

SURROUND SOUND FORUM

Eine Gemeinschaftsinitiative von VDT, IRT und SRT



INFORMATIONSDOKUMENT SSF – 04.1-2002

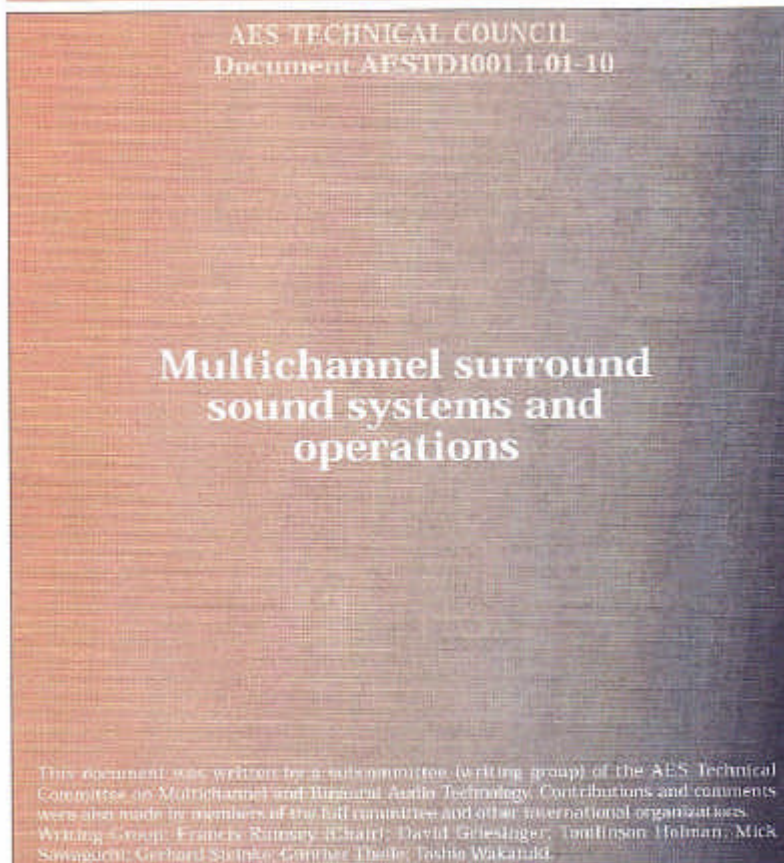
MEHRKANAL-SURROUND-SOUND: SYSTEME UND BETRIEBSANWENDUNGEN



Deutsche Übertragung von:

<http://www.tonmeister.de>

TECHNICAL DOCUMENT



Chairman:

Dr. Günther Theile, IRT
Floriansmühlstr. 60
80939 München
Tel.: 089 32399-324
Fax: 089 32399-351
E-mail: theile@irt.de



AUDIO ENGINEERING SOCIETY, INC.

INTERNATIONAL HEADQUARTERS

60 East 42nd Street, Room 2520 • New York, NY 10165-2520, USA

Tel: +1 212 661 8528 • Fax: +1 212 682 0477

E-mail: HQ@aes.org • Internet: <http://www.aes.org>

Stand: Juni 2002

MEHRKANAL-SURROUND-SOUND-SYSTEME UND BETRIEBSANWENDUNGEN

(MULTICHANNEL SURROUND SOUND SYSTEMS AND OPERATIONS)

1	Hintergrund.....	3
2	Einführung in 3/2- oder 5.1-Kanal-Stereofonie.....	3
3	Hierarchie von kompatiblen Mehrkanal-Tonsystemen für Rundfunk und Aufzeichnung... 4	
4	Referenz-Konfiguration.....	5
5	Erweiterung des tieffrequenten Bereichs.....	6
	5.1 LFE-Signal und –Kanal.....	6
	5.2 Separate Tieftonstrahler (Subwoofer) innerhalb der Standard-Konfiguration.....	7
	5.3 Berücksichtigung der Kanalzuordnung von tieffrequentem Programminhalt.....	8
6	Kontrolle/Überwachung.....	8
	6.1 Hörbedingungen – Allgemeines.....	8
	6.2 Parameter und Werte für Referenz-Hörbedingungen.....	9
	6.2.1 Vorschläge für einen Referenz-Hörraum (Tabelle 1).....	9
	6.2.2 Vorschläge für ein Referenz-Schallfeld am Hörort (Tabelle 2).....	10
	6.2.3 Grundgeräusch.....	12
	6.2.4 Vorschläge für Referenz-Monitor-Lautsprecher (Tabelle 3).....	13
	6.3 Alternativbedingungen für Mehrkanal-Mischräume (Tabelle 4).....	14
7	Programmaustausch.....	18
	7.1 Spurzuordnung in einem Acht-Kanal-Aufzeichnungsformat (Tabelle 5).....	19
	7.2 Aufzeichnungspegel.....	19
	7.2.1 Aufzeichnungspegel beim Filmtone.....	19
	7.3 Einstellsignale.....	20
	7.4 Einstellung des Wiedergabesystems.....	20
8	Zur Unterscheidung der Wiedergabeformate und Codierformate.....	22
9	Literaturhinweise.....	23

MEHRKANAL-SURROUND-SOUND-SYSTEME UND BETRIEBSANWENDUNGEN

I. HINTERGRUND

Mit diesem Dokument, herausgegeben vom AES-Technischen Komitee für Mehrkanal- und Binaural-Audio-Technologie, soll die sich entwickelnde Praxis der Konfiguration und Anwendung von Mehrkanal-Surround-Sound-Systemen dargestellt werden, wie sie in der Empfehlung ITU-R BS. 775-1 [1] beschrieben sind. Es ist beabsichtigt, die Studios mit diesen Entwicklungen bekannt zu machen, aber das Dokument soll größtenteils auch für die Konsumer-Gerätetechnik nützlich sein. Es handelt sich um keinen AES-Standard oder ein Informationsdokument, das innerhalb der AES einem Prozess zur Übereinstimmung mit dem Inhalt unterzogen wurde. Anliegen ist jedoch, die wichtigsten Merkmale der existierenden internationalen Standards zusammenzufassen, die sich mit der Mehrkanal-Tonaufnahme und -wiedergabe befassen, sowie anhand von Beiträgen von Experten der AES und anderen internationalen Gruppen über gute praktische Erfahrungen zu berichten.

Während man laufend darüber debattiert, was gute praktische Erfahrungen bei Aufnahme und Wiedergabe ausmachen, sieht es das Technical Council der AES als eine seiner wichtigsten Aufgaben an, die gegenwärtigen Ansichten seiner Mitglieder weiter zu tragen und die Audioindustrie ausführlich zu unterrichten. Insofern stellt dieses Dokument den bestmöglichen Versuch des Komitees dar, den gegenwärtigen Stand der Technik zu beschreiben, wobei diese offen ist für Überarbeitungen in weitere Versionen, sobald neue Kenntnisse verfügbar werden. In den Fällen, wo es durch internationale Standards klare Wege gibt, wie die Systeme eingerichtet oder verwendet werden sollten, und wo weitgehende Übereinstimmung besteht, bezieht sich diese Information direkt darauf (Das Dokument wird absichtlich hinsichtlich der Akzeptanz existierender Standards von AES, ITU, EBU und SMPTE beeinflusst). Wo es dagegen größere Unbestimmtheit gibt oder wo Standards sich entwickelnde Industriepaxis verzögern, sind die unterschiedlichen Lösungen beschrieben worden, so dass sich der Leser über alternative Gesichtspunkte informieren kann.

Das Komitee begrüßt zusätzliche Hinweise, Korrekturen und Vorschläge für den Inhalt dieses Dokumentes. Korrespondenzangaben sind am Ende des Dokumentes vorgesehen.

2 EINFÜHRUNG IN 3/2- BZW. 5.1-KANAL-STEREOFONIE

Obgleich Mehrkanal-Stereofonie im Prinzip nicht auf eine spezifische Anzahl von Kanälen beschränkt ist, wurde vor einigen Jahren internationale Übereinstimmung über eine Konfiguration erreicht, die einen Kompromiss darstellt zwischen der Forderung nach optimaler räumlicher Vergrößerung der Wiedergabe und der Notwendigkeit einer Lösung, die praktikabel und kompatibel mit konventioneller Zweikanal-Wiedergabe war. Die Lösung ist umgangssprachlich als „5-1-Kanal“-Wiedergabe bekannt geworden, dank der Verwendung von fünf Kanälen voller Bandbreite plus einem optionalen Kanal mit begrenzter Bandbreite, dem sog. LFE-Kanal (low-frequency extension = Erweiterung des Tieffrequenzbereichs), auch als „0.1“-Kanal bezeichnet. Sie hat ihren Ursprung in Konfigurationen, die für Filmtone wiedergabe entwickelt wurden, wo ein mittlerer „Dialog“-Kanal von primärer Bedeutung angesehen wird. Um die Kompatibilität zwischen der Wiedergabe von Filmtone im Kino oder im Heim und anderen Arten von Surround-Sound-Programm-Material aufrechtzuerhalten, wurde die gleiche Konfiguration für alle Anwendungen angenommen.

