt werden, gelten als normal, wenn alle folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- a) Das zu messende DUT wurde nach Abschnitt 13 montiert.
- b) Die akustische Umgebung wurde festgelegt und aus den in Abschnitt 9 angegebenen Bedingungen ausgewählt.
- c) Unerwünschte akustische Signale, elektrische Signale und von anderen Quellen erzeugtes Rauschen müssen auf den kleinstmöglichen Pegeln gehalten werden, da sie Kleinsignale verdecken können. Daten, die zu Signalen gehören, welche weniger als 20 dB oberhalb des Rauschpegels im betrachteten Frequenzband liegen, müssen verworfen oder als rauschbehaftet gekennzeichnet werden.
- d) Die Positionierung des DUT im Verhältnis zum Messmikrofon und den Wänden erfolgt nach Abschnitt 10.
- e) Das DUT wird nach IEC 60268-1 an die Umgebungsbedingung akklimatisiert oder das DUT verfügt über eine definierte Arbeitstemperatur, die typisch für die Zielanwendung ist und durch Messung der Kompression nach 19.4 ermittelt wird.

ANMERKUNG Der Einfluss der atmosphärischen Umgebungsbedingungen auf akustische Messungen wird in [17] ausführlicher behandelt.

- f) Wenn die Kompression $C > 0,5$ dB nach 19.4, sind zwischen aufeinanderfolgenden Prüfungen zusätzliche Kühlphasen erforderlich.
- g) Dem DUT wird bei einem festgelegten effektiven Eingangswert $\tilde{u}$ für den Bemessungsfrequenzbereich nach Abschnitt 16 ein Prüfsignal mit festgelegten Eigenschaften (Spektrum, Dauer usw.) nach Abschnitt 8 zugeführt.

- h) Abschwächer, Entzerrer und dynamische oder andere aktive Steuerelemente müssen auf ihre „Normalstellung“ entsprechend der Angabe des Herstellers gestellt werden. Wenn andere Stellungen gewählt werden, beispielsweise solche, die für einen maximal flachen Frequenzgang oder die kleinste Dämpfung sorgen, müssen diese festgelegt werden.
- i) Es wird eine Messeinrichtung, die zur Ermittlung der betrachteten Kennwerte geeignet ist, nach Abschnitt 11 angeschlossen.

8 Prüfsignale

Bei einigen Messungen kann ein beliebiges Audiosignal $x(t)$ als Eingangssignal (Stimulus) an das zu prüfende elektroakustische Gerät (DUT) angelegt werden, wohingegen bei anderen Messtechniken die folgenden Prüfsignale verwendet werden.

8.1 Sinusförmiger Chirp

Der transiente sinusförmige Chirp (gleitender Ton, Gleitsinus) wird definiert als

$$x_c(t) = \sqrt{2}A(f(t))\cos(2\pi(t)t) \quad (1)$$

Dabei ist die Amplitude $A(f(t))$ abhängig von der Momentanfrequenz

$$f(t) = f_{\text{start}} 2^{\beta t} \quad 0 \leq t \leq T_s \quad (2)$$

welche logarithmisch mit der Zeit von der Startfrequenz f_{start} zur Endfrequenz f_{end} während der Länge des Gleitsinus T_s , welche typischerweise $0,2 \text{ s} < T_s < 10 \text{ s}$ beträgt, schwankt. Der Parameter der Geschwindigkeit der Veränderung der Momentanfrequenz

$$\beta = \frac{1}{T_s} \log_2 \left(\frac{f_{\text{end}}}{f_{\text{start}}} \right) \quad (3)$$

beschreibt die Zeit, die erforderlich ist, um die Momentanfrequenz zu verdoppeln.

ANMERKUNG Es kann ein konstanter Wert auf die Amplitude $A(f(t))$ angewendet werden, eine mit der Frequenz schwankende Amplitude kann in bestimmten Frequenzbändern jedoch dazu verwendet werden, das DUT zu schützen. Ultraschnelle Messungen, wie sie manchmal bei End-of-Line-Prüfungen erforderlich sind, erfordern andere Chirp-Signale, bei denen auch die Geschwindigkeit der Veränderung der Momentanfrequenz $\beta(f)$ des momentanen Sinussignals mit der Frequenz f schwankt. Das Profil mit schwankender Geschwindigkeit kann zur Realisierung eines gewünschten Leistungsdichtespektrums des Stimulus und zur Bereitstellung der notwendigen Genauigkeit für das betrachtete Frequenzband und eines gewünschten Scheitelwertes des Signals $x_c(t)$ genutzt werden.

8.2 Stationäres Eintonsignal

Das elektroakustische System wird von einem einzelnen Ton

$$x_s(t) = \sqrt{2} \cos(2\pi f_1 t) \quad 0 \leq t \leq T_p + T_M = \frac{N_P + N_M}{f_1} \quad (4)$$

der definierten Frequenz f_1 angeregt. Gefordert wird, dass die Vor-Anregungszeit $T_p = N_P/f_1$, die einer Anzahl von Perioden $N_P > 5$ entspricht, die stationäre Bedingung des elektroakustischen Systems erzeugt. Die Messzeit

$$T_M = \frac{N_M}{f_1} \quad (5)$$

mit einer Anzahl von Perioden $N_M \geq 1$ wird für die zeitliche Mittelung und die zeitdiskrete Signalverarbeitung empfohlen.

8.3 Stationäres Zweitonsignal

Das elektroakustische System wird von zwei Tönen

$$x_t(t) = \sqrt{\frac{2}{A_1^2 + A_2^2}} (A_1 \cos(2\pi f_1 t) + A_2 \cos(2\pi f_2 t)) \quad 0 \leq t \leq (T_P + T_M) \quad (6)$$

mit den definierten Frequenzen $f_1 < f_2$ und der Amplitudenskalierung A_1 und A_2 angeregt. Gefordert wird, dass die Vor-Anregungszeit $T_P = N_P / f_1$, die einer Mindestanzahl von Wiederholungen $N_P > 5$ entspricht, die stationäre Bedingung des DUT erzeugt. Die Messzeit

$$T_M = \frac{N_M}{f_1 f_2} 1 \text{ Hz} \quad (7)$$

die einer gegebenen Anzahl von Wiederholungen $N_M \geq 1$ entspricht, besteht aus einer ganzen Zahl an Perioden beider Töne. Dies wird für die zeitliche Mittelung und die zeitdiskrete Signalverarbeitung empfohlen.

8.4 Dünnbesetzter Mehrtonkomplex

Der Mehrtonkomplex, der definiert wird durch

$$x_m(t) = \sqrt{\frac{2}{\sum_{i=0}^N A(f_i)^2}} \sum_{i=0}^N A(f_i) \cos(2\pi f_i t + \varphi_i) \quad 0 < t \leq T_P + T_M \quad (8)$$

umfasst mehrere $(N+1)$ Sinustöne mit einer Amplitude $A(f_i)$ bei logarithmisch verteilten Frequenzen

$$f_i = f_b \text{int}\left(T \cdot f_0 \cdot 2^{i/R}\right) \text{ mit } i = 0, \dots, N \quad (9)$$

zwischen dem niedrigsten Ton f_0 und dem höchsten Ton f_N bei Vielfachen der Grundfrequenz f_b . Die Grundfrequenz f_b , die definiert wird durch

$$f_b = \frac{1}{T} = \frac{f_s}{N_{FT}} \quad (10)$$

entspricht der kleinsten Länge T des Mehrtonkomplexes, der Abtastfrequenz f_s und der Größe N_{FT} der Fourier-Transformierten (DFT oder FFT) zur Vermeidung des Nachziehens („Smearing“) der Grundtöne über mehrere Frequenz-Bins.

Der Parameter der Auflösung R beschreibt die Anzahl der Töne je Oktave. Die Töne haben eine pseudo-zufällige Phase

$$\begin{aligned} \varphi_i &= \frac{2\pi}{m} n_i \quad \text{für } i = 0, \dots, N \\ &\text{mit} \\ n_i &= (a n_{i-1} + c) \bmod_m \quad \text{für } i = 1, \dots, N \end{aligned} \quad (11)$$

die eine deterministische Wellenform des Stimulus erzeugt [25].

ANMERKUNG Die Phasen der niederfrequenten Töne bestimmen die Wellenform der Schwingspulenauslenkung, welche einen starken Einfluss auf die nichtlineare Verzerrung durch Nichtlinearitäten von Motor und Aufhängung hat.

Der Moduloparameter m wird üblicherweise durch die verwendete digitale Wortgröße (en: digital word size) definiert. Die anderen freien Parameter a , c und der Startwert n_0 (Ausgangswert) müssen positiv und kleiner als m sein. Eine Veränderung dieser Parameter beeinträchtigt die Zufälligkeit der erzeugten Phasen und damit den Crest-Faktor des resultierenden Zeitsignals. Der Crest-Faktor darf für einen bestimmten Frequenzbereich, eine bestimmte Signallänge und eine bestimmte Auflösung optimiert werden. Angemessene Standardwerte sind $a = 843314861$, $c = 453816693$, $m = 2^{31}$ und $n_0 = 0$. Wenn andere Parameter verwendet werden, müssen diese angegeben werden.

Die Moduloberechnung muss exakt und ohne Rundungsfehler erfolgen. Für die gegebenen Parameter lässt sich dies erreichen, indem als Datentyp ein vorzeichenloser 32-Bit-Integer verwendet wird.

Gefordert wird, dass die Vor-Anregungszeit T_p mit $0,5 T < T_p < T$ die stationäre Bedingung des geprüften elektroakustischen Systems sicherstellt. Die Messzeit $T_M = N_M T$ mit einer ganzzahligen Anzahl von Wiederholungen $N_M \geq 1$ wird für die zeitliche Mittelung und die Fourier-Analyse empfohlen.

8.5 Breitband-Rauschsignal

Nach Definition in IEC 60268-2, 1.4

8.6 Schmalband-Rauschsignal

Nach Definition in IEC 60268-2, 1.4

8.7 Hann-Burstsignal

Das Hann-Burstsignal

$$x_b(t) = \begin{cases} \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi f_0 t}{6,5}\right) \frac{\sin(2\pi f_0 t)}{2}\right) & \text{für } 0 \leq t \leq 6,5 / f_0 \\ 0 & \text{, andernfalls} \end{cases} \quad (12)$$

ist definiert als das Zeitprodukt aus einer kontinuierlichen Sinuswelle der Frequenz f_0 und einem Hann-Fenster mit einer Länge von 6,5 Zyklen, wodurch eine Bandbreite von einem Drittel einer Oktave erzeugt wird [24].

8.8 Impulsartiges Signal

Nach Definition in IEC 60268-2.

9 Akustische Umgebung

Die akustischen Messungen müssen unter einer der in den folgenden Unterabschnitten aufgeführten Bedingungen erfolgen. Es muss angegeben werden, welche akustische Umgebung verwendet wird.

9.1 Freifeldbedingungen

Es dürfen akustische Bedingungen zum Einsatz kommen, die annäherungsweise denen eines freien Raums entsprechen. Eine Umgebung gilt dann als zufriedenstellend, wenn die reflektierten Schallanteile so hinreichend unterdrückt werden, dass eine Messunsicherheit von $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phasenwerte bei der festgelegten Frequenz sichergestellt ist. Wenn die Umgebung (z. B. reflexionsfreier Raum bei niedrigen Frequenzen) diese Freifeldbedingungen nicht über den gesamten

Bemessungsfrequenzbereich der Messung erfüllt, muss der Hersteller den gültigen Frequenzbereich angeben.

Der Amplitudengang darf nach 19.5 korrigiert werden, wenn die Freifeldbedingungen nicht erfüllt sind. Wenn eine Korrektur vorgenommen wird, so muss diese angegeben werden.

9.2 Halbraum-Freifeldbedingungen

Es dürfen akustische Bedingungen zum Einsatz kommen, bei denen das Freifeld, nach 9.1, in einem Halbraum vorliegt. Diese Bedingungen sind mit einer reflektierenden, ausreichend großen Ebene hinreichend erfüllt. Reflexionen des abgestrahlten Schalls an anderen Reflexionsflächen (z. B. Wänden) müssen so hinreichend unterdrückt werden, dass eine Messunsicherheit von $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phasenwerte bei der festgelegten Frequenz sichergestellt ist. Wenn die Umgebung (z. B. reflexionsfreier Raum bei niedrigen Frequenzen) diese Freifeldbedingungen nicht über den gesamten Bemessungsfrequenzbereich der Messung erfüllt, muss der Hersteller den gültigen Frequenzbereich angeben.

9.3 Simulierte Freifeldbedingungen

Die akustischen Bedingungen einer Umgebung (z. B. nichtreflexionsfreier Raum) gelten als zufriedenstellend, wenn der direkte Schall, der vom DUT abgestrahlt wird, mittels Messtechniken wie der Fensterung der Impulsantwort, der Wellentrennung oder der akustischen Holografie von den Raumreflexionen getrennt wird. Diese Messtechniken müssen eine Messunsicherheit von $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phasenwerte bei der festgelegten Frequenz sicherstellen. Die Frequenzauflösung $\Delta f = 1/T$, wobei T die effektive oder abgeschnittene Länge der Impulsantwort ist, wenn die simulierten Freifeldbedingungen erfüllt sind; jedwede anderen Einschränkungen, welche die Messergebnisse beeinträchtigen, müssen angegeben werden.

ANMERKUNG Bei der Fensterungstechnik werden störende Raumreflexionen in der Impulsantwort ausgeblendet, wobei die effektive Frequenzauflösung reduziert wird. Eine Verlängerung der abgeschnittenen Impulsantwort durch ein Auffüllen mit Nullen (en: zero padding) erhöht die Frequenzauflösung zwar virtuell, liefert jedoch keine zusätzlichen Informationen.

9.4 Simulierte Halbraum-Freifeldbedingungen

Akustische Bedingungen nach 9.3, bei denen das zu prüfende Gerät auf einer reflektierenden, ausreichend großen Ebene aufgestellt wird.

9.5 Bedingungen eines diffusen Schallfelds

Für Messungen, die rosa Rauschen und 1/3-Oktavband-Analysen nach Definition und Festlegung in ISO 3741 verwenden, dürfen Bedingungen eines diffusen Schallfelds verwendet werden. Die untere Grenzfrequenz muss nach ISO 3741, Anhang A, ermittelt werden.

9.6 Bedingungen der Zielanwendung

Akustische Bedingungen, die der Zielanwendung des zu prüfenden Geräts entsprechen (z. B. ein in einem Auto montiertes Schallsystem).

10 Positionierung des DUT

10.1 Geometrische Bemessungsbedingungen

Wie in Bild 1 dargestellt, müssen Position und Ausrichtung des DUT mithilfe der Bezugsebene mit dem Normalenvektor $\mathbf{n}_{ref}$, dem Bezugspunkt $\mathbf{r}_{ref}$, der Bezugsachse und dem Orientierungsvektor $\mathbf{o}_{ref}$ angegeben werden. Darüber hinaus müssen, wie in Bild 2 dargestellt, der Auswertungspunkt und der Auswertungsabstand angegeben werden.

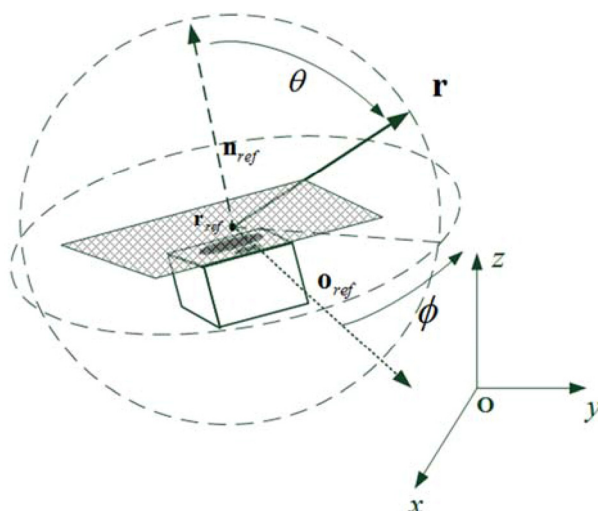


**Bild 1 – Zur Beschreibung der Position des DUT im Koordinatensystem
verwendete Bemessungsbedingungen**

10.1.1 Bezugsebene und Normalenvektor

10.1.1.1 Festzulegende Bedingung

Die Bezugsebene mit dem Normalenvektor $\mathbf{n}_{ref}$ muss zur Definition der Bezugsachse und des Bezugspunktes $\mathbf{r}_{ref}$ verwendet werden. Der Normalenvektor $\mathbf{n}_{ref}$ definiert auch den Polarwinkel $\theta = 0$ in Kugelkoordinaten.

ANMERKUNG Bei symmetrischen Strukturen verläuft die Bezugsebene üblicherweise parallel zur Abstrahlfläche oder zu einer Ebene, welche die Vorderseite des DUT definiert. Bei asymmetrischen Strukturen lässt sich die Bezugsebene besser mithilfe eines Diagramms darstellen.

10.1.2 Bezugspunkt

10.1.2.1 Festzulegende Bedingung

Ein Punkt auf der Bezugsebene. Die Position des Bezugspunktes $\mathbf{r}_{ref}$ muss vom Hersteller festgelegt werden.

ANMERKUNG Bei symmetrischen Strukturen ist der Bezugspunkt $\mathbf{r}_{ref}$ üblicherweise der Punkt der Achsensymmetrie des Strahlers innerhalb der Bezugsebene; bei asymmetrischen Strukturen lässt sich der Bezugspunkt besser anhand eines Diagramms darstellen.

Für Richtungsmessungen, bei denen eine Rotation des DUT durchgeführt wird, ist der Bezugspunkt identisch mit dem Rotationspunkt (en: point of rotation; POR) und wird üblicherweise nahe dem oder identisch mit dem Schwerpunkt (en: centre of gravity; COG) des DUT gewählt.

10.1.3 Bezugsachse

10.1.3.1 Festzulegende Bedingung

Die Linie, welche die Bezugsebene am Bezugspunkt schneidet; ihre Richtung ist vom Hersteller festzulegen. Die Bezugsachse muss als die Null-Bezugsachse für Richtungs- und Frequenzgangmessungen verwendet werden.

10.1.4 Orientierungsvektor

10.1.4.1 Festzulegende Bedingung

Der Orientierungsvektor $\mathbf{o}_{ref}$ definiert die Ausrichtung des Schallsystems innerhalb der Bezugsebene und die Richtung des Azimutwinkels $\phi = 0$ in Kugelkoordinaten.

ANMERKUNG Der bevorzugte Orientierungsvektor platziert den Bezugspunkt $\mathbf{r}_{ref}$ am Ursprung O des Koordinatensystems, wobei der Normalenvektor $\mathbf{n}_{ref}$ der Bezugsebene in die z-Richtung zeigt, in der der Polarwinkel $\theta = 0$ ist, und wobei das Audiosystem so gedreht wird, dass der Orientierungsvektor $\mathbf{o}_{ref}$ (z. B. oberer Teil des Gehäuses) wie in Bild 2 dargestellt in die x-Richtung zeigt. Dadurch lässt sich die Beziehung zwischen den sphärischen und den kartesischen Koordinaten ausdrücken als

$$r = x\vec{e}_x + y\vec{e}_y + z\vec{e}_z = r \cos\phi \sin\theta \vec{e}_x + r \sin\phi \sin\theta \vec{e}_y + r \cos\theta \vec{e}_z \quad (13)$$

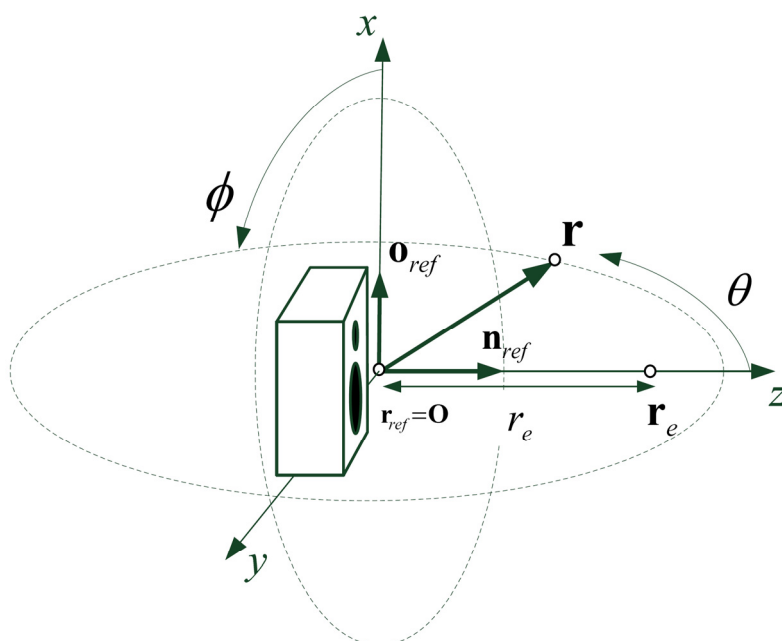


Bild 2 – Empfohlene Position und Ausrichtung des DUT

10.1.5 Auswertungspunkt

10.1.5.1 Festzulegende Bedingung

Der vom Hersteller festgelegte Auswertungspunkt $\mathbf{r}_e$ ist die Position, an der der höchste Bemessungs-Schalldruckpegel SPL_{max} ermittelt wird. Der Auswertungspunkt $\mathbf{r}_e$ muss auf der Bezugsachse liegen.

ANMERKUNG Der Auswertungspunkt ist ein bestimmter Messpunkt, der für die Kalibrierung des höchsten Eingangswertes u_{max} und des höchsten Ausgangspegels SPL_{max} nach Abschnitt 17 und Abschnitt 18 erforderlich ist. Idealerweise wird der Auswertungspunkt durch den Auswertungsabstand im Fernfeld des DUT platziert (siehe 10.2.1).

10.1.6 Auswertungsabstand

Der Auswertungsabstand $r_e = |\mathbf{r}_e - \mathbf{r}_{ref}|$ ist der Abstand zwischen dem Auswertungspunkt $\mathbf{r}_e$ und dem Bezugspunkt $\mathbf{r}_{ref}$.

ANMERKUNG Der Auswertungsabstand r_e hängt von den Maßen des DUT ab, die typischerweise 1 m betragen, aber bei Mikrolautsprechern kleiner und bei Lautsprecherzeilen (größer) sind. Idealerweise wird der Auswertungspunkt durch den Auswertungsabstand im Fernfeld des DUT platziert (siehe 10.2.1).

10.2 Messabstand zwischen dem DUT und dem Mikrofon

10.2.1 Fernfeldbedingungen

Messungen unter Freifeldbedingungen und Halbraumbedingungen müssen idealerweise im Fernfeld des DUT in einem Abstand von $r > r_{far}$ durchgeführt werden, wo der Schalldruck mit dem Abstand r entsprechend der $1/r$ -Gesetzmäßigkeit abnimmt. Der Standort im Fernfeld wird ermittelt, wenn die drei folgenden Bedingungen erfüllt sind:

- 1) Der Abstand r ist deutlich größer als die geometrische Dimension d des DUT.
- 2) Der Abstand r ist deutlich größer als die Wellenlänge λ .
- 3) Das Verhältnis zwischen dem Abstand r und der Dimension d ist deutlich größer als das Verhältnis zwischen der Dimension d und der Wellenlänge λ ($r/d \gg d/\lambda$).

In der Praxis wird der nutzbare Abstand r jedoch durch Einschränkungen der Messumgebung (z. B. Maße des Raums) und die Effekte des Eigengeräuschs nach oben hin begrenzt.

Bei Messungen unter simulierten Freifeldbedingungen müssen das Mikrofon und das DUT innerhalb der Messeinrichtung so positioniert werden, dass die Zeit, die die erste unerwünschte Reflexion benötigt, um das Mikrofon zu erreichen, möglichst lang ist.

Wenn es sich bei dem Messraum um eine reflexionsfreie Kammer handelt, muss auf Reflexionen von Keilspitzen, Bodenbelägen, DUT-Stützen und Mikrofonstützen geachtet werden.

Von diesen Quellen hervorgerufene Abweichungen dürfen $\pm 0,5$ dB bzw. $\pm 10^\circ$ der gemessenen Schalldruckamplitude bzw. der Phase bei keiner Frequenz innerhalb des Frequenzbereichs der Messung überschreiten.

10.2.2 Nahfeldbedingungen

Außer unter besonderen Bedingungen nach 10.2.2.1 kann der Schalldruck im Nahfeld nur mittels holografischer Techniken gemessen werden. Außerdem können gültige Fernfeldinformationen nur mittels holografischer Verfahren aus Nahfelddaten berechnet werden.

Messungen im Nahfeld haben die folgenden Vorteile:

- mehr Zeit bis zu den ersten Reflexionen
- höherer direkter Schalldruck

Der Hauptvorteil holografischer Techniken liegt darin, dass große DUTs in kleinen Räumen gemessen werden können.

10.2.2.1 Extrapolationstechnik für Kugelstrahler

Die von Keele [8] entwickelte Extrapolationstechnik liefert zuverlässige Fernfeldinformationen bei niedrigen Frequenzen, die auf einer einzigen Nahfeldmessung beruhen, sofern die Tieftöner in einem geschlossenen Gehäuse aufgestellt werden und das Schallfeld omnidirektional ist.

10.2.3 Diffusfeldbedingungen

Die Position und die Ausrichtung des DUT und des Mikrofons im Verhältnis zu den Wänden müssen mittels eines an die Messergebnisse angehängten Diagramms beschrieben werden.

Für die Bewertung der von dem Lautsprecher gelieferten Leistung nach dem in 20.3 beschriebenen Verfahren ist eine Anordnung zur gleichzeitigen Bewegung des DUT und des Mikrofons zulässig. Das Mikrofonsystem und die Position des nächstgelegenen Mikrofons müssen die Anforderung aus ISO 3741 erfüllen.

10.2.4 Bedingungen der Zielanwendung

Die Position und die Ausrichtung des DUT und des Mikrofons im Verhältnis zur Zielumgebung (z. B. Innenraum eines Autos, Ohrsimulator) müssen mittels eines an die Messergebnisse angehängten Diagramms beschrieben werden.

Die akustischen Eigenschaften der Grenzen müssen anhand von über die Fläche gemittelten Energieabsorptionskoeffizienten für diffusen Schalleinfall [22] beschrieben werden.

11 Messeinrichtung und Prüfergebnisse

Für Messungen unter Freifeldbedingungen muss ein WS2F- oder WS3F-Freifeldmikrofon nach IEC 61094 verwendet werden. Für Messungen unter Diffusfeldbedingungen muss ein WS3P- oder ein WS2P-Druckmikrofon mit Diffusfeldkorrektur verwendet werden.

Grafische Ergebnisse müssen einem der bevorzugten Seitenverhältnisse in IEC 60263 entsprechen.

Wenn zusätzlich zu den Graphen Frequenzdaten bereitgestellt werden, müssen diese, sofern nicht anders angegeben, bei den in ISO 3 festgelegten bevorzugten R40-Frequenzen liegen.

12 Genauigkeit der akustischen Messung

Mögliche Fehlerquellen an den Geräten und der Messumgebung müssen identifiziert und quantifiziert und ihr Einfluss festgelegt werden. Unsicherheiten hinsichtlich Position und Kalibrierung des Mikrofons müssen angegeben werden (siehe 12.1). Diese Informationen sind in den Prüfbericht aufzunehmen.

ANMERKUNG Techniken zur Quantifizierung der Toleranzen bei akustischen Messungen werden in [17] behandelt. Um mögliche Fehler in dem Messaufbau zu überprüfen, kann mit zwei an unterschiedlichen Positionen (oder in unterschiedlichen Abständen) aufgestellten Mikrofonen gearbeitet werden.

12.1 Messunsicherheit

Die Messunsicherheit setzt sich aus verschiedenen Faktoren zusammen:

- der Unsicherheit der verwendeten Prüfeinrichtung wie einem Schallgeber, Pegelmessgeräten, Messmikrofonen usw.
- den Toleranzen der mechanischen Verbindung oder Montage
- dem Schallfeld oder der Prüfumgebung
- der Positionierung des DUT im Prüfraum

Wenn die vorstehend genannten Faktoren bekannt sind, kann die Messunsicherheit im Allgemeinen bestimmt werden [23].

ANMERKUNG Es gilt als gute Praxis, die Messunsicherheit durch einen Vergleich der Messergebnisse mit denen aus einem akkreditierten Prüflabor zu validieren. Hinsichtlich der Bewertung der von den Lautsprechern erzeugten Schalldruckausgabe enthält B.7 ein Beispiel für die Berechnung des Unsicherheitsbudgets. Weitere Informationen können ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995) entnommen werden.