Die Standard-Konfiguration wird auch als „3/2-Stereofonie“ bezeichnet, unter Bezug auf die Position dieser Konfiguration in einer Hierarchie von Mehrkanal-Stereo-Systemen, die von Mono- bis Mehrkanalsystemen reicht. In dieser Hierarchie wird eine Unterscheidung getroffen zwischen der Anzahl der Frontkanäle und der Anzahl der rückwärtigen/seitlichen Kanäle, die als „Effekt-“, „Surround“- , „Raumeindruck“- oder „Ambienz“-Kanäle bezeichnet werden (Die Bezeichnung 3/2 kommt somit von der Verwendung von drei Frontkanälen – links, mitte, rechts – und zwei rückwärtigen/seitlichen Kanälen – linker Surround-Kanal und rechter Surround-Kanal – her. Dies ist im Folgenden näher beschrieben, wobei anzumerken ist, dass das 3/2-Format erweitert werden kann, um einen LFE-Kanal unterzubringen).

3 HIERARCHIE VON KOMPATIBLEN MEHRKANAL-TONSYSTEMEN FÜR RUNDFUNK UND AUFZEICHNUNG

Das 3/2-System ist innerhalb einer Hierarchie von Mehrkanal-Tonformaten eingebettet. Für eine derartige Hierarchie, abwärtskompatibel bis zum Monoformat, sind einfache Matrizierungsbedingungen zur Addition von Teilsignalen an den Übertragungs- und Speicherungs- oder Wiedergabestufen einer Signalkette in [1] angegeben, wodurch die Interkompatibilität zwischen den Kanalformaten ermöglicht wird.

(Es ist anzumerken, dass die in [1] angegebenen Kompatibilitäts-Matrizierungslösungen relativ grob sind, da sie eine einfache Abwärts-Faltung der hinteren Kanäle und des Mittenkanals zu den Frontkanälen bei einem gegebenen Dämpfungswert enthalten. Alternative Lösungen für die Abmischung von Mehrkanal-Stereo zu Zweikanal-Stereo kann subjektiv befriedigender sein).

3/1-Matrix-Formate (drei Frontsignale, ein Surround-Signal) sind in diese Hierarchie integriert und können mit der 3/2-Konfiguration wiedergegeben werden; in diesem Fall speist das monofone Surround-Signal die zwei Surround-Lautsprecher und die Verstärkung der Surround-Kanäle wird um 3 dB reduziert. Japan akzeptierte das 3/1-Format innerhalb des ITU-Standards als eine Ausnahme, weil es in Japan in Verbindung mit dem MUSE-Übertragungssystem verwendet wird.

Systeme mit mehr Kanälen als beim 3/2-Format sind möglich und können angepasst werden – wie z.B. 5/2, 5/4 usw. Diese Formate sind nicht im ITU-Standard enthalten und werden für Programm-Material, das für die Wiedergabe unter Heimbedingungen vorgesehen ist, nicht empfohlen. Das Format mit 5 Frontlautsprechern wird im Filmbereich unter bestimmten Bedingungen verwendet (und ist eine Option für die DVD); es sollte aber in solcher Weise produziert werden, das es auch zu den 3/2- und 2/0-Formaten abwärtskompatibel ist.

Für alle anderen möglichen Formatkombinationen muss die Referenzkonfiguration die Grundlage darstellen (siehe unten). Um die Einhüllungswirkung zu vergrößern bzw. um diskrete Schallquellen an mehr Positionen wiederzugeben, können zu der Referenzkonfiguration weitere Lautsprecher hinzugefügt werden, jedoch mit der gleichen Anzahl von Quellsignalen. Dies sollte derart gehandhabt werden, dass Aufwärts- und Abwärts-Kompatibilität gewährleistet wird.

4 REFERENZ-KONFIGURATION

Die Referenz-Anordnung (Basis-Wiedergabe-Konfiguration) besteht aus dem 3/2-Format mit drei Frontsignalen oder -Kanälen (L = links, C = mitte/Center, R = rechts) plus zwei sogenannte Surround-Kanäle – Raum- oder Ambienz-Kanäle (LS und RS = links und rechts Surround). Dieser prinzipielle Wiedergabe-Standard ist völlig unabhängig von dem angewandten Übertragungs-System und den Aufnahmeprozesse, und sollte nicht mit den unterschiedlichen Codierformaten verwechselt werden (z.B. ISO/MPEG oder Dolby Digital).

Für die Aufstellung der fünf Lautsprecher zeigt **Bild 1** eine Anordnung auf der Grundlage der Empfehlungen in ITU-R BS.775-1 [1] und SMPTE [2]. Sollte eine kreisförmige Anordnung der Lautsprecher nicht möglich sein, schreiben diese Empfehlungen vor, dass die Lautsprecher innerhalb des Kreises entsprechend verzögert werden sollten.

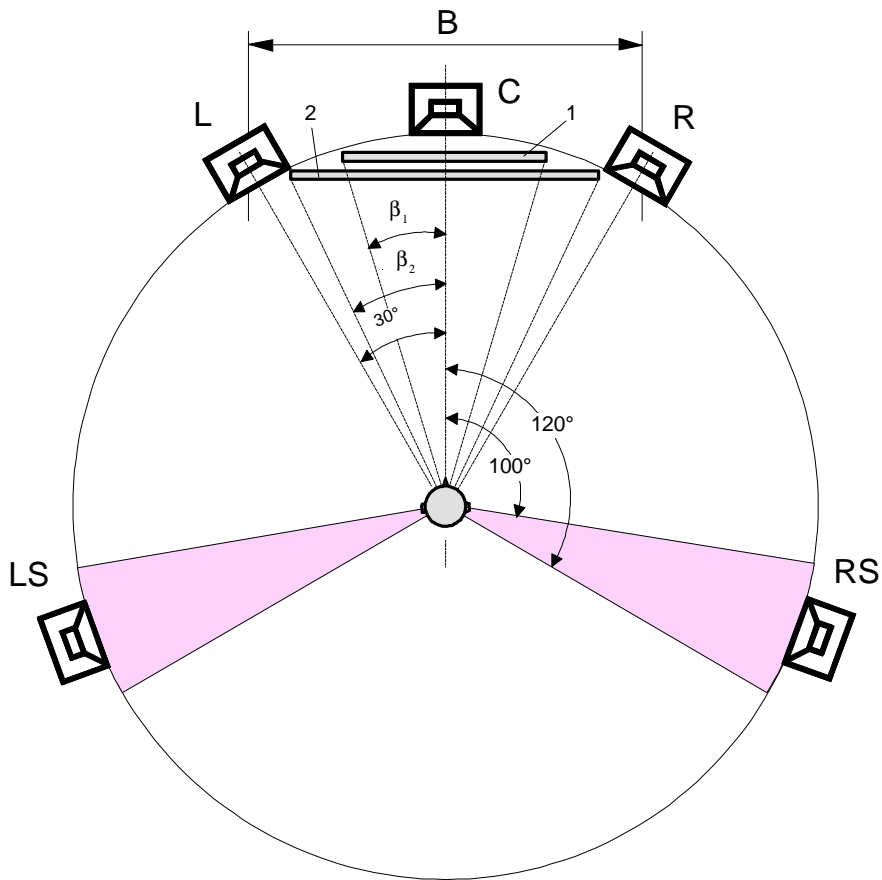


Bild 1:
Referenz-Lautsprecher-Anordnung
 mit den Lautsprechern L/C/R und LS/RS (aus ITU-R BS.775-1)

Bildfläche 1: Hörabstand = $3H$ ($2 \beta_1 = 33^\circ$)
 Bildfläche 2: Hörabstand = $2H$ ($2 \beta_2 = 48^\circ$)
 H: Bildhöhe
 B: Lautsprecher-Basisbreite

akustisches Zentrum	Winkel	Höhe	Neigung
C	0°	1,2 m *)	0° *)
L, R	$\pm 30^\circ$	1,2 m	0°
LS, RS	$\pm (100 \dots 120)^\circ$	$> 1,2$ m	$\leq 15^\circ$

*) abhängig von Form und Größe der Bildfläche

Um eine größere Hörzone bzw. eine verbesserte Eindhüllung mit Hilfe von Raum-Ambienz-Informationen beim 3/2-Format zu erzeugen, kann man weitere Surround-Lautsprecher an die zwei Standard-Kanäle LS und RS anschließen. Für größere Wiedergaberäume (wie z.B. Kinos) ist dies notwendig und wird es auch üblicherweise getan. In diesem Fall ist eine ausreichende Dekorrelation der zusätzlichen angeschlossenen Lautsprecherkanäle wünschenswert, z. B. durch geeignete Verzögerung, und Anschluss über geeignete Signalverteiler (Matrizen) oder Prozessoren.