Theoretisch gesehen gelten Toleranzen der Messabweichung nur dann für die Leistung eines zu prüfenden Geräts, wenn die Messeinrichtung zu 100 % präzise arbeitet. Um sicherzustellen, dass die Leistung des DUT auch dann innerhalb einer festgelegten Toleranz liegt, wenn reale, nicht perfekte Messeinrichtungen verwen-

det werden, muss das Intervall mit akzeptierten Werten auf dem gemessenen Wert kleiner sein als die Toleranz, die durch den Höchstwert der zulässigen Unsicherheit für diese Messung festgelegt wird. Dies gilt gegebenenfalls auch für Anwendungen bei Ausgangsprüfungen. Um zu bestätigen, dass die Leistung des DUT unter realen Bedingungen außerhalb der festgelegten Toleranz liegt, muss das Intervall mit nicht akzeptierten Werten auf dem gemessenen Wert größer sein als die Toleranz, die durch den Höchstwert der zulässigen Unsicherheit für diese Messung festgelegt wird. Dies betrifft gegebenenfalls Eingangs-QC/QA-Anwendungen. Der Höchstwert der zulässigen Unsicherheit wird auf jeden einzelnen Toleranzgrenzwert angewendet, um das Akzeptanzintervall zu ermitteln (siehe B.7, Bild B. 5).

13 Aufstellung des DUT

13.1 Aufstellung und akustische Last der Antriebseinheiten

Die Leistung der Antriebseinheit (Wandler) wird von den Eigenschaften der Einheit selbst und von ihrer akustischen Last bestimmt. Die akustische Last hängt von der Aufstellung ab, die bei der Darstellung der Ergebnisse eindeutig beschrieben werden muss.

Es muss eine der folgenden Aufstellungsarten verwendet werden:

- a) Halbraum-Freiefeldbedingung, die durch oberflächenangepasstes Einbauen des Wandlers in eine ebene Reflexionsfläche geschaffen wird, deren Durchmesser d zehnmal größer ist als die Wellenlänge λ der niedrigsten Arbeitsfrequenz oder der niedrigsten vom Hersteller festgelegten oder als Bemessungswert angegebenen Frequenz. Die Halbraum-Last für Wandler wird bevorzugt.

Wenn diese Bedingung bei Niederfrequenzwandlern (z. B. Tieftöner) im verfügbaren reflexionsfreien Raum nicht erfüllt werden kann, muss der Hersteller den unteren Grenzwert für die Frequenz angeben, bei der die Bedingung erfüllt ist. Alternativ ist die Schallwandmessung oder eine Raumkorrekturkurve zu verwenden.

- b) Eine Norm-Schallwand mit einer ebenen Vorderfläche, deren akustische Reflexion den Festlegungen in A.1.1 entspricht
- c) Ein standardmäßiges Messgehäuse nach Festlegung in A.1.2 (Typ A oder Typ B), das ein definiertes rückseitiges Luftvolumen und eine definierte Abstrahlungsbedingung an der Vorderseite des Wandlers erzeugt
- d) Für End-of-Line-Prüfungen und Relativmessungen (siehe [15]) darf ein Prüfgehäuse, das A.1.2 entspricht (Typ A oder Typ B) und eine definierte Luftlast und Abstrahlungsbedingung an der Vorderseite des Wandlers erzeugt, verwendet werden. Eine zusätzliche Kammer auf der Rückseite des Wandlers kann dazu verwendet werden, zusätzliche Geräuschtrennung zu erzielen oder den Einfluss des Luftvolumens einer geschlossenen Box in der Zielanwendung zu betrachten.
- e) Ein definiertes Horn, ein definierter Kuppler oder eine andere Art von Wellenleiter, der die Reflexionsfläche des Wandlers mit dem umgebenden Schallfeld verbindet

ANMERKUNG Die Anwendung auf Kopfhörer, Hör-Sprech-Garnituren, Ohrhörer und Ohrhörer-Sprech-Garnituren ist in IEC 60268-7 definiert.

- f) Ein Kundtsches Rohr.
- g) Der Wandler darf „free air“ ohne Schallwand, Gehäuse usw. betrieben werden.

13.2 Aufstellung und akustische Last eines elektroakustischen Systems

Elektroakustische Systeme werden üblicherweise ohne zusätzliche Schallwände gemessen. Wenn der Hersteller eine besondere Aufstellungsart für das Lautsprechersystem festlegt, so muss diese für die Messung verwendet werden. Die verwendete Aufstellung muss mit den Ergebnissen angegeben werden.

14 Vorbehandlung

Wenn an das neue DUT zum ersten Mal ein Signal angelegt wird, das eine starke Auslenkung erzeugt, kommt es gegebenenfalls zu zeitweiligen oder dauerhaften Veränderungen. Es muss eine ausreichende Vorbehandlung erfolgen, die der vorgesehenen Verwendung des DUT im Feld entspricht (z. B. Bandbreite).

ANMERKUNG Beispielsweise kann es zu erheblichen Veränderungen der mechanischen Eigenschaften der Treiber-aufhängung kommen. Ähnliches gilt für die Auswirkungen von Erwärmung und Abkühlung des DUT.

Das DUT muss vor der Durchführung der Messungen vorbehandelt werden, indem für mindestens eine Stunde (bei Tieftönern werden drei Stunden empfohlen) ein Breitbandsignal bei der Hälfte des höchsten Eingangswertes $\tilde{u}_{\max}$ nach Abschnitt 17 angelegt wird.

Bevor anschließend mit der Messung begonnen wird, muss der Vorbehandlung eine Erholungsphase von mindestens einer Stunde folgen, in der sicherzustellen ist, dass sich die Temperatur der Innenteile wieder an die Umgebungsbedingungen anpasst.

15 Bemessungsumgebungsbedingungen

15.1 Temperaturbereiche

15.1.1 Leistungsbegrenzter Temperaturbereich

15.1.1.1 Festzulegende Bedingungen

Der Temperaturbereich, in dem die Schwankung der Kennwerte des DUT die festgelegten Toleranzen nicht überschreiten darf.

15.1.2 Schadensbegrenzter Temperaturbereich

15.1.2.1 Festzulegende Bedingungen

Der Temperaturbereich, der, wenn er im Betrieb oder bei der Lagerung überschritten wird, zu dauerhaften Veränderungen der Betriebseigenschaften des DUT führen kann.

15.2 Feuchtebereiche

15.2.1 Bereich der relativen Feuchte

15.2.1.1 Festzulegende Bedingungen

Der Bereich der relativen Feuchte, in dem die Schwankung der Kennwerte des DUT die festgelegten Toleranzen nicht überschreiten darf.

15.2.2 Schadensbegrenzter Feuchtebereich

15.2.2.1 Festzulegende Bedingungen

Der Bereich der relativen Feuchte, der, wenn er im Betrieb oder bei der Lagerung überschritten wird, zu dauerhaften Veränderungen der Betriebseigenschaften des DUT führen kann.

16 Bemessungsfrequenzbereich

16.1 Festzulegende Bedingungen

Die Frequenzen f_l und f_u beschreiben den unteren und den oberen Grenzwert des Audiobandes, für das der höchste Schalldruck des DUT bemessen ist.

ANMERKUNG Der Bemessungsfrequenzbereich entspricht der vorgesehenen Verwendung des DUT in der Zielanwendung und kann von dem in 19.6 definierten wirksamen Frequenzbereich des DUT abweichen.

17 Eingangssignal

17.1 Höchster Bemessungseingangswert

17.1.1 Festzulegende Bedingung

Der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ ist der Effektivwert

$$\tilde{u} = \sqrt{\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} u^2(t) dt} \quad (14)$$

eines Breitbandstimulus $u(t) = a[i]x(t)$ skaliert durch $a[i]$, der für über 100 h an das DUT angelegt werden kann, ohne dass die gemessenen Kennwerte die definierten Toleranzen verlassen.

Die Eigenschaften des Breitbandstimulus $x(t)$, wie beispielsweise seine Spektraleigenschaften, der Crest-Faktor und der obere und der untere Grenzwert f_l bzw. f_u des Bemessungsfrequenzbandes nach Abschnitt 16, müssen vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG Der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ kann vom Hersteller für Wandler, passive Lautsprechersysteme und aktive Systeme mit einem einzigen Eingang und einer festen Übertragungsfunktion zwischen dem Eingang und dem Auswertungspunkt r_e angegeben werden. Der auf die Anschlussspannung angewendete höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ kann für End-of-Line-Prüfungen des passiven Wandlers verwendet werden, wenn die Messbedingungen (z. B. Geometrie der Prüfbox) nicht definiert sind oder abweichen. Der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ kann für die Bewertung des Einflusses verschiedener Messbedingungen wie der akustischen Last, der Aufstellung des Treibers usw. auf das Übertragungsverhalten des DUT verwendet werden. In aktiven Systemen, in denen der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ von dem ausgewählten Eingangskanal, den Einstellungen der Verstärkungsregelung, des Entzerrers und anderen Einstellungen der Signalverarbeitung vor dem Erreichen des passiven Wandlers durch das Signal abhängt, kann der höchste Eingangswert auf Grundlage des höchsten Bemessungs-Schalldruckpegels $SPL_{\max}$ nach 18.2 bestimmt werden.

17.1.2 Direkte Messung

Die folgende Einrichtung oder eine gleichwertige Einrichtung müssen in die Messkette aufgenommen werden:

- ein Generator für rosa Rauschen und/oder ein Mehrtongenerator nach 8.4

ANMERKUNG 1 Ein DUT, das für die Verwendung mit Vollband-Audiosignalen vorgesehen ist, kann mit einem Breitbandstimulus wie einem Mehrtonkomplex mit ausreichender Auflösung $R = 10$, einem rosa Rauschsignal oder einem beliebigen anderen rauschähnlichen Signal wie dem simulierten Programmsignal nach A.2 geprüft werden. Für ein DUT mit einer schmalen nutzbaren Bandbreite in der Zielanwendung (z. B. Subwoofer) kann ein Sinussignal, ein Hann-Burstsignal oder ein Schmalbandgeräusch nach Abschnitt 8 als hinreichend gute Annäherung für das „Breitband“-Signal verwendet werden.

- ein optionales Bewertungsnetzwerk zur Erzielung des Rauschsignals nach A.2
- ein optionales Begrenzungsnetzwerk zur Realisierung eines definierten Crest-Faktors

- ein optionaler Leistungsverstärker für passive elektroakustische DUT

Das begrenzte (en: clipped) Rauschen an den Anschlüssen des zu prüfenden Lautsprechers muss eine Frequenzverteilung nach A.2 und ein Scheitelwert-Effektivwert-Verhältnis (Crest-Faktor) zwischen 1,8 und 2,2 aufweisen. Die Amplitude des Frequenzgangs zwischen dem Eingang des optionalen Leistungsverstärkers und der Spannung an den Eingangsanschlüssen eines passiven DUT muss konstant innerhalb von $\pm 0,5$ dB im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz liegen. Der Hochpassfilter im Leistungsverstärker verursacht gegebenenfalls eine Erhöhung des Crest-Faktors des übertragenen Rauschsignals. Die Ausgangsimpedanz des optionalen Leistungsverstärkers darf höchstens $1/3$ der Bemessungsimpedanz des passiven DUT betragen. Der Verstärker muss dazu in der Lage sein, das passive DUT mit einer sinusförmigen Scheitelspannung ohne Begrenzung (en: clipping) zu versorgen. Das Scheitelspannungsvermögen muss mindestens das Doppelte der Effektivspannung des Prüfgeräuschs betragen.

- Der Hersteller definiert einen Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ als Kandidat für den höchsten Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$. Bei der Auswahl des Prüfwertes werden die vorgesehene Anwendung und das vorgesehene Verhalten des DUT (z. B. zulässige Erwärmung und höchste mechanische Ablenkung der Schwingspule) berücksichtigt, sodass eine Beschädigung des DUT bei der folgenden Prüfung vermieden werden kann.

ANMERKUNG 2 In B.6 werden die Überlegungen und Messungen behandelt, die für die Festlegung des Prüfwertes $\tilde{u}_{\text{test}}$ erforderlich sind.

- Das DUT muss in einem ausreichend großen Raum (typischerweise $> 8 \text{ m}^3$) mit den in 7.2 festgelegten klimatischen Bedingungen platziert werden.

ANMERKUNG 3 Die Maße des Raums hängen von dem Platz rund um das DUT ab, der erforderlich ist, um eine zusätzliche akustische Last des DUT zu verhindern und stabile klimatische Bedingungen während der Prüfung sicherzustellen.

Das DUT muss unter einer festgelegten klimatischen Bedingung für eine Dauer von 100 h ohne Unterbrechung bei dem Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ des Eingangsstimulus, bei dem es sich um einen vom Hersteller angegebenen Breitbandstimulus handelt, geprüft werden.

ANMERKUNG 4 Da der Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ während der 100 Prüfstunden konstant ist, führt die Erwärmung des DUT zu einer thermischen Kompression der akustischen Ausgabe. Dieser Effekt kann mittels Messung der Kompression nach 19.4 ausgewertet werden.

- Unmittelbar nach der Prüfung ist das DUT unter klimatischen Bedingungen zu lagern, die üblicherweise in gewöhnlichen Räumen oder Laboren herrschen würden. Sofern nichts anderes festgelegt ist, muss die Erholungsphase 24 h betragen.
- Am Ende der Erholungsphase werden die akustischen Eigenschaften des DUT gemessen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzen der auf dem Datenblatt angegebenen Werte liegen, hat das DUT die Anforderung dieser Prüfung erfüllt und dem höchsten Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\text{test}}$ wird der Prüfwert $\tilde{u}_{\text{max}}$ zugewiesen.

Wenn das DUT während dieser Prüfung beschädigt wurde oder die gemessenen Kennwerte außerhalb der definierten Toleranzen liegen, muss die Prüfung mit einem neuen DUT bei einem niedrigeren Eingangsprüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ wiederholt werden, bis der höchste Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$ ermittelt wurde.

17.1.3 Indirekte Messung auf Grundlage von SPL_{max}

- Um den höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$ auf Grundlage des höchsten Bemessungs-Schalldruckpegels SPL_{max} zu ermitteln, wird das DUT den normalen Messbedingungen nach 7.3 ausgesetzt.
- Anschließend wird das DUT durch einen skalierten Stimulus $u(t) = \alpha[i]x(t)$ entsprechend der Angabe des Herstellers nach 17.1 angeregt. In einem ersten Messschritt $i = 0$ wird ein ausreichend niedriger Skalierungsfaktor $\alpha[0]$ verwendet, um eine Beschädigung des zu prüfenden Geräts zu verhindern.

- c) Das Schalldrucksignal $p(t, r_e)$ wird am Auswertungspunkt r_e gemessen und es wird der resultierende Schalldruckpegel $SPL[i]$ für den Stimulus mit dem Effektivwert $\tilde{u}[i]$ für die Anregungszeit $T_s = 1$ s berechnet.
- d) Nachdem mindestens 10 s abgewartet wurden, wird der Skalierungsfaktor angepasst, und zwar mittels

$$\alpha[i+1] = \alpha[i] 10^{(SPL_{\max} - SPL[i])/20} \quad (15)$$

und die Messschritte 17.1.2 b) bis 17.1.2 d) werden wiederholt, bis $SPL[i]$ um weniger als 0,1 dB von $SPL_{\max}$ abweicht.