5 ERWEITERUNG DES TIEFFREQUENZBEREICHS

- Um Verwechslungen zu vermeiden, wird hier eine klare Unterscheidung gemacht zwischen
- einem Signal zur Erweiterung des Tieffrequenzbereichs (LFE-Signal), das über einen separaten LFE-Kanal in einem Übertragungs- oder Aufzeichnungssystem übertragen wird, und
 - einer separaten Abstrahlung des tieffrequenten Programminhalts über sogenannte Subwoofer.

Obgleich dies ein und dasselbe zu sein scheint, muss dies aber nicht sein. In der Tat ist es diese Verwechslung über die Behandlung des tieffrequenten Bereichs, welche eine große Anzahl von Problemen in praktischen Situationen verursacht.

5.1 LFE-Signal und –Kanal

Im Filmbereich wurde die Verwendung eines speziellen Kanals im Bassbereich von 20 Hz bis etwa 80 – 120 Hz als eine Erweiterung des tieffrequenten Bereichs eingeführt, wobei dieser – gemäß ITU-R BS. 775-1 – optional als eine Ergänzung der Formate im Studio oder im Heim wegen des schmalen benutzten Frequenzbereichs verwendet werden kann. Die Bezeichnung wird wegen des schmalen benutzten Frequenzbereichs mit „0.1“ oder „.../1“ abgekürzt. Daher sind die Bezeichnungen 3/2/1 oder 5.1 und 5/2/1 oder 7.1 in Gebrauch.

Gemäß [1] ist optional ein zusätzlicher Kanal für den erweiterten Bassbereich zugelassen, bei einem Frequenzbereich von 20 – 80 Hz (bis maximal 120 Hz), was die Norm in Kinos mit Filmen darstellt. Bei Audiosystemen für den Konsumer wird der LFE-Kanal ebenfalls als optional bei der Wiedergabe angesehen. Die Medien sollten so vorbereitet werden, dass sie konform zu dieser Empfehlung bleiben, so dass sie befriedigend klingen, auch wenn kein LFE-Kanal wiedergegeben wird.

EBU- und SMPTE-Dokumente zum Mehrkanalton [3], [4] enthalten einige Anmerkungen über die Verwendung des LFE-Kanals. Das SMPTE-Dokument [3] enthält folgenden Wortlaut:

Soll ein Tonprogramm, das ursprünglich für Filmtheaterversionen produziert wurde, in Konsumer-Medien übertragen werden, wird der LFE-Kanal meist von dem speziellen Kino-Subwoofer-Kanal abgeleitet. Im Kino erfolgt eine Wiedergabe stets über den speziellen Subwoofer-Kanal, daher kann bei Filmabmischungen der LFE-Kanal zur Übertragung von wichtigem tieffrequentem Programminhalt benutzt werden. Sollen Programme, die ursprünglich für den Film produziert wurden, über Fernsehmedien [z.B. DVD] übertragen werden, kann es notwendig sein, Anteile vom Inhalt des Subwoofer-Kanals wieder in die Kanäle mit voller Bandbreite einzumischen. Es ist wichtig, dass jegliche Anteile tiefer Frequenzen, die für die Vollständigkeit des Programminhaltes sehr bedeutsam sind, nicht in dem LFE-Kanal untergebracht werden. Der LFE-Kanal sollte Programminhalten mit extrem tiefen Frequenzen sowie sehr hohen Pegeln < 120 Hz vorbehalten bleiben, deren Fehlen bei der Wiedergabe die künstlerische Vollständigkeit des Programms nicht beeinträchtigt.

Bei Kinowiedergabe ist die innere Verstärkung dieses Kanals gewöhnlich 10 dB größer als die der anderen einzelnen Kanäle. Gemäß SMPTE [3] wird dies durch eine Pegelerhöhung des Wiedergabekanals kompensiert, jedoch nicht durch erhöhten Aufzeichnungspegel. Dies muss aus Gründen der Kompatibilität im Studiobereich auch bei der Heimwiedergabe beachtet werden (dies bedeutet nicht, dass bei Einmessung mit breitbandigem Rosaräuschen der breitbandige oder bewertete Schalldruckpegel des LFE-Lautsprechers 10 dB höher gemessen werden sollte als bei einem der anderen Kanäle – tatsächlich wird dieser aufgrund seiner schmalen Bandbreite beträchtlich geringer sein als dieser).

5.2 Separate Tieftonlautsprecher (Subwoofer) innerhalb der Standard-Konfiguration

Es kann nützlich sein, zusätzlich zu den Hauptlautsprechern (L/C/R/LS/RS) getrennte Bass-Strahler (Subwoofer) zur Erweiterung des Tieftonbereiches zu verwenden, so dass die untere Grenzfrequenz der fünf Hauptlautsprecher auf etwa 80 Hz erhöht und dementsprechend ihre Volumen reduziert werden können.

In diesem Fall ist es möglich mehrere Subwoofer für spezifische einzelne Kanäle zu verwenden (z.B. Frontal- bzw. Surround-Kanäle), oder einen einzigen Subwoofer zur Ergänzung des tieffrequenten

Bereichs für alle fünf Hauptlautsprecher. Alle Lautsprecher werden über Filterweichen angeschlossen (Grenzfrequenzen von 80 – 160 Hz sind in der Konsumerindustrie üblich; effektiver ist der Bereich um 80 Hz herum).

Die Konfiguration ist als ein 3/2-Format anzusehen; es ist jedoch möglich, dass eine separate Bass-einrichtung derart konfiguriert wird, dass sowohl 5.1-Filmtone als auch 3/2-Formatmaterial ohne einen separaten LFE-Kanal wiedergegeben werden kann, gemäß Bild 2.

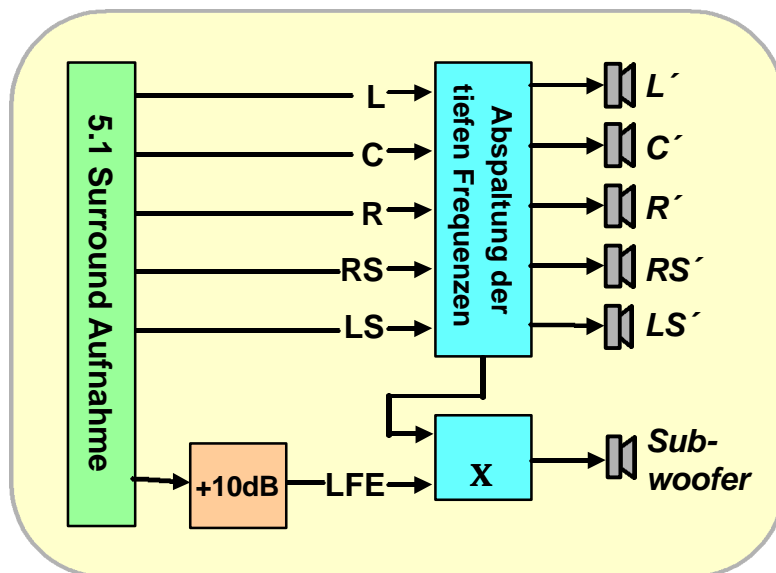


Bild 2. Ableitung von kombinierten Subwoofer- und LFE-Signalen.

Die resultierende Qualität, einschließlich des Betriebs-Schallpegelfrequenzgangs, ist auch von der Aufstellung der Lautsprecher in Bezug auf den Hörplatz abhängig, ebenso wie von den nichtlinearen Verzerrungen des Subwoofers, wodurch Lokalisationsfehler auftreten können (zu weiteren Details siehe in [4]).

Über die optimale Aufstellung eines einzelnen Subwoofers in einem Hörraum gibt es offensichtlich geringe Übereinstimmung der Auffassungen, obgleich Messungen veröffentlicht wurden, die nahe legen, dass die Anordnung eines einzelnen Subwoofers in einer Raumecke den weitesten und ausgeglichenen Frequenzgang ermöglicht [5]. Bei der Auswahl der optimalen Orte für Subwoofer wird angegeben, dass Lautsprecher, die in den Ecken angeordnet werden, eine merkliche Bassverstärkung aufweisen können und gut an die meisten Raummoden anzukoppeln sind (weil sie in den Ecken Antiknoten aufweisen). Einige Subwoofer sind speziell für die Anordnung an besonderen Orten geeignet, während andere herumbewegt werden müssen, bis subjektiv meist befriedigende Ergebnisse erzielt werden. Bestimmte künstliche Entzerrungen sind anwendbar, um einen vernünftig flachen Über-alles-Frequenzgang am Hörort zu erhalten. Phasenverschiebungen oder Verzögerungszeiteinstellungen werden mitunter vorgesehen, um eine gewisse Korrektur der Zeitbeziehungen zwischen dem Subwoofer und den anderen Lautsprechern zu ermöglichen, aber bei einer einzelnen Einheit wird dies notwendigerweise einen Kompromiss darstellen. Eine Phasenverschiebung beim Subwoofer wird mitunter angewendet, um die Pegelsumme des Subwoofers und der Hauptlautsprecher im Übergangsbereich in Bezug auf einen flachen Frequenzgang zu optimieren.

Obwohl beim Frequenzgang messtechnisch substantielle Differenzen zwischen den Orten der Subwoofer gefunden wurden, kann es schwierig sein, die Differenzen für verschiedene Positionen der Subwoofer beim Abhören von bestimmtem Programm-Material subjektiv festzustellen [6]. Es hat sich als nützlich erwiesen, derartige Lautsprecher vor der Wand aufzustellen, vor der die Frontlautsprecher angeordnet sind. Beim Vergleich eines einzelnen Subwoofers an verschiedenen Positionen mit Stereo-Subwoofern, die unter den Haupt-Zweikanal-Lautsprechern angeordnet sind, wurde gefunden, dass die Hörbarkeit eines Unterschiedes abhängig ist vom Programm-Material, von der Position und der Schnittfrequenz. Die Unterschiede wurden sofort erkennbar bei einer Erhöhung der Über-

gangsfrequenz über 120 Hz [7]. Informelle Tests in Referenz-Hörräumen haben gezeigt, dass die Position von separaten Subwoofern oft bemerkt werden kann. Es kann daher empfehlenswert sein, separate Subwoofer sehr nahe zu den entsprechenden Front- oder Surround-Lautsprechern anzuordnen. Die Ursachen für die getrennte Hörbarkeit einer Subwooferposition können unterschiedlich sein. Einige Untersuchungen haben gezeigt, dass Eigengeräusch, Verzerrungen, und Informationen über 120Hz, die vom Subwooferort abgestrahlt werden, ihn lokalisierbar machen können, bei anderen ist dies nicht der Fall gewesen. Ein zentral angeordneter Subwoofer ist wahrscheinlich dadurch benachteiligt, dass er am Nulldurchgang seitlicher stehender Wellen aufgestellt ist. Eine Verschiebung könnte daher aus akustischen Gründen erwünscht sein.

Es gibt Gründe für die Annahme, dass mehrere Tieftoneinheiten, die dekorrelierte Signale von der Originalaufzeichnung erzeugen, eine natürlichere räumliche Wiedergabe erzeugen als eine monaurale Tieftonwiedergabe über ein einzelnes System [8]. Gemäß diesem Vorschlag ist es besser, für die Wiedergabe von monofonem Frequenzinhalt zwei Einheiten mit 90°-Phasenverschiebung an den Seiten des Hörers anzuordnen, um die asymmetrischen seitlichen Moden erfolgreich anzuregen und die tieffrequente Räumlichkeit zu verbessern.

5.3 Überlegungen zur Kanalzuordnung des tieffrequenten Programm-Inhalts

Der „0.1-Kanal“ verursacht mitunter bei den Anwendern der vorher beschriebenen Standards Verwirrung bei Tonmischungen, die nicht für Kinoanwendungen vorgesehen sind. In derartigen Fällen, kann die Annahme, dass es notwendig ist ein separates LFE-Signal zu erzeugen, „um mit dem Standard konform zu sein“, ein Fehlschluß sein. Es muss betont werden, dass die Erzeugung eines getrennten LFE-Signals völlig optional ist, und dass seine Verwendung bei vielen Musikanwendungen sogar der Forderung entgegenstehen kann, einen optimalen Anteil tieffrequenter Einhüllung zu erzeugen.

Neuere Untersuchungen legen nahe, dass eine optimale Einhüllung bei tiefen Frequenzen durch die Anwendung von angemessenen dekorrelierten Lautsprechersignalen erreicht werden kann. Derartige Dekorrelation könnte künstlich in der Konsumer-Wiedergabekette erzeugt werden, als Teil einer Tiefton-Behandlung eines Konsumersystems, aber dies entzieht sich einer Kontrolle durch den Aufnahmeingenieur. Wenn man die Chance haben will, dass die Absichten des Aufnahmeingenieurs in dieser Hinsicht bis zum Hörer übertragen werden sollen, folgt daraus, dass der Tieftoninhalt, der eine stereofone Einhüllung erzeugen soll, keinesfalls einem monofonen LFE-Kanal zugeordnet werden darf, sondern innerhalb der Kanäle mit voller Bandbreite beibehalten werden sollte. Wie die Standards anführen, sollte jeglicher Tieftoninhalt, der für den Erfolg der Mischung entscheidend ist, nicht dem LFE-Kanal, sondern vielmehr den Hauptkanälen zugeordnet werden. Das LFE-Signal ist tatsächlich nur für „Effekte“ geeignet, und es sollte keine Rolle spielen, ob der Konsument in der Lage ist, dies wiederzugeben oder nicht.

Manche Mehrkanal-Encoder tasten das LFE-Signal mit einer niedrigen Abtastfrequenz ab, etwa mit 240 Hz, wobei der gesamte Inhalt, der einem solchen Kanal zugeführt wird, mit einem Tiefpass mit einer oberen Grenzfrequenz von <120 Hz gefiltert wird. Dies betont die Bedeutung der Prüfung einer jeden Mischung, die für solche Systeme codiert wird, mittels einer dafür vorzusehenden Coder-Decoder-Kette.

6 KONTROLLE UND ÜBERWACHUNG

6.1 Hörbedingungen – Allgemeines

Referenz-Hörräume sind für den kritischen Vergleich von Programm-Material vorgesehen, wobei die Möglichkeit des Austauschs von Beurteilungen zwischen verschiedenen Einrichtungen ein vorrangiges Ziel ist. Es ist verständlich, dass es in vielen praktischen Tonüberwachungs-Einrichtungen schwierig ist, diese Idealbedingungen zu erreichen, insbesondere, wenn sich eine Menge technischer Geräte im Raum befinden. Dennoch ist diese Information als eine Richtlinie für gute praktische Bedingungen vorgesehen. Die Lösungen, die in der Literatur zu finden sind und hier zitiert werden, beziehen sich hauptsächlich auf kleine und mittelgroße Räume. Die Bedingungen und Kriterien für große Film-Mischräume können von diesen Lösungen in mancher Hinsicht beträchtlich abweichen.

Die Gesamt-Hörbedingungen und die erreichbare Qualität des mit diesen verbundenen Schallfeldes sind wie folgt festgelegt:

- Die geometrischen und akustischen Eigenschaften des Hörraums
- Die Eigenschaften und die Anordnung der Lautsprecher im Hörraum
- Die Hörposition oder die Hörzone.

Diese empfohlenen Hörbedingungen für einen hochqualitativen Hörraum sollen eine neutrale und kritische Kontrolle der Tonsignale auf solche Weise erlauben, dass die Eigenschaften und Mängel eindeutig erkannt werden und die Hörereignisse unbeeinträchtigt bleiben können. Außerdem kann die Wiedergabe eines hochqualitativen Tonsignals einen technisch und ästhetisch befriedigenden Eindruck geben. Die in Abschnitt 6.2 beschriebenen Lösungen stellen lediglich Minimalforderungen dar, um zu gewährleisten, dass eine hohe Qualität im Programm-Austausch erreicht wird; sie beruhen auf internationalen Standards für Referenz-Hörbedingungen. Sie sind noch nicht ausreichend, um optimale Anordnungen zu beschreiben oder eine angemessenen Übereinstimmung zwischen verschiedenen Hörräumen zu garantieren.