- e) Der endgültige Effektivwert $\tilde{u}[i]$ wird dem höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ zugewiesen.

ANMERKUNG In Fällen, in denen kein Filter mit einer Bandbreite gleich dem Bemessungsfrequenzbereich verfügbar ist, kann eine Annäherung erfolgen, indem dieser Frequenzbereich nach IEC 61260-1 in n Sätze aus 1/3-Oktavbändern aufgeteilt wird. Den 1/3-Oktavfiltern wird der Breitbandstimulus zugeführt. Daraus ergibt sich, dass die Spannung, die dem DUT in jedem 1/3-Oktav-Frequenzband zugeführt wird, gleich $\tilde{u}/\sqrt{n}$ ist. Der Schalldruckpegel ist durch die folgende Gleichung gegeben:

$$SPL[i] = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{p_0^2} \sum_{k=1}^n \tilde{p}_k^2 \right) \quad (16)$$

Dabei ist $\tilde{p}_k$ der Effektivwert des Schalldrucks in einem gegebenen 1/3-Oktavband und p_0 ist der Standard-Bezugsschalldruck (20 μ Pa).

17.2 Höchster Eingangspegel

In Dezibel ausgedrückt muss der höchste Eingangspegel als das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ und einem angegebenen Bezugswert festgelegt werden.

Der Effektivwert von 1 V muss als Bezugswert verwendet werden, wenn der höchste Eingangspegel in dB(V) ausgedrückt wird. Wenn der höchste Eingangspegel in dB(FS) ausgedrückt wird, wird der digitale Vollaussteuerungswert (en: full scale; FS) als Bezugswert verwendet.

18 Schalldruckausgabe

18.1 Höchster Bemessungsschalldruck

18.1.1 Festzulegende Bedingungen

Der Hersteller legt den höchsten Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\max}(r_e)$ fest, der definiert ist als der Effektivwert

$$\tilde{p}_{\max}(r_e) = \left(\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} p^2(t, r_e) dt \right)^{1/2} \quad (17)$$

des gemessenen Schalldrucksignals $p(t, r_e)$ bei dem festgelegten Auswertungspunkt r_e unter normalen Messbedingungen nach 7.3, unter Verwendung eines festgelegten Breitbandstimulus in der Anregungszeit $T_s = 1$ s, der durch die Frequenzen f_l und f_u des Bemessungsfrequenzbandes begrenzt wird.

Die Eigenschaften des Breitbandstimulus $x(t)$, wie beispielsweise seine Spektraleigenschaften, der Crest-Faktor und der obere und der untere Grenzwert des Bemessungsfrequenzbandes, müssen vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG Der höchste Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\max}(r_e)$ kann entweder mittels direkter Messung ermittelt oder indirekt von dem höchsten Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\max}$ nach 17.1 abgeleitet werden.

18.1.2 Direkte Messung

Die folgende Einrichtung oder eine gleichwertige Einrichtung müssen in die Messkette aufgenommen werden:

- ein Generator für rosa Rauschen und/oder ein Mehrtongenerator nach 8.4

ANMERKUNG 1 Ein DUT, das für die Verwendung mit Vollband-Audiosignalen vorgesehen ist, kann mit einem Breitbandstimulus wie einem Mehrtonkomplex mit ausreichender Auflösung $R = 10$, einem rosa Rauschsignal oder einem beliebigen anderen rauschähnlichen Signal wie dem simulierten Programmsignal nach A.2 geprüft werden. Für ein DUT mit einer schmalen nutzbaren Bandbreite in der Zielanwendung (z. B. Subwoofer) kann ein Sinussignal, ein Hann-Burstsignal oder ein Schmalbandgeräusch nach Abschnitt 8 als hinreichend gute Annäherung für das „Breitband“-Signal verwendet werden.

- ein optionales Bewertungsnetzwerk zur Erzielung des Rauschsignals nach A.2
- ein optionales Begrenzungsnetzwerk zur Realisierung eines definierten Crest-Faktors
- ein optionaler Leistungsverstärker für passive elektroakustische DUT

Die Amplitude des Frequenzgangs zwischen dem Eingang des optionalen Leistungsverstärkers und der Spannung an den Eingangsanschlüssen eines passiven DUT muss konstant innerhalb von $\pm 0,5$ dB im Frequenzbereich von 20 Hz bis 20 kHz liegen. Das begrenzte (en: clipped) Rauschen an den Anschlüssen des zu prüfenden Lautsprechers muss eine Frequenzverteilung nach A.2 und ein Scheitelwert-Effektivwert-Verhältnis zwischen 1,8 und 2,2 aufweisen. Die Ausgangsimpedanz des optionalen Leistungsverstärkers darf höchstens $1/3$ der Bemessungsimpedanz des passiven DUT betragen. Der Verstärker muss dazu in der Lage sein, das passive DUT mit einer sinusförmigen Scheitelspannung ohne Begrenzung (en: clipping) zu versorgen. Die Scheitelspannung muss mindestens das Doppelte der Spannung des Prüfgeräuschs betragen.

- a) Der Hersteller definiert einen Prüfwert $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ als Kandidat für den höchsten Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\max}(r_e)$ im Bemessungsfrequenzband. Bei der Auswahl des Prüfwertes werden die vorgesehene Anwendung und das vorgesehene Verhalten des DUT (z. B. zulässige Erwärmung und höchste mechanische Ablenkung der Schwingspule) berücksichtigt, sodass eine Beschädigung des DUT bei der folgenden Prüfung vermieden werden kann.

ANMERKUNG 2 In B.6 werden die Überlegungen und Messungen behandelt, die für die Festlegung des Prüfwertes $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ erforderlich sind.

- b) Das DUT muss in einer akustischen Umgebung nach Abschnitt 9 platziert werden und der Prüfwert $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ muss bei dem festgelegten Auswertungspunkt r_e erzeugt werden, indem die Amplitude des Stimulus angepasst wird. Bei dieser Messung müssen der durch den Prüfwert des Herstellers in 18.1.1 gegebene Breitbandstimulus und eine Anregungszeit von $T_s = 1$ s verwendet werden, und zwar mit einer ausreichenden Pause von mindestens 10 s zwischen aufeinanderfolgenden Prüfungen, um eine Erwärmung des DUT und die thermische Kompression der Ausgangsamplitude zu vermeiden. Der Effektivwert des Eingangsstimulus, der den Prüfwert $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ erzeugt, wird als Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ für die weiteren Prüfungen verwendet.
- c) Das DUT muss in einem ausreichend großen Raum (typischerweise $> 8 \text{ m}^3$) mit den in A.2 festgelegten klimatischen Bedingungen platziert werden.

ANMERKUNG 3 Die Maße des Raums hängen von dem Platz rund um das DUT ab, der erforderlich ist, um eine zusätzliche akustische Last des DUT zu verhindern und stabile klimatische Bedingungen während der Prüfung sicherzustellen.

- d) Das DUT muss unter einer festgelegten klimatischen Bedingung für eine Dauer von 100 h ohne Unterbrechung bei dem Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ des Eingangsstimulus geprüft werden.

ANMERKUNG 4 Da der Prüfwert $\tilde{u}_{\text{test}}$ während der 100 Prüfstunden konstant ist, führt die Erwärmung des DUT zu einer thermischen Kompression der akustischen Ausgabe und der Schalldruckpegel fällt unter den höchsten Bemessungsschallpegel $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$. Dieser Effekt kann mittels Messung der Kompression nach 19.4 ausgewertet werden.

- e) Unmittelbar nach der Prüfung ist das DUT unter klimatischen Bedingungen zu lagern, die üblicherweise in gewöhnlichen Räumen oder Laboren herrschen würden. Sofern nichts anderes festgelegt ist, muss die Erholungsphase 24 h betragen.
- f) Am Ende der Erholungsphase werden die elektrischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften des DUT gemessen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzen der auf dem Datenblatt angegebenen Werte liegen, hat das DUT die Anforderung dieser Prüfung erfüllt und dem höchsten Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ wird der Prüfwert $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$ zugewiesen. Die zulässige Verschiebung der Resonanzfrequenz muss auf dem Datenblatt definiert werden.

Wenn das DUT während dieser Prüfung beschädigt wurde oder die gemessenen Kennwerte außerhalb der definierten Toleranzen liegen, muss die Prüfung mit einem neuen DUT bei einem niedrigeren Prüfwert $\tilde{p}_{\text{test}}(r_e)$ wiederholt werden, bis der höchste Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$ ermittelt wurde.

18.1.3 Indirekte Messung auf Grundlage des höchsten Eingangswertes

- a) Das DUT muss in einer akustischen Umgebung nach Abschnitt 9 platziert werden und der Effektivwert des Eingangsstimulus wird an den höchsten Bemessungseingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$ des Stimulus nach 17.1 angepasst.
- b) Der Effektivwert des Schalldrucks $\tilde{p}(r_e)$ muss bei dem festgelegten Auswertungspunkt r_e gemessen und dem höchsten Bemessungsschalldruck $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$ zugewiesen werden.

18.2 Höchster Bemessungs-Schalldruckpegel

18.2.1 Festzulegende Bedingung

In Dezibel ausgedrückt muss der höchste Bemessungs-Schalldruckpegel SPL_{max} in einem Bemessungsfrequenzband als das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem Effektivwert des nach 18.1 gemessenen Schalldrucks $\tilde{p}_{\text{max}}(r_e)$ und dem Standard-Bezugsschalldruck (20 µPa) festgelegt werden.

18.3 Höchster Kurzzeit-Schalldruckpegel

18.3.1 Festzulegende Bedingungen

Der höchste Kurzzeit-Schalldruckpegel SPL_{short} wird definiert als der Pegel

$$SPL_{\text{short}}(r_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, r_e) dt \right) \quad (18)$$

des effektiven Schalldrucksignals $p(t)$ am festgelegten Auswertungspunkt r_e bezogen auf den Bezugsschalldruck ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) unter Verwendung einer Abfolge aus gefensterten Breitbandstimuli, die aus einer Anregungsphase von $T_s = 1 \text{ s}$ gefolgt von einem Kühlintervall von $T_{\text{off}} = 1 \text{ min}$ besteht und 60-mal wiederholt wird. Es darf ein Mehrtonkomplex-Signal mit ausreichender Auflösung $R = 10$ oder ein rosa Rauschsignal oder ein beliebiges anderes rauschähnliches Signal wie beispielsweise das simulierte Programmsignal nach A.2 als Stimulus verwendet werden. Die Eigenschaften des Breitbandstimulus $x(t)$, wie beispielsweise

seine Spektraleigenschaften, der Crest-Faktor und der obere und der untere Grenzwert des Bemessungsfrequenzbandes, müssen angegeben werden.

ANMERKUNG Der höchste Kurzzeit-Schalldruckpegel SPL_{short} kann größer sein als der Bemessungswert SPL_{max} , weil die Erwärmung und die Leistungskompression dank der kurzen Anregungsphase $T_s = 1$ s und des Kühlintervalls ($T_{\text{off}} = 1$ min) vernachlässigbar sind.

18.3.2 Messverfahren

- Der Hersteller definiert einen Prüfwert $SPL_{\text{test}}(r_e)$ als Kandidat für den höchsten Kurzzeit-Schalldruckpegel $SPL_{\text{short}}(r_e)$ im Bemessungsfrequenzband. Bei der Definition des Prüfwertes $SPL_{\text{test}}(r_e)$ wird die vorgesehene Anwendung und das Verhalten des DUT (z. B. zulässige Erwärmung und höchste mechanische Ablenkung der Schwingspule) berücksichtigt, sodass eine Beschädigung des DUT bei der folgenden Prüfung vermieden werden kann.
- Das DUT muss in einer akustischen Umgebung nach Abschnitt 9 platziert werden. Während der Schalldruck am festgelegten Auswertungspunkt r_e gemessen wird, wird die Amplitude des Stimulus so angepasst, dass ein Schalldruck gleich dem vom Hersteller festgelegten Prüfwert in Punkt a) erzielt wird, indem eine Anregungsphase von $T_s = 1$ s gefolgt von einem Kühlintervall von $T_{\text{off}} = 1$ min eingesetzt wird.
- Nach der Anpassung muss die Abfolge aus der definierten Anregungsphase und dem Kühlintervall 60-mal wiederholt werden.
- Nach der Prüfung wird dem DUT für eine Erholungsphase von 5 min kein Signal zugeführt.
- Am Ende der Erholungsphase werden die elektrischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften des DUT gemessen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzen der auf dem Datenblatt angegebenen Werte liegen, hat das DUT die Anforderung dieser Prüfung erfüllt und dem Bemessungsschalldruck $SPL_{\text{test}}(r_e)$ wird der Prüfwert $SPL_{\text{short}}(r_e)$ zugewiesen. Eine Veränderung der Resonanzfrequenz darf auftreten, inwiefern diese Veränderung akzeptiert wird, muss jedoch ausgehandelt werden, deshalb ist die Veränderung anzugeben.

Wenn das DUT während dieser Prüfung beschädigt wurde oder die gemessenen Kennwerte außerhalb der definierten Toleranzen liegen, muss die Prüfung mit einem neuen DUT bei einem niedrigeren Prüfwert $SPL_{\text{test}}(r_e)$ wiederholt werden, bis der höchste Kurzzeit-Schalldruckpegel $SPL_{\text{short}}(r_e)$ ermittelt wurde.

18.4 Höchster Langzeit-Schalldruckpegel

18.4.1 Festzulegende Bedingungen

Der höchste Langzeit-Schalldruckpegel SPL_{long} ist der Pegel

$$SPL_{\text{long}}(r_e) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T_s p_0^2} \int_0^{T_s} p^2(t, r_e) dt \right) \quad (19)$$

des Effektivwertes des Schalldrucksignals $p(t)$ am festgelegten Auswertungspunkt r_e bezogen auf den Bezugsschalldruck ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$) unter Verwendung eines Breitbandstimulus mit einer Anregungsphase von $T_s = 1$ min und einem Kühlintervall von $T_{\text{off}} = 2$ min.

Es darf ein Mehrtonkomplex-Signal mit ausreichender Auflösung $R = 10$ oder ein rosa Rauschsignal oder ein beliebiges anderes rauschähnliches Signal wie beispielsweise das simulierte Programmsignal nach A.2 als Stimulus verwendet werden. Die Eigenschaften des Breitbandstimulus $x(t)$, wie beispielsweise seine Spektraleigenschaften, der Crest-Faktor, die Dauer von T_s und von T_{off} und der obere und der untere Grenzwert des Bemessungsfrequenzbandes, müssen vom Hersteller angegeben werden.