6.2 Parameter und Werte für Referenz-Hörbedingungen

6.2.1 Vorschläge für Referenz-Hörraum (Tabelle 1)

Tabelle 1: Vorschläge für Referenz-Hörraum¹

Parameter	Einheit/ Bedingung	Wert
Raumgröße (Grundfläche) - Mono/2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	S [m ²]	> 30 > 40
Raumproportionen	<i>l</i> = Länge <i>w</i> = Breite <i>h</i> = Höhe	1,1 <i>w/h</i> <i>l/h</i> 4,5 <i>w/h</i> -4, mit <i>l/h</i> <3 und <i>w/h</i> <3 (Verhältnisse innerhalb von ±5% von ganzen Zahlenwerte werden als unbefriedigend angesehen)
Basisbreite - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	<i>B</i> [m]	2.0...4.0 2.0...4.0
Basiswinkel - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	[Grad] bezogen auf L/R	60 60
Hörabstand - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	<i>D</i> [m]	2m...1,7 <i>B</i> <i>B</i> · (± 0,8)
Hörzone - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	<i>R</i> (Radius) [m]	0.8 0.8
Höhe der Lautsprecher (vom akustischen Zentrum) - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo (alle)	<i>h</i> [m]	≈ 1.2 ≈ 1.2
Abstand zu umgebenden Reflexionsflächen - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal- Stereo	<i>d</i> [m]	1 1

¹ Anmerkung des Übersetzers: Tabelle 1 stimmt prinzipiell überein mit SSF-01/Studio. Der Hörabstand bei Mehrkanal-Stereo wurde hier nachträglich ergänzt durch die EBU-Angabe, die im AES-Dokument versehentlich weggelassen wurde.

In der Literatur wird empfohlen, dass ein (Netto-) Volumen von 300 m³ für Studio-Hörräume nicht überschritten werden sollte. Um eine geeignete Verteilung der Raummoden zu erreichen, werden Dimensionen entsprechend den Werten in Spalte 3 empfohlen. Die Raumform sollte um die Hörrachse herum weitgehend symmetrisch sein, dabei auch in Bezug auf die Verteilung des Absorptionsmaterials, insbesondere um die Lautsprecher, Türen, Fenster und technischen Einrichtungen, so dass jegliche akustischen Unregelmäßigkeiten vermieden werden können. Auch die Oberflächen von Mischpulten können störende Reflexionen verursachen.

6.2.2 Vorschläge für das Referenz-Schallfeld am Hörort (Tabelle 2)

Tabelle 2. Vorschläge für das Referenz-Schallfeld am Referenz-Hörort

Parameter	Einheit/ Bedingung	Wert
Direktschall Amplitudenfrequenzgang	Freifeldübertragungsmaß	Toleranzgrenzen siehe Tab.3 (Referenz-Monitor-Lautsprecher)
Reflektierterschall Anfangsreflexionen (Kurzzeitreflexionen)	0 ms...15 ms (im Bereich 1 kHz bis 8 kHz)	- 10 dB relativ zum Direktschall
Zeitliche Diffusität des Nachhall-Schallfeldes	Vermeidung von signifikanten Anomalien im Schallfeld	keine Flatterechos, keine Klangfärbungen usw.
Nachhallzeit	T_m [s] = Nominalwert im Bereich von 200 Hz bis 4 kHz V = Volumen des Hörraumes; V ₀ = Referenz-Raumvolumen von 100 m ³	$0.25 \cdot (V / V_0)^{1/3}$ Nachhallzeitverlauf und Toleranzgrenzen siehe Diagramm in Bild 3
Stationäres Schallfeld Betriebs-Schallpegelkurve	50 Hz... 2 kHz 2 kHz...16 kHz	±3 dB +3 dB ² / von -3 dB bis - 6 dB fallend gemäß Toleranzfeld s. Bild 4.
Grundgeräusch		Ideal < NR 10; jedoch nicht >NR15
Referenz-Abhörpegel (relativ bei definiertem Meßsignal)	Eingangssignal: Rosa Rauschen, - 18 dBFS (RMS)	78 dBA (RMS, slow) (pro Kanal)*

* Dies ist eine internationale Standard-Empfehlung für den Vergleich von Hörtestprogrammen. NHK hat 78 ± 2 bis 85 ± 2 dBC pro Kanal vorgeschlagen, abhängig von Raumgröße und Anwendung. Höhere Monitorpegel sind auch in Film-Mischräumen gebräuchlich, bei Bezug auf -18dBFS für 85 dBC. Ausführlicher wird dies in Abschnitt 7.4 erläutert.

Direktschall ist der Schall ohne Einfluss des Hörraumes in Form von Reflexionen und Nachhall. Die Qualität wird durch die Eigenschaften des entsprechenden Lautsprechers bestimmt (s. Tabelle 3).

Reflektierterschall (Nachhall-Schallfeld) ist aufgeteilt in

- *Anfangsreflexionen* (Kurzzeitreflexionen) innerhalb der ersten 15 ms, im Bereich von 1 kHz bis 8 kHz,
- *Diffusschall* des Nachhall-Schallfeldes (geradliniger Abklingverlauf),

Im Bild 3 ist das Toleranzfeld für die *Nachhallzeit* dargestellt. Die Messungen erfolgen mit den eingesetzten Lautsprechern und Terzfilterung. T_m ist der arithmetische Mittelwert der gemessenen Nachhallzeiten T in den Terzbändern von 200 Hz bis 4 kHz. Gemäß den Literaturangaben sollte er zwischen 0.2 und 0.4s liegen, in Abhängigkeit von der Raumgröße (siehe Tabelle 2), um ein ausreichend „natürliches“ räumliches Empfinden zu vermitteln. Große Filmmischräume übersteigen mitunter diese Grenzen.

² Anmerkung des Übersetzers: Tabelle 2 stimmt prinzipiell überein mit SSF-01. Im AES-Dokument ist jedoch an dieser Stelle versehentlich ±3dB angeführt statt die unterschiedlichen positiven und negativen Toleranzen eindeutig zu trennen.

Der Frequenzgang der Nachhallzeit sollte stetig und kontinuierlich verlaufen; plötzliche oder starke Sprünge beeinflussen die Betriebs-Schallpegelkurve. Diese Bedingung wird eingehalten, wenn derartige Abweichungen in benachbarten Terzbändern im Bereich von 200 Hz bis 8 kHz die Grenzabweichung von $\pm 0,05$ s nicht überschreiten sowie unterhalb von 200 Hz die längste Nachhallzeit nicht mehr als 25% überschritten wird.

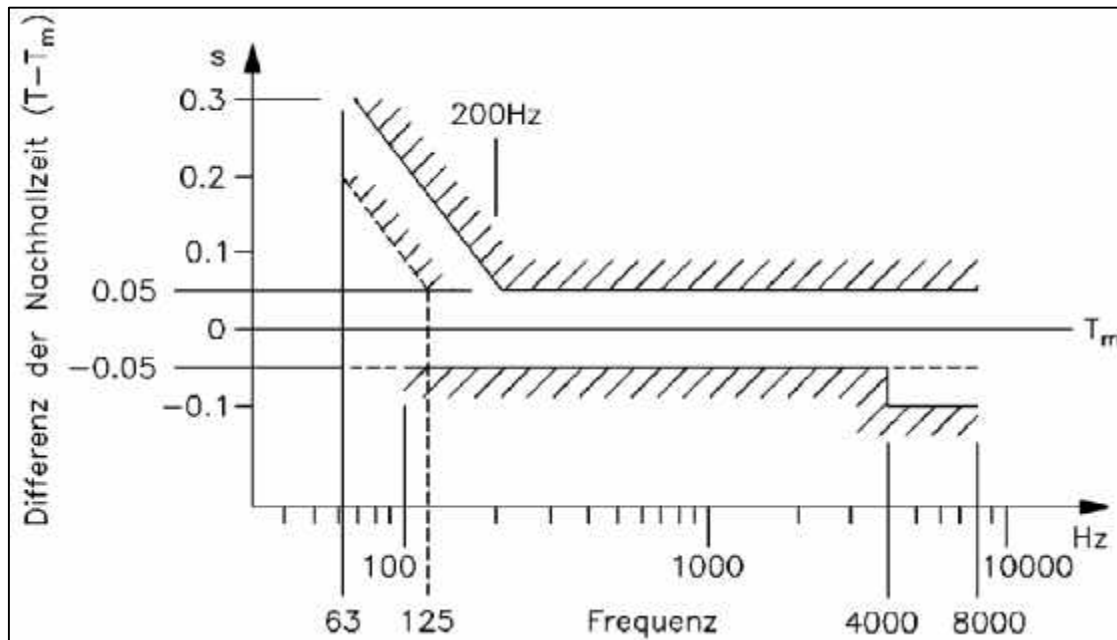


Bild 3. Toleranzgrenzen für die Nachhallzeit, relativ zum arithmetischen Mittelwert T_m (auf der Grundlage internationaler Empfehlungen, jedoch erweitert bei den tiefen Frequenzen, mit kleineren Toleranzen im Bereich von 63 – 125/200 Hz).

Das *stationäre Schallfeld* wird durch die *Betriebs-Schallpegelkurve* gemäß Bild 4 dargestellt. Sie stellt ein wichtiges Kriterium der Wechselwirkung zwischen Raum und Lautsprecher und für die Güte der erreichten Hörbedingungen dar. Sie wird gemessen als Frequenzgang des Schalldruckpegels am Bezugs-Hörpunkt. Meßsignal ist terzgefiltertes Rosa Rauschen. Die Toleranzen sollten für jeden einzelnen Lautsprecher getrennt eingehalten werden. Insbesondere für die Frontlautsprecher ist eine hohe Übereinstimmung der Betriebs-Schallpegelkurven von Bedeutung (siehe dazu auch weitere Hinweise in [4]). Der Bereich von 20 bis 30 Hz muss noch ergänzt werden.

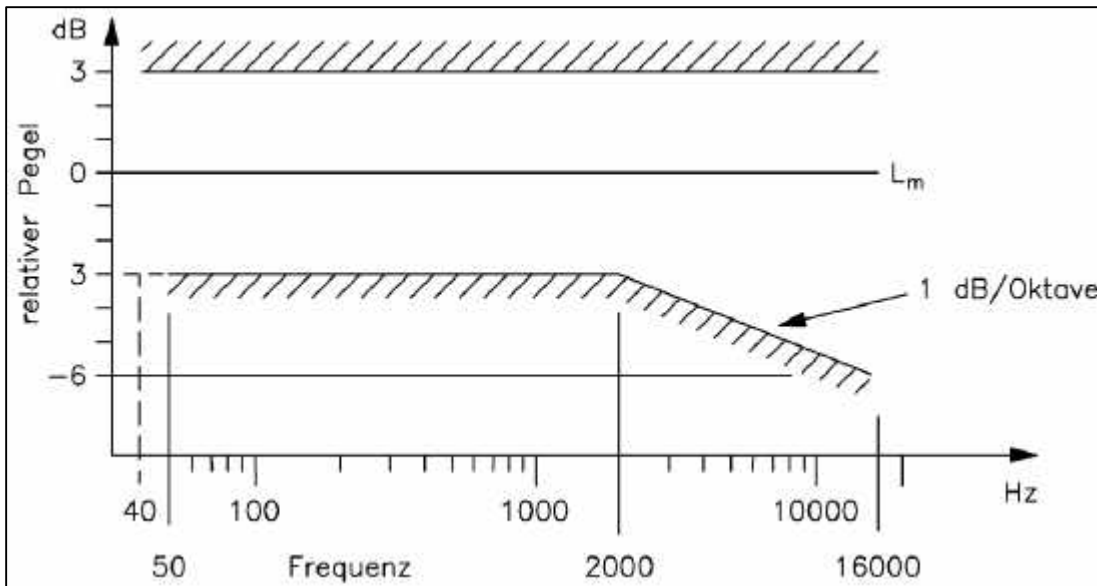


Bild 4. Toleranzgrenzen für die Betriebs-Schallpegelkurve, relativer Pegel
(auf der Grundlage internationaler Empfehlungen, jedoch erweitert bei tieferen Frequenzen).

6.2.6 Grundgeräusch

Der *Dauergeräuschpegel* (Grundrauschen von Klimaanlage oder anderen äußeren oder inneren Schallquellen) wird als Terz-Schalldruckpegel $L_{pFreq, T=30s}$ (RMS, slow), gemäß den ISO-Grundgeräusch-Bewertungskurven (Noise rating NR-curves, gemäß [9]) für die Termittelfrequenzen von 50 Hz bis 10 kHz in Form einer Tabelle oder einer Grenzkurve angegeben. Die Angabe von Einzelwerten ist nicht ausreichend. Die Literatur bevorzugt die Unterschreitung der NR-10-Kurve; unter keinen Umständen sollte jedoch die NR-15-Kurve überschritten werden.*

Beachte: In vielen internationalen Dokumenten sind bei den NR-Kurven die Geräuschpegel mitunter als Oktavmittelwerte angegeben. Bei NR 10_{Oct} erhält man dann einen Wert bei 1 kHz von 10 dB. Die entsprechenden Werte für Terzmittelfrequenzen sind dann durchschnittlich 5 dB geringer.

6.2.3 Vorschläge für Referenz-Monitor-Lautsprecher

Die Spezifikation in Tabelle 3 enthält die objektiven Mindestbedingungen für einen Referenz-Monitor-Lautsprecher. Es muss erwähnt werden, dass Lautsprecher, die diesen Bedingungen entsprechen, noch nicht unbedingt für alle Programmgenres als Referenz-Lautsprecher geeignet sind. Um diese kritische Funktion voll erfüllen zu können, ist die endgültige Auswahl und Entscheidung aufgrund eingehender subjektiver Tests und entsprechender Kriterien und Attribute zu treffen.

Für Messbedingungen gelten bekannte Richtlinien (wie z.B. [4], um den Messabstand in Bezug auf die Dimensionen des Lautsprechergehäuses zu berücksichtigen (üblich sind Abstände > 2m). Gemäß IEC 60268-5, ist das Ergebnis auf den Nennabstand von 1 m zu beziehen. Bei elektrischen Messungen sollte eine Genauigkeit von ± 0.2 dB gewährleistet werden; bei akustischen Messungen sollte die Meßgenauigkeit kleiner ± 1 dB im gesamten Frequenzbereich sein.

Der Amplitudenfrequenzgang wird unter Freifeldbedingungen mit Rosauschen für die Terzmittelfrequenzen im Bereich 31,5 Hz bis 1616 kHz unter 0° , $\pm 10^\circ$ und 30° gemessen. Die zulässigen Toleranzen und Differenzen zeigt die Tabelle. Die Richtcharakteristik sollte vorzugsweise symmetrisch zur Bezugsachse sein.

* Anmerkung des Übersetzers: in der SSF-01 wird entsprechend DIN 15996:1996 die Anwendung der dort empfohlenen Grenzkurven GK bevorzugt, da sie den realen Bedingungen besser entsprechen. Sie wurden von den NR-Kurven abgeleitet, behalten aber ab einer sinnvollen Grenzfrequenz einen konstanten Wert. Die Grenzen für GK10 bzw. GK15 stimmen mit den o.a. Werten NR10 und NR 15 weitgehend überein.

Tabelle 3. Vorschläge für Referenz-Monitor-Lautsprecher

Parameter	Einheit/Bedingungen	Werte
Amplituden-Frequenzgang Differenz zwischen Front-Stereo-Lautsprechern	40 Hz...16 kHz 0° ± 10° horizontal ± 30° im Bereich > 250 Hz bis 2kHz	Toleranzfeld: 4 dB Abweichung zu 0°: 3 dB Abweichung zu 0°: 4 dB 0,5 dB
Bündelungsmaß C	250 Hz ...10 kHz	8 dB ± 2 dB
Klirrdämpfung (SPL = 96 dB)	< 100 Hz > 100 Hz	- 30 dB (3%) - 40 dB (1%)
Verhalten bei Einschwingvorgängen Abklingzeit t_s für Abnahme bis zu einem Pegel von 1/e, d.h.0.37 des Ausgangspegels	t_s [s]	< 5/f [Hz] (vorzugsweise 2.5/f)
Zeitverzögerung Differenz zwischen Stereo-Lautsprechern	dt	10 µs
Dynamikbereich Maximaler Betriebspegel (gemessen gemäß IEC 60268, § 17.,2, bezogen auf 1m Abstand) Geräuschpegel	$L_{eff\ max}$ $L_{Geräusch}$	⁵ > 112 dB (bei IEC 268-1 Programm-Simulation-Rauschen oder speziellem Meßsignal) ≤10 dBA

* Anmerkung des Übersetzers: Das AES-Dokument enthält hier einen aus der SSF-01 übernommenen Druckfehler – tatsächlich endet der Bereich in allen internationalen Standards bei 10 kHz. Bei den Tiefen sollte nierenförmige Charakteristik angestrebt werden.

Auch das Bündelungsmaß (*directivity index*) kann aus Terzmessungen abgeleitet werden. Es wird entweder aus der Richtcharakteristik errechnet oder aus der Differenz zwischen den Freifeldmessungen und den Diffusfeld-Messungen abgeleitet. Gemäß ITU-R BS. 1116-1 [10] ist mindestens ein Bündelungsmaß von > 6 dB mit einem langsamen stetigen Anstieg zu höheren Frequenzen hin wünschenswert. Sogenannte Kugelstrahler werden für die Frontlautsprecher als ungeeignet angesehen. Für die Surround-Lautsprecher wäre in Abhängigkeit vom Programm-Material mitunter auch eine diffuse Abstrahlung wünschenswert; mit Rücksicht auf Kompatibilität wird jedoch in den Standards gegenwärtig empfohlen, prinzipiell nur einheitliche (gleiche) Lautsprecher für alle fünf Kanäle einzusetzen.