ANMERKUNG Der höchste Langzeit-Schalldruckpegel SPL_{long} könnte größer sein als der Bemessungswert SPL_{max} , weil das Kühlintervall $T_{\text{off}} = 2 \text{ min}$ die Erwärmung und die Leistungskompression aus der 100-stündigen Prüfung nach 18.1.2 reduziert.

18.4.2 Messverfahren

- Der Hersteller definiert einen Prüfwert $SPL_{\text{test}}(r_e)$ als Kandidat für den höchsten Langzeit-Schalldruckpegel $SPL_{\text{long}}(r_e)$ im Bemessungsfrequenzband. Bei der Definition des Prüfwertes $SPL_{\text{test}}(r_e)$ werden die vorgesehene Anwendung und die Besonderheiten des DUT (z. B. zulässige Erwärmung und höchste mechanische Ablenkung der Schwingspule) berücksichtigt, sodass eine Beschädigung des DUT bei der folgenden Prüfung vermieden werden kann.
- Das DUT muss in einer akustischen Umgebung nach Abschnitt 9 platziert werden. Während der Schalldruck am festgelegten Auswertungspunkt r_e gemessen wird, wird die Amplitude des Stimulus so angepasst, dass ein Schalldruck gleich dem vom Hersteller festgelegten Prüfwert in 18.4.2 a) erzielt wird, indem eine Anregungsphase von $T_s = 1 \text{ min}$ gefolgt von einem Kühlintervall von $T_{\text{off}} = 2 \text{ min}$ eingesetzt wird.
- Nach der Anpassung muss die Abfolge aus der definierten Anregungsphase und dem Kühlintervall 10-mal wiederholt werden.
- Nach der Prüfung wird dem DUT für eine Erholungsphase von 1 h kein Signal zugeführt.
- Am Ende der Erholungsphase werden die elektrischen, mechanischen und akustischen Eigenschaften des DUT gemessen. Wenn die gemessenen Werte innerhalb der Toleranzen der auf dem Datenblatt angegebenen Werte liegen, hat das DUT die Anforderung dieser Prüfung erfüllt und dem Langzeit-Schalldruckpegel $SPL_{\text{test}}(r_e)$ wird der Prüfwert $SPL_{\text{long}}(r_e)$ zugewiesen. Eine Veränderung der Resonanzfrequenz darf auftreten, inwiefern diese Veränderung akzeptiert wird, muss jedoch ausgehandelt werden, deshalb ist die Veränderung anzugeben.

Wenn das DUT während dieser Prüfung beschädigt wurde oder die gemessenen Kennwerte außerhalb der definierten Toleranzen liegen, muss die Prüfung mit einem neuen DUT bei einem niedrigeren Prüfwert $SPL_{\text{test}}(r_e)$ wiederholt werden, bis der höchste Langzeit-Schalldruckpegel $SPL_{\text{long}}(r_e)$ ermittelt wurde.

18.5 Schalldruck in einem angegebenen Frequenzband

18.5.1 Festzulegende Bedingung

Der Schalldruck $\tilde{p}(r)$, der an einem angegebenen Messpunkt r von einem DUT erzeugt wird, welches von einem bandbegrenzten rosa Rauschsignal mit einem angegebenen Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ angeregt wird.

18.5.2 Messverfahren

- Der Lautsprecher muss unter normalen Messbedingungen betrieben werden.
Wenn der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$ vom Hersteller nicht angegeben wird, kann dieser Wert unter Verwendung des höchsten Bemessungs-Schalldruckpegels SPL_{max} nach 18.2 ermittelt werden.
Die Bandbreite eines rosa Rauschsignals wird mittels eines Bandpassfilters mit Steigungen von mindestens 24 dB/Oktave auf die angegebenen Grenzwerte für die Frequenz begrenzt. Der Effektivwert des Stimulus wird an den angegebenen Wert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ angepasst und an den Eingang des DUT angelegt.
- Der Schalldruck $\tilde{p}(r)$ muss an dem angegebenen Messpunkt r gemessen werden.
- Jedwede Abweichungen von den in 18.5.2 a) und b) angegebenen Bedingungen müssen mit den Ergebnissen angegeben werden.

18.6 Schalldruckpegel in einem angegebenen Frequenzband

18.6.1 Festzulegende Bedingung

In Dezibel ausgedrückt muss der Schalldruckpegel in einem angegebenen Frequenzband als das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem nach 18.5 gemessenen Schalldruck $\tilde{p}(r)$ und dem Standard-Bezugsschalldruck (20 μPa) festgelegt werden.

18.7 Mittlerer Schalldruck in einem angegebenen Frequenzbereich

18.7.1 Festzulegende Bedingung

Die Quadratwurzel des arithmetischen Mittelwertes der Quadrate des Schalldrucks $\tilde{p}_k$ aller 1/ n -Oktav-Teilbänder mit $k = 1, \dots, K$ und $n \geq 3$, die das angegebene Frequenzband füllen.

Es müssen 1/3-Oktav-Teilbänder mit $n = 3$ nach Definition in IEC 61260-1 verwendet werden, wenn der obere und der untere Grenzwert des angegebenen Frequenzbandes den Grenzwerten der 1/3-Oktavbänder entsprechen.

18.7.2 Messverfahren

- Die Messung muss nach 18.5 durchgeführt werden.
- Das am Messpunkt r gemessene Schalldrucksignal $\tilde{p}(r)$ wird mit einem Satz von Filtern mit 1/ n -Oktav-Bandbreite analysiert, die den Effektivwert des Schalldrucks $\tilde{p}_k$ jedes Teilbandes mit $k = 1, \dots, K$ erzeugen.
- Der mittlere Schalldruck $\tilde{p}_m$ im angegebenen Frequenzband wird mit der folgenden Gleichung ermittelt:

$$\tilde{p}_m = \left[\frac{1}{K} \sum_{k=1}^K (\tilde{p}_k)^2 \right]^{1/2} \quad (20)$$

18.8 Mittlerer Schalldruckpegel in einem angegebenen Frequenzbereich

18.8.1 Festzulegende Bedingung

In Dezibel ausgedrückt: das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses zwischen p_m nach 18.7 und dem Standard-Bezugsschalldruck (20 μPa).

19 Frequenzgang der Grundschiwingung

19.1 Übertragungsfunktion

19.1.1 Festzulegende Bedingungen

Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und der Schalldruckausgabe $p(t, r)$ am Messpunkt r , gemessen unter Verwendung eines von dem höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ und dem Skalierungsfaktor α skalierten Breitbandstimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$. Es müssen die Eigenschaften des Stimulus $u(t)$, die Messzeit T_s und entweder der Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\max}$ oder der Skalierungsfaktor α angegeben werden.

ANMERKUNG Bei der Messung mit einem Stimulus mit hoher Amplitude kann die Übertragungsfunktion durch nichtlineare und thermische Eigenschaften des DUT beeinträchtigt werden.

Die lineare Übertragungsfunktion muss im Kleinsignalbereich gemessen werden, und zwar unter Verwendung eines gedämpften Stimulus (Skalierungsfaktor $\alpha \leq 0,1$) oder durch Überprüfung des linearen Übertragungsverhaltens mittels Durchführung der Frequenzgangmessungen bei reduzierten Pegeln, bis sich der betrachtete Frequenzgang nicht mehr ändert.

19.1.2 Messverfahren

- Zur Ermittlung des nichtlinearen Verhaltens des DUT wird das elektroakustische System mit dem Stimulus $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\max} x(t)$ angeregt, und zwar unter Verwendung des höchsten Eingangswertes $\tilde{u}_{\max}$ und eines angegebenen Skalierungsfaktors α . Es wird empfohlen, ein sinusförmiges Chirp-Signal oder ein Mehrtonkomplex-Signal nach 8.1 und 8.4 zu verwenden.
- Am angegebenen Messpunkt r wird das Schalldrucksignal $p(t, r)$ gemessen und der Amplitudenzeiger der Grundschiwingung $\underline{P}_{\text{fund}}(f, r) = F\{p(t, r)\}$ in Bezug auf die Momentanfrequenz f wird unter Verwendung einer Zeit-Frequenz-Transformation wie der Fourier-Transformierten $F\{\}$ berechnet.
- Auf Grundlage des Stimulus $u(t)$ werden anhand der Frequenz-Zeit-Abbildung des Chirp $x(t)$ die Amplitudenzeiger der Grundschiwingung $\underline{U}(f)$ in Bezug auf die Momentanfrequenz f ermittelt.

ANMERKUNG 1 Die logarithmische Frequenz-Zeit-Abbildung des Chirp-Signals kann zur Trennung der Grundschiwingung und der Oberschwingungen herangezogen werden, siehe Farina [10].

- Die komplexe Übertragungsfunktion wird berechnet mit

$$\underline{H}(f, r) = \frac{\underline{P}_{\text{fund}}(f, r)}{\underline{U}(f)} \quad (21)$$

Daraus ergeben sich der Amplitudenfrequenzgang $|\underline{H}(f, r)|$ und der Phasengang $\varphi(f, r) = \arg(\underline{H}(f, r))$.

- Die Impulsantwort $h(t, r) = F^{-1}\{\underline{H}(f, r)\}$ kann anhand einer Frequenz-Zeit-Transformation wie dem Fourierintegral $F^{-1}\{\}$ berechnet werden.

ANMERKUNG 2 Auf die Impulsantwort kann eine Zeitfensterung (en: time windowing) angewendet werden, um Reflexionen von akustischen Grenzen (z. B. Wänden des Raums) zu unterdrücken und simulierte Freifeldbedingungen nach 9.3 herzustellen. Es kann eine korrigierte komplexe Übertragung erzeugt werden, indem auf die gefensterte Impulsantwort eine Fourier-Transformierte angewendet wird.

- Die mittlere Gruppenlaufzeit $\tau_{\text{mean}}(r)$ kann ermittelt werden, indem nach dem Maximum der Energie-Zeit-Kurve in der Impulsantwort $h(t, r)$ gesucht wird.

ANMERKUNG 3 Die Energie-Zeit-Kurve ist die Einhüllende der Impulsantwort, welche mit der Hilbert-Transformierten berechnet werden kann. Eine hilfreiche Annäherung ist der Logarithmus der quadrierten Impulsantwort.

- Die Restphase

$$\varphi_{\text{res}}(f, r) = \varphi(f, r) - 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(r) \quad (22)$$

repräsentiert das Minimalphasen- und Allpass-Verhalten des DUT getrennt von der Phase, die der mittleren Gruppenlaufzeit [20] entspricht.

- Der „abgewickelte“ Gesamt-Phasengang

$$\varphi_{\text{un}}(f, r) = \varphi_{\text{res}}(f, r) + 360^\circ f \tau_{\text{mean}}(r) \quad (23)$$

wird durch „Abwickeln“ (en: unwrapping) des Restphasengangs und Hinzufügen der Phase, die der mittleren Gruppenlaufzeit entspricht, berechnet.

ANMERKUNG 4 Das Abwickeln ist bei frequenzdiskreten Phasendaten (zumindest in der Akustik) ein notwendiger, aber nicht ganz unproblematischer, da geräuschempfindlicher und fehleranfälliger Vorgang.

Die Frequenzauflösung muss so hoch sein, dass die Phasendifferenz zwischen zwei diskreten Frequenzen $\pm 90^\circ$ nicht überschreitet.

i) Der Gruppenlaufzeitgang

$$\tau(f) = -\frac{1}{360^\circ} \frac{d\varphi_{un}(f)}{df} \quad (24)$$

kann mittels Ableitung des abgewickelten Gesamt-Phasengangs $\varphi_{un}(f, r)$ berechnet werden.

j) Es werden geglättete Kurven des Amplitudenfrequenzgangs und des Phasengangs erzeugt, indem eine spektrale Mittelung des Frequenzgangs $\underline{H}(f, r)$ vorgenommen wird, wobei die angewendete Glättungstechnik (komplexe Mittelung oder separate Mittelung von Pegel- und Phasengang) sowie die verwendete Glättungsbandbreite B , die typischerweise zwischen der 1/3-Oktave und der 1/12-Oktave liegt, angegeben werden.

ANMERKUNG 5 Die spektrale Mittelung erzeugt verschmierte Kurven, was die folgenden Vorteile mit sich bringt:

- bessere visuelle Trennung mehrerer auf der gleichen Achse dargestellter Kurven, z. B. direktionale Frequenzgänge außerhalb der Achsrichtung
- Umrechnung der linearen Mittelung in die äquivalente exponentielle Mittelung
- anstelle der Mittelung der Ergebnisse mehrerer Geräte z. B. ein virtuelles perfektes Musterteil (Golden Sample) zur Erzeugung der Grenzabweichungen
- einfachere Interpretation der Spitzen und Einbrüche hinsichtlich der spektralen Hörbarkeit
- weniger durch schlechtes Signal-Rausch-Verhältnis und Raumflexionen verursachte Fehler in der Originalmessung

Der Amplitudenfrequenzgang der Übertragungsfunktion kann als das Zwanzigfache des Logarithmus des Verhältnisses zwischen dem Absolutwert der komplexen Übertragungsfunktion $|\underline{H}(f, r)|$ und c_{ref} mit einem angegebenen Bezugswert (z. B. 1 Pa/V) dargestellt werden.

19.2 SPL-Frequenzgang

19.2.1 Festzulegende Bedingungen

Der Schalldruckpegel $SPL(f, r)$ als Funktion der Frequenz, gemessen unter normalen Bedingungen am Messpunkt r , und zwar unter Verwendung eines Schmalbandsignals mit der Bandbreite B und der Mittenfrequenz f . Das Eingangssignal $u(t) = \alpha \tilde{u}_{\text{max}} x(t)$ verfügt über einen konstanten Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ für alle Frequenzen f , die im Bemessungsfrequenzbereich variiert werden. Es müssen die Eigenschaften des Stimulus $u(t)$, die Messzeit T_s und entweder der Effektivwert $\tilde{u} = \alpha \tilde{u}_{\text{max}}$ oder der Skalierungsfaktor α angegeben werden.

ANMERKUNG Der bei hohen Amplituden gemessene SPL-Frequenzgang hängt von der Interaktion zwischen dem Stimulus und den linearen, nichtlinearen und thermischen Eigenschaften des DUT ab.

Die linearen Eigenschaften müssen im Kleinsignalbereich gemessen werden, und zwar unter Verwendung eines kleinen Skalierungsfaktors ($\alpha \leq 0,1$) oder durch Überprüfung des linearen Übertragungsverhaltens mittels Durchführung der Frequenzgangmessungen bei reduzierten Pegeln, bis sich der betrachtete Frequenzgang nicht mehr ändert.

Die grafische Darstellung des SPL-Frequenzgangs muss IEC 60263 entsprechen, um sicherzustellen, dass die Ergebnisse nicht gedehnt oder komprimiert wurden.