6.3 Alternative Bedingungen für Mehrkanal-Mischräume

Während die beschriebenen Empfehlungen auf internationalen Standards für Referenz-Hörräume beruhen, sind praktische Bedingungen für Mehrkanal-Mischräume von kleinem und mittlerem Volumen ebenfalls durch das Japanische HDTV-Mehrkanalton-Forum vorgeschlagen worden.

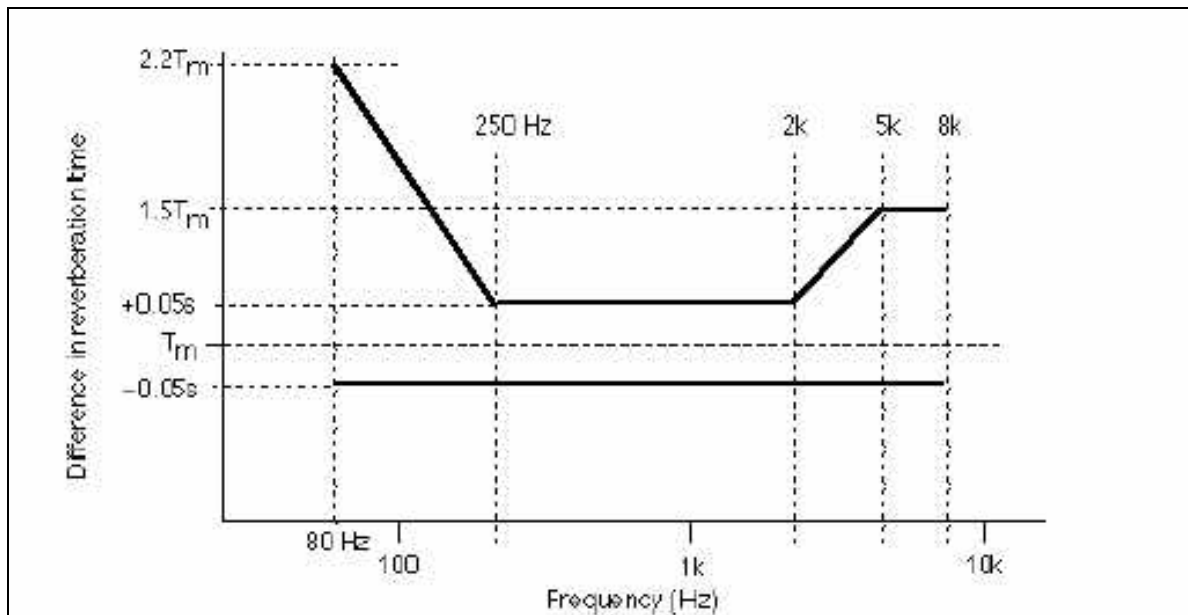


Bild 5. Nachhallverlauf von Mehrkanal-Mischräumen entsprechend dem Japanischen HDTV-Forum (Differenz der Nachhallzeit in Abhängigkeit von der Frequenz).

...

Tabelle 4. Spezifikationen für Mehrkanal-Mischräume entsprechend den Dokumenten des Japanischen HDTV-Forums

Parameter		Gestaltungshinweise	
		Kleine Räume	Mittlere Räume
Bildwiedergabe		Bildmonitor - 36 Zoll	Akustisch durchlässige (perforierte) Bildwand -140 Zoll
Raum	Grundfläche m ²)	50 ± 20	100 ± 30
	Raumgröße m ³	80	200
	Raumform	Nicht-rechteckig (Vermeidung von parallelen Oberflächen)	
	Verhältnisse der Dimensionen	Vermeidung von Verhältnissen mit einfachen ganzen Zahlen (Höhe: Breite: Länge= 1: 1.59 ± 0.7 :2.52 ±0.28. usw. sind wünschenswert)	
	Raumhöhe m	3.0 bis 4.0	4.0 bis 6.0
Innen-Gestaltung		Gleichmäßig absorbierend/diffus reflektierende Behandlung zur Vermeidung starker Reflexionen aus speziellen Richtungen	
Akustische Eigenschaften	Nachhallzeit s	0.2 ± 0.05 bei 500Hz	Akustische Eigenschaften
	Mittlerer Absorptionskoeffizient	0.4 bis 0.6 bei 500Hz	
	Nachhall-Charakteristik	Siehe Bild 1	
	Betriebs-Schallpegelkurvenverlauf	± 3dB (im Oktavband) zwischen 125Hz und 4kHz Bis zu 2 Bänder können innerhalb ± 4dB liegen.	
	Anfangsreflexionen	Jegliche Reflexionen innerhalb von 15ms nach dem Direktschall sollten relativ 10dB unter dem Direktschall liegen	
	Interaurale Kreuzkorrelation	Nicht spezifiziert (in Untersuchung)	
	Verteilung des SPL	Einheitlicher SPL innerhalb der Hörzone einschließlich Hörpunkt der Mischung	
Grundgeräusch	Klimaanlagen-Geräusch	Noise-Criterion-Kurve NC-15 (NR-15 wäre erwünscht)	

	Anlagen/ Hintergrundgeräusch	Noise-Criterion-Kurve NC-20 (NR-20 wäre erwünscht) Das Lüftergeräusch des Videoprojektors usw. sollte reduziert werden.	
Lautsprecheranordnung			
L/R	Anordnung	Bündiger Einbau ist erwünscht, um Reflexionen von den Rückwänden etc. zu vermeiden. Bei frei stehender Anordnung sind diese Reflexionen zu unterbinden	
	Achsenrichtung (Referenzort)	Mischposition oder 0 bis 1 m nach hinten	
	Abstand (L~R) m	3.0 bis 6.0	
	Höhe m *	1.2 bis 2.0 ^{**2}	
	Abstand zum Referenzort	Alle Abstände der L/C/R/S _L /S _R -Lautsprecher bis zum Referenzort sollten gleich sein	
	Neigungswinkel gegenüber der Mittellinie des Raumes (in Grad)	30	
C	Anordnung	Bündige Montage ist erwünscht um Reflexionen von den Rückwänden usw. zu vermeiden. Bei frei stehender Anordnung sind diese Reflexionen zu unterbinden.	
	Achsenrichtung (Referenzort)	Mischposition oder 0 bis 1 m nach hinten	
	Höhe m *	Die gleiche Höhe wie für L/R ist erwünscht ^{**3}	
	Abstand zum Referenzort	Alle Abstände der L/C/R/S _L /S _R -Lautsprecher bis zum Referenzort sollten gleich sein	
Parameter		Gestaltungshinweise	Parameter
		Kleine Räume	
S_L/S_R	Anzahl	2	S_L/S_R
	Anordnung	Bündige Anordnung ist erwünscht, sofern die Raumform es zulässt.	
	Achsenrichtung (Referenzort)	Mischposition oder 0 bis 1 m nach hinten	
	Höhe m *	Die gleiche Höhe wie für L/R ist erwünscht ; L/R * (0.9~1.4) ^{**4}	
	Abstand zum Referenzort	Alle Abstände der L/C/R/S _L /S _R -Lautsprecher bis zum Referenzort sollten gleich sein	
	Neigungswinkel gegenüber der Mittellinie des Raumes (in Grad)	120 ± 10	

Abhörpegel	85 ± 2dB (C bewertet) /Kanal (Rosarauschen) bei -18dBFS für große Lautsprecher		
	80 ± 2dB (C bewertet)/ Kanal (Rosarauschen) bei -18dBFS für mittlere Lautsprecher		
	78 ± 2dB (C bewertet) / Kanal (Rosarauschen) bei -18dBFS für kleine Lautsprecher		
Monitor-Lautsprecher			
Maximaler Schall- druckpegel ⁵	L/C/R	117dB	120 dB
	2	114dB	117 dB
	4	111dB	114 dB
	8	108dB	111 dB
Amplituden- Frequenzgang	L/C/R	Siehe Bild 6	
Effektiver Frequenz- bereich ⁶	L/C/R	40Hz bis 20kHz	
	S _L /S _R	Gleich wie L/C/R, zumindest im Bereich 80Hz bis 20kHz	
Nichtlineare Verzer- rungen ⁷	L/C/R	< 3% für 40Hz bis 250Hz, < 1% für 250Hz bis 16kHz	
	S _L /S _R	Gleich wie L/C/R ; zumindest < 3% für 80Hz bis 250 Hz, < 1% für 250Hz bis 16kHz	
Einschwing- verzerrungen	L/C/R/S _L /S _R	Die Abklingzeit bis zum Pegel von 1/e (annähernd 0.37) des Originalpegels sollte kleiner sein als 5/f (dabei ist f die Frequenz)	
Phasen-/ Gruppenlaufzeit ^{8,9}	L/C/R/S _L /S _R	Wenigstens eine Angabe ist erwünscht.	
Bündelungsmaß	L/C/R/S _L /S _R	6 bis 12 dB (ITU-R BS.1116-1)	
Impedanz	L/C/R/S _L /S _R	>3.2Ü	
Abweichungen im Frequenzgang	L/C/R/S _L /S _R	<1.5dB für 100Hz bis 10kHz Spitzen/Senken kleiner als eine Terzbreite sind zu vernachlässigen.	
Effizienz ¹⁰	L/C/R/S _L /S _R	Sollte angegeben werden.	