19.2.2 Messverfahren

- Der Lautsprecher muss unter normalen Messbedingungen betrieben werden.
- Wenn der höchste Eingangswert $\tilde{u}_{\text{max}}$ vom Hersteller nicht angegeben wird, kann dieser Wert unter Verwendung des höchsten Bemessungs-Schalldruckpegels SPL_{max} nach 18.6 ermittelt werden.

- c) Für jede Frequenz f im Bemessungsfrequenzbereich $f_l \leq f \leq f_u$ kann der $SPL(f)$ durch eines der beiden folgenden Verfahren ermittelt werden:
- 1) Anregen des DUT mit einem stationären Ton oder mit einem schmalbandgefilterten Rauschsignal mit der angegebenen Bandbreite B mit einem Effektivwert $\alpha u_{\max}$ innerhalb der Messzeit T_s . Am Messpunkt r wird der Schalldruck $p(t, r)$ gemessen und mit einem Bandpassfilter der definierten Bandbreite B und Mittenfrequenz f gefiltert, um Rauschen und nichtlineare Verzerrung, die von dem DUT erzeugt werden, zu reduzieren, bevor der Schalldruckpegel berechnet wird.
 - 2) Messen der Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r)$ anhand eines Breitbandstimulus innerhalb der Messzeit T_s nach 19.1. Der $SPL(f)$ in dB wird berechnet mit

$$SPL(f, r) = 20 \log \left(\frac{|H(f, r)| \alpha \tilde{u}_{\max}}{p_0} \right) \quad (25)$$

unter Verwendung des Bezugsschalldrucks ($p_0 = 20 \mu\text{Pa}$).

- 3) Bei ausreichender spektraler Auflösung über dem Bemessungsfrequenzband werden die Messungen durchgeführt. Wenn die Bandbreite B der spektralen Mittelung vom Hersteller angegeben wurde, kann eine zusätzliche Glättung des Frequenzgangs erfolgen. Die Ergebnisse müssen in einem Graph als Funktion der Frequenz dargestellt werden und die Messbedingung muss angegeben werden.

19.3 Zeitabhängige Amplitudenkompression der Grundschiwingung

Die Amplitudenkompression $C(f, t_m)$ ist die Pegeldifferenz zwischen dem Amplitudenfrequenzgang einer zeitabhängigen Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, t_m)$, gemessen im Intervall $t_m < t < t_m + T_s$, und der linearen Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max})$, gemessen mit einem Breitbandstimulus bei einem gedämpften höchsten Eingangswert $\alpha u_{\max}$.

ANMERKUNG Die Amplitudenkompression $C(f, t_m)$ ist eine zeitabhängige Größe (d. h. Reduktion oder Erhöhung der Grundschiwingung), welche von der Schwingungspulenteperatur und inhärenten Nichtlinearitäten des zu prüfenden Geräts abhängt. Die Amplitudenkompression entspricht dem negativen Wert der normalisierten Übertragungsfunktion nach Definition in der Norm CTA 2010-B.

19.3.1 Messverfahren

- a) Das DUT wird an die Umgebungstemperatur angepasst.
- b) Die lineare Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max})$ wird anhand eines Breitbandstimulus mit einem Effektivwert $\alpha u_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1\text{s}$ nach 19.1 gemessen.
- c) Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, t_m)$ wird anhand eines Breitbandstimulus innerhalb des Messintervalls $t_m < t < t_m + T_s$ nach 19.1 gemessen.
- d) Der Gang der zeitabhängigen Amplitudenkompression ist zu berechnen mit

$$C(f, t_m) = 20 \log(|\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max})|) - 20 \log(|\underline{H}(f, r, t_m)|) \quad (26)$$

19.4 Amplitudenkompression bei höchstem Eingangswert

19.4.1 Kurzzeit-Amplitudenkompression

Die Kurzzeit-Amplitudenkompression $C_{\text{short}}(f)$ ist die Pegeldifferenz zwischen dem Amplitudenfrequenzgang der Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, u_{\max})$, gemessen mit einem Breitbandstimulus bei höchstem Eingangs-

wert $\tilde{u}_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1$ s, und der linearen Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max})$, gemessen mit dem gleichen Stimulus bei einem gedämpften höchsten Eingangswert $\alpha u_{\max}$.

ANMERKUNG Die Kurzzeit-Amplitudenkompression $C_{\text{short}}(f)$ zeigt die nichtlinearen Mechanismen des Wandlers, den Effekt des Schutzsystems und die begrenzenden Effekte anderer Elektronik (z. B. Verstärker).

19.4.2 Messverfahren

- Das DUT wird an die Umgebungstemperatur angepasst.
- Die lineare Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max})$ wird anhand eines festgelegten Breitbandstimulus mit einem Effektivwert $\alpha u_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1$ s nach 19.1 gemessen.
- Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, u_{\max})$ wird anhand eines festgelegten Breitbandstimulus mit dem höchsten Eingangswert $u_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1$ s nach 19.1 gemessen.
- Der Gang der Langzeit-Amplitudenkompression ist zu berechnen mit

$$C_{\text{short}}(f) = 20 \log \left(\left| \underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha u_{\max}) \right| \right) - 20 \log \left(\left| \underline{H}(f, r, u_{\max}) \right| \right) \quad (27)$$

19.4.3 Langzeit-Amplitudenkompression

Die Langzeit-Amplitudenkompression $C_{\text{long}}(f)$ ist die Pegeldifferenz zwischen dem Amplitudenfrequenzgang der Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, \tilde{u}_{\max})$, gemessen mit einem Breitbandstimulus bei höchstem Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1$ s nach dem Anwenden einer Vor-Anregungszeit des DUT mit dem gleichen Stimulus für $T_{\text{pre}} = 1$ min, und der linearen Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha \tilde{u}_{\max})$, gemessen mit dem gleichen Stimulus bei einem gedämpften höchsten Eingangswert $\alpha \tilde{u}_{\max}$.

ANMERKUNG Die Langzeit-Amplitudenkompression $C_{\text{long}}(f)$ zeigt die thermischen und nichtlinearen Mechanismen des Wandlers und den Effekt des aktiven Schutzsystems, das den größten Ausgangswert des zu prüfenden Geräts begrenzt.

19.4.4 Messverfahren

- Das DUT wird an die Umgebungstemperatur angepasst.
- Die lineare Übertragungsfunktion $\underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha \tilde{u}_{\max})$ wird anhand eines festgelegten Breitbandstimulus mit einem Effektivwert $\alpha \tilde{u}_{\max}$ innerhalb der Messzeit $T_s = 1$ s nach 19.1 gemessen.
- Nach dem Anregen des DUT mit einem Breitbandstimulus $u(t)$ mit dem höchsten Eingangswert $\tilde{u}_{\max}$ für eine Vor-Anregungszeit $T_{\text{pre}} = 1$ min wird die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, \tilde{u}_{\max})$ mit dem gleichen Stimulus für die Messzeit $T_s = 1$ s nach 19.1 gemessen.
- Der Gang der Langzeit-Amplitudenkompression ist zu berechnen mit

$$C_{\text{long}}(f) = 20 \log \left(\left| \underline{H}_{\text{lin}}(f, r, \alpha \tilde{u}_{\max}) \right| \right) - 20 \log \left(\left| \underline{H}(f, r, \tilde{u}_{\max}) \right| \right) \quad (28)$$

19.5 Korrekturen auf Grundlage einer Freifeld-Bezugsmessung

Wenn die Kennwerte der Niederfrequenzabsorption der akustischen Prüfumgebung (Wände des Raums, Einrichtung usw.) eine Abweichung von den Freifeldbedingungen zur Folge haben, welche eine präzise Messung der Freifeldantwort unter Fernfeldbedingungen im Bemessungsfrequenzbereich nach Abschnitt 16 unmöglich macht, darf die Niederfrequenzmessung korrigiert werden, und zwar entweder mittels Filterung des gemessenen Schalldrucksignals mit der komplexen Raumkorrekturfunktion oder mittels Korrektur des resultierenden Amplitudenfrequenzgangs anhand einer echtwertbasierten Raumkorrekturfunktion.

Es muss ein Bezugslautsprecher mit einem Bündelungsmaß DI nach 20.2.4 ausgewählt werden, das über den Frequenzbereich, in dem eine Korrektur erforderlich ist, um höchstens 0,5 dB von dem Bündelungsmaß DI des zu prüfenden Geräts (DUT) abweicht; die kalibrierte Freifeldantwort des Lautsprechers muss sich außerdem bis zu der niedrigsten betrachteten Frequenz erstrecken.

19.5.1 Korrektur des gemessenen Schalldrucksignals

Dieses Verfahren filtert das gemessene Schalldrucksignal mit der Raumkorrekturfunktion, wodurch jedwede Phasen- oder Amplitudenverzerrung vor der Analyse des Signals kompensiert wird. Dies ist sowohl für eine präzise Messung der nichtlinearen Verzerrung als auch für die Anwendung einer Fensterung der Impulsantwort auf das zu prüfende Gerät erforderlich.

- a) Die komplexe Übertragungsfunktion $H_{free}(f, r)$ des unter Freifeldbedingungen betriebenen Bezugslautsprechers muss bei einem definierten Messpunkt r (z. B. Abstand r auf der Bezugsachse) gemessen werden.

Bei einem Bezugslautsprecher, der nur für die Wiedergabe tiefer Frequenzen ausgelegt ist, wie ein Subwoofer, ist eine reflexionsfreie Halbraumbedingung einzusetzen, sofern an dem DUT in der nichtreflexionsfreien Prüfumgebung eine Halbraummessung, bei der das Mikrofon auf den Fußboden gelegt wird, vorgenommen wird.

Bei einem Bezugslautsprecher mit begrenztem Frequenzgang bei tiefen Frequenzen (Hauptresonanz über 150 Hz) können Messungen in einem sehr großen reflexionsfreien Raum (z. B. 8 m × 10 m × 12 m) hinreichend präzise sein.

Bei Bezugslautsprechern mit erweitertem Frequenzgang bei tiefen Frequenzen sind möglicherweise Messungen auf einem Turm (typischerweise 10 m oder höher über dem Boden) an der freien Luft erforderlich.

Vorausgesetzt, dass keine Änderung der Laufzeit und keine Reduktion der spektralen Auflösung, die zur Erfassung der Eigenschaften des Bezugslautsprechers erforderlich ist, auftritt, darf die Impulsantwort gefenstert werden, um Rauschen zu unterdrücken.

- b) Der Bezugslautsprecher muss so in dem Raum oder der nichtreflexionsfreien Prüfumgebung platziert werden, dass sein Bezugspunkt r_{ref} und seine Bezugsachse die Positionen des zu prüfenden Geräts einnehmen.

Der abgestrahlte Schalldruck, den der unter Prüfbedingungen betriebene Bezugslautsprecher erzeugt, muss an dem gleichen Messpunkt (z. B. Abstand r auf der Bezugsachse) wie in Schritt a) ermittelt werden.

Die komplexe Übertragungsfunktion $H_{test}(f, r)$ muss nach 19.1 bestimmt werden. Vorausgesetzt, dass keine Änderung der Laufzeit und keine Reduktion der spektralen Auflösung, die zur Erfassung der Eigenschaften des Bezugslautsprechers sowie der Interaktion mit den Grenzen (z. B. Wänden des Raums) erforderlich ist, auftritt, darf die Impulsantwort gefenstert werden, um Rauschen zu unterdrücken.

ANMERKUNG Bei der Messung des Frequenzgangs bei tiefen Frequenzen eines Lautsprechersystems mit mehreren Einheiten ist der Bezugspunkt idealerweise der Bezugspunkt der Basseinheit.

- c) Die komplexe Raumkorrekturfunktion $C_{room}(f) = H_{free}(f)/H_{test}(f)$ muss als das Verhältnis zwischen der unter Freifeldbedingungen und der unter Prüfbedingungen gemessenen Übertragungsfunktion berechnet werden.
- d) Der Bezugslautsprecher muss durch das DUT ersetzt und das Schalldrucksignal mit derselben Einrichtung gemessen werden. Das Schalldrucksignal $p(t)$ muss mit der komplexen Raumkorrekturfunktion $C_{room}(f)$ gefiltert werden, um das korrigierte Schalldrucksignal $p'(t)$ mit dem Spektrum $P'(f) = P(f)C_{room}(f)$ zu erzeugen. Das korrigierte Schalldrucksignal $p'(t)$ ist die Grundlage für die Verarbeitung von spektralen und transienten Signalen zur Berechnung der komplexen Übertragungsfunktion $H_{DUT}(f)$ des DUT und der Verzerrungsanteile.

19.5.2 Korrektur des Amplitudengangs

Dieses Verfahren wendet eine Korrekturkurve auf den gemessenen Pegel des Amplitudengangs der Grundschwingung an. Diese Korrekturkurve darf nur zur Korrektur des Frequenzgangs bei niedrigen Frequenzen (< 500 Hz) unter Verwendung definierter Fensterungseigenschaften angewendet werden. Diese Technik kann nicht zur Korrektur der Messergebnisse nichtlinearer Verzerrung herangezogen werden.

- a) Der Amplitudengang $L_{free}(f) = 20 \log |H_{free}(f)|$ des unter Freifeldbedingungen betriebenen Bezugslautsprechers muss bei einem definierten Messpunkt r (z. B. Abstand r auf der Bezugsachse) gemessen werden.

Bei einem Bezugslautsprecher, der nur für die Wiedergabe tiefer Frequenzen ausgelegt ist, wie ein Subwoofer, ist eine reflexionsfreie Halbraumbedingung einzusetzen, sofern an dem DUT in der nichtreflexionsfreien Prüfumgebung eine Halbraummessung, bei der das Mikrofon auf den Fußboden gelegt wird, vorgenommen wird.

Bei einem Bezugslautsprecher mit begrenztem Frequenzgang bei tiefen Frequenzen (Hauptresonanz über 150 Hz) können Messungen in einem sehr großen reflexionsfreien Raum (z. B. 8 m × 10 m × 12 m) hinreichend präzise sein.

Bei Bezugslautsprechern mit erweitertem Frequenzgang bei tiefen Frequenzen sind möglicherweise Messungen auf einem Turm (typischerweise 10 m oder höher über dem Boden) an der freien Luft erforderlich. Auf die Impulsantwort muss ein Fenster angewendet werden, das groß genug ist, um für das zu prüfende Gerät bei niedrigen Frequenzen eine ausreichende spektrale Auflösung zu bieten.

- b) Der Bezugslautsprecher muss so in dem Raum oder der nichtreflexionsfreien Prüfumgebung platziert werden, dass sein Bezugspunkt r_{ref} und seine Bezugsachse die Positionen des zu prüfenden Geräts einnehmen.

Der abgestrahlte Schalldruck, den der unter Prüfbedingungen betriebene Bezugslautsprecher erzeugt, muss an dem gleichen Messpunkt (z. B. Abstand r auf der Bezugsachse) wie in Schritt a) ermittelt werden.

Der Amplitudengang $L_{test}(f) = 20 \log |H_{test}(f)|$ des unter Prüfbedingungen betriebenen Bezugslautsprechers muss nach 19.1 ermittelt werden. Es ist die gleiche Fensterung wie unter Freifeldbedingungen anzuwenden.

ANMERKUNG Bei der Messung des Frequenzgangs bei tiefen Frequenzen eines Lautsprechersystems mit mehreren Einheiten ist der Bezugspunkt idealerweise der Bezugspunkt der Basseinheit.

- c) Die echtwertbasierte Korrekturkurve $C_{room}(f) = L_{free}(f) - L_{test}(f)$ muss als die Differenz zwischen dem unter Freifeldbedingungen und dem unter Prüfbedingungen gemessenen Amplitudengang berechnet werden.
- d) Der Bezugslautsprecher muss durch das DUT ersetzt und der unkorrigierte Amplitudengang $L_{DUT,test}(f)$ des Schalldrucks mit derselben Einrichtung gemessen werden. Es ist die gleiche Fensterung wie unter Freifeldbedingungen anzuwenden.
- e) Der korrigierte Amplitudengang $L_{DUT}(f) = L_{DUT,test}(f) + C_{room}(f)$ des DUT ist durch Hinzufügen der Raumkorrekturkurve zu dem unkorrigierten Amplitudengang zu berechnen.

19.6 Wirksamer Frequenzbereich

19.6.1 Festzulegende Bedingungen

Der durch angegebene obere und untere Grenzwerte begrenzte Frequenzbereich, für den der gemessene Frequenzgang $SPL(f)$ des Lautsprechers nach 19.2, gemessen an der Bezugsachse und geglättet mit einer Bandbreite B , nicht mehr als 10 dB unter dem mittleren Schalldruckpegel SPL_{mean} , gemittelt über einem angegebenen Frequenzbereich (typischerweise dem Bemessungsfrequenzbereich), liegt. Die bevorzugte Bandbreite für die Glättung beträgt 1/12 Oktave.

19.6.2 Messverfahren

- a) Der Frequenzgang $SPL(f, r)$ ist im Bemessungsfrequenzbereich nach Abschnitt 16 bei einer Auflösung zu messen, die einem Schmalbandfilter mit einer relativen Bandbreite B entspricht. Wenn nicht der Standardwert von 1/12 Oktave verwendet wird, muss die relative Bandbreite B angegeben werden.
- b) Der mittlere Schalldruckpegel SPL_{mean} wird nach 18.7 im angegebenen Frequenzbereich berechnet.
- c) Der wirksame Frequenzbereich ist als der Frequenzbereich zu bestimmen, in dem der geglättete Frequenzgang nicht mehr als 10 dB unter dem mittleren Schalldruckpegel SPL_{mean} liegt.

19.7 Interne Latenz

19.7.1 Festzulegende Bedingungen

Die interne Latenz des DUT ist die Differenz zwischen der mittleren Gruppenlaufzeit des DUT und der Zeit, welche die Schallwelle benötigt, um sich von dem Bezugspunkt r_{ref} zu dem Messpunkt r auszubreiten.

ANMERKUNG Bei vielen elektronischen Geräten wird unter der Latenz die Laufzeit eines Signals zwischen den Eingangs- und Ausgangsanschlüssen verstanden. Bei einem Lautsprecher wird das Ausgangssignal am Bezugspunkt r_{ref} ausgewertet, welcher je nach Frequenz nicht unbedingt identisch mit dem akustischen Zentrum ist. Die interne Latenz ist also eine grobe Schätzung der Zeitverzögerung, die von den elektronischen Bauelementen im Lautsprecher erzeugt wird.

19.7.2 Messverfahren

- a) Es muss die mittlere Gruppenlaufzeit $\tau_{\text{mean}}(r)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und dem Schalldrucksignal $p(t, r)$ am angegebenen Messpunkt r nach 19.1.2 f) gemessen werden.
- b) Die interne Latenz, die durch die digitale Signalverarbeitung und andere elektronische Bauelemente verursacht wird, muss mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\tau_{\text{lat}} = \tau_{\text{mean}} - \frac{|r - r_{\text{ref}}|}{c} \quad (29)$$

Dabei ist c die Schallgeschwindigkeit.

20 Richtungskennwerte

Der direkte Schall, der von dem zu prüfenden Gerät abgestrahlt wird, wird durch Richtungskennwerte beschrieben, anhand derer der Schalldruck an bestimmten Punkten im Verhältnis zur Quelle vorhergesagt wird. Wenn für das zu prüfende Gerät nur Fernfelddaten gemessen werden, kann der Schalldruck nur für Punkte innerhalb des ungefähren Fernfelds des Geräts modelliert werden. Auf der Grundlage einer umfassenderen 3D-basierten Messung, die im Nahfeld durchgeführt wird, in Kombination mit Wellenausbreitungstechniken, kann sowohl das Nahfeld als auch das Fernfeld des Geräts modelliert werden.

20.1 Direktes Schallfeld im dreidimensionalen Raum

20.1.1 Direktionale Übertragungsfunktion

20.1.1.1 Festzulegende Bedingungen

Die direktionale Übertragungsfunktion $H(f, r, \theta, \phi)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und dem Schalldruck $p(t, r)$ des direkten, am Messpunkt r gemessenen Schalls muss festgelegt werden. Der Messpunkt r wird durch die Kugelkoordinaten Abstand r , Azimutwinkel ϕ und Winkel θ in der angegebenen akustischen Umgebung nach Abschnitt 9 beschrieben.

20.1.1.2 Messverfahren

- a) Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ muss unter Freifeld- oder unter simulierten Freifeldbedingungen nach Abschnitt 9 gemessen werden, außer wenn der Einfluss der akustischen Umgebung (z. B. begrenzte Maße der Schallwand) nicht vom DUT getrennt werden kann.
- b) Die Position der Messpunkte wird anhand von Kugelkoordinaten in der betrachteten Region definiert, und zwar mit der räumlichen Auflösung, die für die jeweilige Anwendung erforderlich ist.
- c) Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ wird nach 19.1 gemessen, und zwar unter Verwendung eines gedämpften Stimulus (Skalierungsfaktor $\alpha = 0,1$) oder durch Überprüfung des linearen Übertragungsverhaltens mittels Durchführung der Frequenzgangmessungen bei reduzierten Pegeln, bis sich der betrachtete Frequenzgang nicht mehr ändert.

ANMERKUNG 1 Bei Systemen, für die nur Fernfelddaten gefordert werden, ist es allgemein üblich, die directionale Übertragungsfunktion bei einem festen Abstand r zu messen, der ungefähr im Fernfeld des DUT liegt ($r > r_{far}$).

ANMERKUNG 2 Die Messungen, die an zwei Messpunkten mit der gleichen Richtung ($\theta_1 = \theta_2, \phi_1 = \phi_2$) aber mit unterschiedlichen Abständen ($r_1 \neq r_2$) durchgeführt werden, können zur Überprüfung der Fernfeldbedingung und zur Bestimmung des kritischen Abstands r_{far} nach 10.2.1 verwendet werden.

20.1.2 Extrapolierte Fernfelddaten**20.1.2.1 Festzulegende Bedingungen**

Eine directionale Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r_2, \phi_2, \theta_2)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und dem Schalldruck $p(t, r_2)$ des direkten Schalls im Fernfeld bei dem Abstand $r_2 > r_{far}$ und den Winkeln (ϕ_2, θ_2) wird aus einer Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r_1, \phi_1, \theta_1)$ extrapoliert, die im Fernfeld bei dem Abstand $r_1 > r_{far}$ und bei den gleichen Winkeln ($\phi_1 = \theta_2, \theta_1 = \theta_2$) gemessen wird.

20.1.2.2 Messverfahren

- a) Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1)$ muss im Fernfeld bei dem Abstand $r_1 > r_{far}$ unter Freifeld- oder unter simulierten Freifeldbedingungen nach Abschnitt 9 gemessen werden, außer wenn der Einfluss der akustischen Umgebung (z. B. begrenzte Maße der Schallwand) nicht vom DUT getrennt werden kann.
- b) Die Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2)$ zu einem Punkt beim Abstand $r_2 > r_{far}$ in der gleichen Richtung wird berechnet mit

$$\underline{H}(f, r_2, \theta_2, \phi_2) = \underline{H}(f, r_1, \theta_1, \phi_1) \frac{r_1}{r_2} e^{-jk(r_2 - r_1)} \quad (30)$$

20.1.3 Parameter der holografischen Schallfeldausbreitung**20.1.3.1 Festzulegende Bedingungen**

Die Koeffizienten $C(f)$, die Approximationsordnung $N(f)$ in Abhängigkeit von der Frequenz f , der Gültigkeitsradius a und die allgemeinen Aufbaufunktionen $B(f, r)$ der Wellenausbreitung beschreiben die directionale Übertragungsfunktion

$$\underline{H}(f, r) = C(f)B(f, r) \quad (31)$$

zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und der Schalldruckausgabe $p(t, r)$ am Messpunkt r bei einem Abstand $r = |r - r_{ref}|$ von dem Bezugspunkt r_{ref} , der größer ist als der Gültigkeitsradius a nach Darstellung in Bild 3.

ANMERKUNG Die Aufbaufunktionen $B(f,r)$ sind allgemeine Lösungen der Wellengleichung, die unabhängig von den Eigenschaften des jeweiligen DUT sind. Kugelflächenfunktionen und Hankel-Funktionen sind geeignete Aufbaufunktionen der Schallwellen, die von einem kompakten Schallsystem wie dem in B.1 dargestellten erzeugt werden.

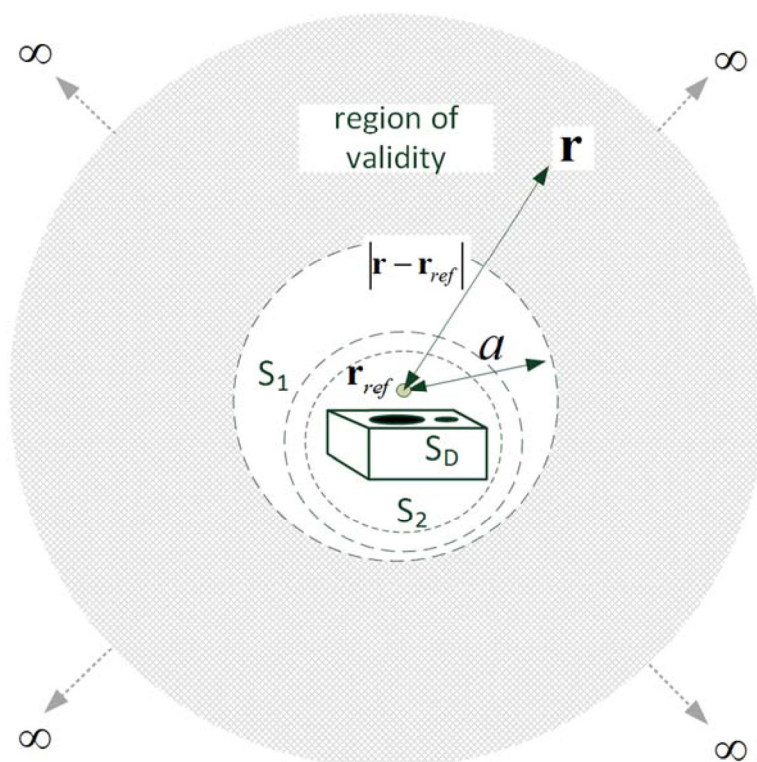
Der Gültigkeitsbereich muss durch Festlegung des Raums der Ausbreitung (2π -Halbraum oder 4π -Vollraum) und des Radius der Kugelfläche, die außerhalb der Abtastungsfläche S_s liegt, definiert werden.

20.1.3.2 Messverfahren

- a) Unter Sicherstellung einer ausreichenden räumlichen Auflösung werden die verschiedenen Messpunkte r_i mit $i = 1, \dots, M$ auf mindestens einer Abtastungsfläche S_k mit $k = 1, \dots$ im Nah- oder Fernfeld des DUT definiert.

ANMERKUNG Eine simulierte Freifeldbedingung nach 9.3 und 9.4 lässt sich erzeugen, indem eine zusätzliche Abtastung auf einer zweiten Abtastungsfläche S_2 durchgeführt wird, welche zwischen der Oberfläche S_D des DUT und der ersten Abtastfläche S_1 platziert wird, wie in Bild 3 dargestellt. Mit Wellentrennungstechniken [6] kann der ausgehende direkte Schall von dem eingehenden reflektierten Schall, der von der akustischen Umgebung erzeugt wird, getrennt werden.

- b) Die Übertragungsfunktionen $\underline{H}(f, r_i)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und dem Schalldruck $p(t, r_i)$ an den Messpunkten r_i mit $i = 1, \dots, M$ werden auf den Abtastungsflächen S_k mit $k = 1, 2, \dots$ nach 19.1 gemessen.
- c) Die Koeffizienten der Reihenentwicklung $C(f)$ werden geschätzt, wobei sichergestellt wird, dass der Anpassungsfehler, bei dem es sich um das Quadrat der Differenz zwischen dem gemessenen und dem vorhergesagten Schalldruck an allen Messpunkten r_i mit $i = 1, \dots, M$ handelt, einen kleinstmöglichen Wert annimmt. Die Ordnung $N(f)$ wird bestimmt, um sicherzustellen, dass der Anpassungsfehler der Wellenausbreitung stets unterhalb eines definierten Schwellenwertes liegt. Der Radius a , der die Gültigkeit der Ausbreitung beschreibt, wird ermittelt, indem nach der Kugelfläche mit dem kleinsten Radius, deren Zentrum der Bezugspunkt r_{ref} bildet und welche die Abtastungsfläche S_l umgibt, gesucht wird.



Text im Bild:

englisch
region of validity

deutsch
Gültigkeitsbereich

Bild 3 – Gültiger Bereich der Ausbreitung des Schalldrucks $p(r)$ am Beobachtungspunkt r in dem Abstand $r > a$

20.1.4 Extrapolierte Nahfelddaten

20.1.4.1 Festzulegende Bedingungen

Die direktionale Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r)$ zwischen dem Eingangssignal $u(t)$ und der Schalldruckausgabe $p(t, r)$ an einem Auswertungspunkt r bei einem Abstand $r = |r - r_{ref}|$ von dem Bezugspunkt r_{ref} , der größer ist als der Gültigkeitsradius a , kann auf Grundlage der Parameter der holografischen Schallfeldausbreitung berechnet werden.

20.1.4.2 Messverfahren

- Es müssen die Parameter der holografischen Schallfeldausbreitung unter Verwendung des abgetasteten Schalldrucks im Nahfeld des DUT nach 19.1 ermittelt werden. Die Koeffizienten $C(f)$, die Ordnung $N(f)$ der Ausbreitung und der Gültigkeitsradius a müssen angegeben werden.

Der Schalldruck im Nahfeld des DUT muss abgetastet werden, um einen Mindestwert des Gültigkeitsradius a zu ermitteln und um den Schalldruck an einem beliebigen Punkt r im Nah- oder Fernfeld des DUT in einem Abstand $r > a$ zu extrapolieren.

- Die direktionale Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r) = C(f)B(f, r)$ muss an einem Auswertungspunkt r in einem Abstand $r = |r - r_{ref}| > a$ auf der Grundlage gegebener Koeffizienten $C(f)$ und definierter Basislösungen $r = |r - r_{ref}| > a$ der Wellengleichung berechnet werden.

20.2 Direktionale Fernfeld-Kenndaten

20.2.1 Richtungsfaktor

20.2.1.1 Festzulegende Bedingungen

Der Richtungsfaktor

$$\Gamma(f, \theta, \phi) = \frac{\underline{P}(f, r, \theta, \phi)}{\underline{P}(f, r, \theta_r, \phi_r)} = \frac{\underline{H}(f, r, \theta, \phi)}{\underline{H}(f, r, \theta_r, \phi_r)} \quad (32)$$

ist das Verhältnis zwischen dem komplexen Schalldruckwert $\underline{P}(f, r, \theta, \phi)$ an einem beliebigen Azimutwinkel ϕ und einem beliebigen Polarwinkel θ zu dem Schalldruckwert $\underline{P}(f, r, \theta_r, \phi_r)$, der durch die im Fernfeld des DUT gemessenen Bezugswinkel ϕ_r und θ_r definiert wird. Dieses Verhältnis gilt auch bei Anwendung der Übertragungsfunktionen $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ und $\underline{H}(f, r, \theta_r, \phi_r)$. Sofern vom Hersteller nicht anders definiert, sind die Bezugswinkel $\phi_r = 0$ und $\theta_r = 0$, entsprechend dem Normalenvektor $\mathbf{n}_{ref}$ und dem Orientierungsvektor $\mathbf{o}_{ref}$ nach Abschnitt 10.

ANMERKUNG Es wird nicht empfohlen, die Bezugswinkel $\phi_r = \phi_{\max}(f)$ und $\theta_r = \theta_{\max}(f)$ von der Hauptabstrahlungsrichtung abzuleiten, die definiert wird durch

$$|\underline{H}(f, r, \theta_{\max}, \phi_{\max})| = \max_{\phi, \theta} (|\underline{H}(f, r, \theta, \phi)|) \quad (33)$$

In diesem Fall würde der Betrag des Richtungsfaktors $|\Gamma(f, r, \theta, \phi)| \leq 1$ zwar unter eins bleiben, die Bezugswinkel $\phi_r(f)$ und $\theta_r(f)$ würden jedoch generell mit der Frequenz f schwanken.

20.2.1.2 Messverfahren

- a) Für die Durchführung der Messungen wird eine der nachfolgend beschriebenen Vorgehensweisen ausgewählt:
 - 1) Die direktionalen Übertragungsfunktionen $\underline{H}(f, r_i)$ zwischen der Eingangsspannung und dem Ausgangsschalldruck werden nach 20.1.1 an mehreren Punkten r_i mit $i = 1, \dots, M$ im Fernfeld der Quelle bei einem festen Abstand r mit der definierten Winkelauflösung gemessen.
 - 2) Die Koeffizienten $C(f)$ der Wellenausbreitung werden nach 20.1.3 bestimmt. Mit der Wellenausbreitung wird die Schallausbreitung extrapoliert und der Schalldruck $\underline{P}(f, r, \theta, \phi)$ oder die Übertragungsfunktionen $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$ bei dem Abstand r im Fernfeld bestimmt.
- b) Der Richtungsfaktor wird auf Grundlage der Übertragungsfunktion $\underline{H}(f, r, \theta, \phi)$, gemessen bei einem Abstand r auf einer Kugelfläche im Fernfeld, oder unter Verwendung der Koeffizienten der Wellenausbreitung nach B.1.2 bestimmt.
- c) Die folgenden Darstellungsweisen der Richtcharakteristik müssen ausgewählt werden:
- d) Es muss eine der folgenden Darstellungsweisen der Richtcharakteristik ausgewählt werden:
 - 1) Eine zweidimensionale Polardarstellung einer Schar von Frequenzgangkurven in der Vertikal- und der Horizontalebene, zumindest an den bevorzugten Frequenzen von 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz und 8 000 Hz anzugeben
 - 2) Dreidimensionale Polardarstellungen der Frequenzgangflächen (Balloon-Diagramme), zumindest an den bevorzugten Frequenzen 500 Hz, 1 000 Hz, 2 000 Hz, 4 000 Hz und 8 000 Hz anzugeben. Das Intervall des Azimutwinkels muss mindestens 10° betragen.
 - 3) Eine Schar von Frequenzgangkurven von Schalldruckpegel oder -phase bei verschiedenen Winkeln ausgehend von der Bezugsachse. Das Intervall des Azimutwinkels muss mindestens 15° betragen.

- 4) Richtungsdarstellungen, in denen die Isolinien von Schalldruckpegel oder -phase im Verhältnis zu dem/der vertikalen/horizontalen Winkel und Frequenz dargestellt sind
- 5) Eine dreidimensionale Darstellung von Schalldruckpegel oder -phase bei einer angegebenen Frequenz

ANMERKUNG Diese Vorgehensweise entspricht AES-5id-1997 (1998) Room acoustics and sound reinforcement systems – Loudspeaker modelling and measurement – Frequency and angular resolution for measuring, presenting and predicting loudspeaker polar data.

Es muss unbedingt sichergestellt werden, dass signifikante Keulen und Nullstellen angemessen dargestellt werden. Hierzu ist in manchen Fällen gegebenenfalls ein Azimutwinkelintervall von 2° oder weniger erforderlich. Bei der Darstellung der Ergebnisse muss die Ausrichtung der Messachse im Verhältnis zu der Bezugsachse angegeben werden. Wenn ein Point-by-Point-Verfahren verwendet wird, müssen die verwendeten Winkel in dem Graph eindeutig kenntlich gemacht werden.

Bei sehr kleinen Lautsprechern, wie Hochtönlautsprechern, ist es gegebenenfalls erforderlich, höhere Frequenzen zu verwenden, die außerhalb der oben angegebenen Frequenzen liegen. Diese Frequenzen müssen den in A.2 angegebenen entsprechen.

Es ist darauf zu achten, dass der Pegel in der Richtung der Bezugswinkel dem Nullpegel des Polardiagramms entspricht.

20.2.2 Richtungsmaß

20.2.2.1 Festzulegende Bedingungen

In Dezibel ausgedrückt ist das Richtungsmaß

$$D(f, \theta, \phi) = 20 \log |\Gamma(f, \theta, \phi)| \quad (34)$$

als das Zwanzigfache des Logarithmus des nach 20.2.1 gemessenen Richtungsfaktor $\Gamma(f, \theta, \phi)$ festzulegen.

20.2.3 Bündelungsgrad

20.2.3.1 Festzulegende Bedingungen

Der Bündelungsgrad ist definiert als

$$Q(f) = \frac{4\pi}{\int_{\Omega} |\Gamma(f, \theta, \phi)|^2 d\Omega} \quad (35)$$

mit $d\Omega = \sin(\theta)d\phi d\theta$ durch Bildung des Integrals des quadrierten Richtungsfaktors über der Einheitskugel.

20.2.3.2 Messverfahren

- a) Der Richtungsfaktor $\Gamma(f, \theta, \phi)$ wird nach 20.2.1 mit einer definierten Winkelauflösung gemessen. Alternativ können die Koeffizienten $C(f)$ der Wellenausbreitung bestimmt werden, indem das Schalldruckfeld auf einer Abtastungsfläche S_k nach 20.1.3 abgetastet wird.
- b) Der Bündelungsgrad kann auf Grundlage des Richtungsfaktors $\Gamma(f, \theta, \phi)$ oder der Koeffizienten $C(f)$ der Wellenausbreitung nach B.1.3 berechnet werden.

ANMERKUNG In dem Sonderfall der Achsensymmetrie, in dem der von der Schallquelle erzeugte Richtungsfaktor $\Gamma(f, \theta, \phi)$ für jeden beliebigen Wert von θ unabhängig von dem Wert von ϕ ist, kann der Bündelungsgrad mit Gleichung (36) berechnet werden:

$$Q(f) = \frac{360^\circ}{\pi \sum_{n=1}^{180^\circ/\Delta\theta} |\Gamma(f, \theta_n)|^2 \sin \theta_n \Delta\theta} \quad (36)$$

Dabei ist $\Delta\theta$ die Trennung in Grad der aufeinanderfolgenden Punkte um die Schallquelle und $180^\circ/\Delta\theta$ ist die Anzahl der Messungen, die bei dem Übergang von einem Punkt direkt vor der Quelle zu einem Punkt direkt hinter der Quelle vorgenommen wurden (siehe Beranek [2], S. 165).

20.2.4 Bündelungsmaß

20.2.4.1 Festzulegende Bedingungen

In Dezibel ausgedrückt ist das Bündelungsmaß

$$DI(f) = 10 \log_{10} Q(f) \quad (37)$$

als das Zehnfache des Logarithmus des nach 20.2.3 gemessenen Bündelungsgrades $Q(f)$ festzulegen.

20.2.4.2 Messverfahren

Das Bündelungsmaß $DI(f)$ kann anhand eines der folgenden Verfahren bestimmt werden:

a) Berechnung auf der Grundlage der direktionalen Fernfeld-Kenndaten:

Der Richtungsfaktor $\Gamma(f, \theta, \phi)$ ist nach 20.2.1 bei einer ausreichenden Winkelauflösung zu messen. Das Bündelungsmaß $DI(f)$ wird auf Grundlage des gemessenen Bündelungsgrades $Q(f)$ nach 20.2.3 gemessen.

b) Berechnung auf Grundlage der Koeffizienten $C(f)$ der Wellenausbreitung:

Die Koeffizienten $C(f)$ der Wellenausbreitung werden nach 20.1.3 bestimmt und das Bündelungsmaß $DI(f)$ wird auf Grundlage des gemessenen Bündelungsgrades $Q(f)$ nach 20.2.3 berechnet.

c) Messungen unter Freifeldbedingungen und diffusen Bedingungen:

- 1) Die Schalldruckpegel-Antwort $SPL_{ax}(f)$ ist nach 19.2 unter Freifeldbedingungen an der Bezugsachse in einem Abstand von 1 m unter Verwendung eines gedämpften Breitbandstimulus (Dämpfungsfaktor $\alpha = 0,1$) zu messen.
- 2) Der Schalldruckpegel $SPL_{dif}(f)$ ist unter Diffusfeldbedingungen und unter Verwendung des gleichen gedämpften Breitbandstimulus zu messen.
- 3) Anschließend wird anhand der Gleichung das Bündelungsmaß $DI(f)$ bestimmt [19]:

$$DI(f) = SPL_{ax}(f) - SPL_{dif}(f) + 10 \lg(T(f)) - 10 \lg(V(f)) + 25 \quad (38)$$

Dabei ist

$SPL_{ax}(f)$ der Schalldruckpegel in dB unter Freifeldbedingungen, gemessen an der Bezugsachse und bezogen auf einen Abstand von 1 m,

$SPL_{dif}(f)$ der Schalldruckpegel in dB, gemessen unter Diffusfeldbedingungen,

$T(f)$ die Nachhallzeit des Hallraums in Sekunden,

$V(f)$ das Volumen des Hallraums in Kubikmetern.

20.3 Akustische Ausgangsleistung

20.3.1 Festzulegende Bedingungen

Die Gesamtschallleistung, die von einem DUT abgestrahlt wird, muss in einem gegebenen Frequenzband mit einer Mittenfrequenz f und einem definierten Eingangssignal $u(t)$, das einen Effektivwert $\tilde{u}(f)$ in diesem Frequenzband erzeugt, festgelegt werden.

20.3.2 Messverfahren

Die akustische Ausgangsleistung wird mittels eines der folgenden Verfahren bestimmt:

a) Integration des Fernfeld-Schalldrucks auf einer Kugelfläche:

Die akustische Ausgangsleistung kann durch Integrieren des Schalldrucks auf der Kugelfläche oder mit der Gleichung

$$\Pi(f) = \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} \tilde{p}^2(f, r, \theta, \phi) d\Omega$$

des Effektivschalldrucks $\tilde{p}(f, r)$ auf einer Kugelfläche im Fernfeld berechnet werden. Die akustische Leistung unter Freifeld-Vollraum-Bedingungen kann mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\Pi(f) = \frac{4\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,0316 r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)}$$

Dabei ist $\Pi(f)$ die akustische Leistung in W,

r ist der Radius der Kugelfläche in m,

$\overline{\tilde{p}^2(f)}$ ist das Quadrat des Schalldrucks gemittelt über eine große Kugelfläche in Pascal zum Quadrat und

ρ und c sind die Dichte und die Schallgeschwindigkeit in Luft unter Normbedingungen.

Die akustische Leistung unter Halbraum-Freifeld-Bedingungen muss mit der folgenden Gleichung bestimmt werden:

$$\Pi(f) = \frac{2\pi r^2}{\rho c} \overline{\tilde{p}^2(f)} = 0,016 r^2 \overline{\tilde{p}^2(f)} \quad (39)$$

Im Falle von Vollraum-Freifeld-Bedingungen ist das Quadrat des Effektivschalldrucks über eine große Kugelfläche zu mitteln und im Falle von Halbraum-Freifeld-Bedingungen über eine große Halbkugelfläche nach ISO 3744 und ISO 3745. In beiden Fällen wird eine große Anzahl von gleichmäßig um das gemessene System verteilten Punkten gefordert.

Wenn das System über axiale Rotationssymmetrie verfügt, sind Messungen in einer Ebene, welche diese Achse umfasst, möglicherweise ausreichend, sofern die Messungen bei der Mittelung entsprechend bewertet werden.

Alternativ darf die akustische Ausgangsleistung durch Integrieren der Übertragungsfunktion auf der Kugelfläche oder mit der Gleichung

$$\Pi(f) = \tilde{u}^2(f) \frac{r^2}{\rho c} \int_{\Omega} |H(f, r, \theta, \phi)|^2 d\Omega \quad (40)$$