Anmerkungen:

- *1 Höhe der Lautsprecher: Höhe des akustischen Zentrums der Lautsprecher über Fußboden am Mischplatz.
- *2 Mehr als 1.2 m wird empfohlen. Jedoch sollte die Höhe 1.7m betragen, um Abschattung des Direktschalls durch die Aussteuerungsanzeigen bei hohen Pulten zu vermeiden; und 1.9 m, wenn die Lautsprecher über einem Fenster angeordnet sind.
- *3 Sofern der Mittenstrahler C unterhalb des Bildmonitors angeordnet ist, kann seine Höhe geringer sein als die der L/R-Lautsprecher.
- *4 Gleiche Höhe wie für L/C/R ist erwünscht, aber könnte 2.2~2.7 m betragen infolge von Türen an Seiten- oder Rückwänden.
- *5 Maximaler Schalldruckpegel = (Nenn-Ausgangs-Schalldruckpegel) + (Maximaler Eingangspegel)
- *6 Effektiver Frequenzbereich: Frequenzbereich - 10 dB.
- *7 Absolut-Schallpegel wird gemessen in 1m Abstand vom Lautsprecher.
- *8 Bündelungsmaß der Frontlautsprecher in Abhängigkeit von Programm oder Software.
- *9 Die Differenz der Gesamteindrücke, verursacht durch das Bündelungsmaß der hinteren Lautsprecher, ist ziemlich klein.
- *10 Die Effizienz wird durch den Nenn-Ausgangs-Schalldruckpegel auf 1m,1W, bezogen.

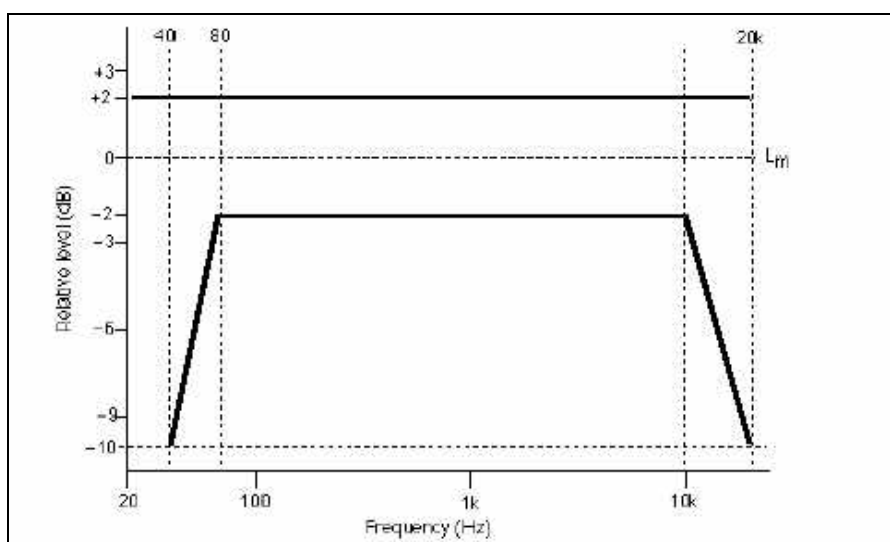


Bild 6. Amplituden-Frequenzgang der Lautsprecher, gemessen im reflexionsfreien Raum, entsprechend dem Japanischen HDTV-Forum.
(Relativer Pegel/dB in Abhängigkeit von der Frequenz).

7 Programmaustausch

In diesem Abschnitt sind Hinweise aufgrund von gegenwärtig gültigen internationalen Empfehlungen aufgeführt, um den Austausch von Mehrkanal-Programm-Material zwischen den Einrichtungen zu gewährleisten. Sie sind im Zusammenhang mit Abschnitt 7.4 über die Einstellung des Abhörpegels und Abschnitt 6 über die Studio-Akustik zu betrachten. Obgleich es unmöglich ist, zu gewährleisten, dass ein Mehrkanal-Programm in jeder Umgebung gleichartig klingt, ist diesen Aspekten hohe Aufmerksamkeit zu widmen, um weitgehende akustische Kompatibilität zu erreichen. Man muss dabei berücksichtigen, dass die örtlichen Betriebspraktiken in mancher Hinsicht verschiedenartig sein können, und dass Alternativen vorgeschlagen und angewendet werden. Einige dieser Gesichtspunkte werden hier zur Information dargestellt.

Im Einzelfall ist die gewählte Nutzung der Spuren 4, 7 und 8 auf dem Aufzeichnungsträger anzugeben.

In vielen Filmstudios wird eine andere Reihenfolge bei der Zuordnung der Spuren und Abhörtasten aufgrund anderer Studiogewohnheiten verwendet, nämlich L – C – R – LS – RS. Neuere Mischpulte dagegen folgen im Allgemeinen bereits der oben empfohlenen international standardisierten Belegung gemäß Tabelle 5. Diese Empfehlung war nach eingehender Diskussion mit Praktikern der internationalen Organisationen der ITU entstanden und ist für die Anwendung bei Hörfunk und Fernsehen verbindlich, für Filmstudios freibleibend.

7.1 Spurzuordnung bei einem 8-Kanal-Aufzeichnungsformat (Tabelle 5)

Tabelle 5. Spurzuordnung bei einem 8-Kanal-Aufzeichnungsformat

Spur ²	Signal	Benennung	Bemerkungen	Farbe ³
1	L	Links (Left)		Gelb
2	R	Rechts (Right)		Rot
3	C	Mitte (Center)		Orange
4	LFE	LFE-Signal zur Tieftonbereich-Erweiterung	Low Frequency Extension (Subbaß- und Effektsignal, für Subwoofer, optional ⁴)	Grau
5	LS	linkes Surround-Signal	- 3 dB im Fall Mono-Surround (MS = -3 dB)	Blau
6	RS	rechtes Surround-Signal	- 3 dB im Fall Mono-Surround (MS = -3 dB)	Grün
7		Im Programmaustausch frei nutzbar ⁵	Vorzugsweise linkes Signal einer 2/0-Stereo-Abmischung.	Violett
8		Im Programmaustausch frei nutzbar ⁶	Vorzugsweise rechtes Signal einer 2/0-Stereo-Abmischung	Braun

² Der Begriff „Spur“ wird verwendet, um entweder Spuren auf Magnetbändern oder virtuelle Spuren auf Speichermedien, wo keine realen Spuren existieren, zu bezeichnen.

³ Dieser Farbcode ist gegenwärtig lediglich ein Vorschlag des deutschen Surround-Sound-Forums, und noch nicht international standardisiert.

⁴ Vorzugsweise angewendet bei Spielfilmen; für Heimwiedergabe jedoch optional. Sofern kein LFE-Signal vorhanden ist, kann Spur 4 frei verwendet werden, z.B. für Kommentare. In einigen Regionen wird hier zusätzlich das monofone Surroundsignal MS = LS + RS vorgesehen, wobei der Pegel um jeweils 3 dB verringert wird.

⁵ Die Spuren 7 und 8 können alternativ, z.B. für Kommentare, für zusätzliche Surround-Signale oder für halblinke / halbrechte Front-Signale (z. B. für spezielle Filmformate), bzw. aus Matrixformaten gewonnene Summensignale L_l/R_l verwendet werden.

7.2 Aufzeichnungspegel

Die Praxis hinsichtlich der Einstellpegel und der maximalen Aufzeichnungspegel ist unterschiedlich. Beim Rundfunk und in einigen Aufnahmestudios, wo der kompatible Programmaustausch von vorrangiger Bedeutung ist, ist es normal, nach internationalen Standard-Richtlinien zu arbeiten, bei denen ein *Einstellpegel* L_{AS} und ein zugelassener maximaler Signalpegel L_{PMS} definiert wurde. ITU- und EBU-Empfehlungen haben unter anderem einen digitalen Einstellsignalpegel spezifiziert von -18 dBFS, während SMPTE-Empfehlungen einen solchen von -20 dBFS spezifizierten (1-kHz-Ton, Effektivwertmessung). Beide können vermutlich in der betrieblichen Praxis beherrscht werden; es ist daher wichtig klar den jeweiligen angenommenen Einstellpegel anzugeben, um nachfolgende Verwirrungen zu vermeiden.

Der Maximalpegel L_{PMS} liegt normalerweise 9 dB unter dem digitalen Clipp-Pegel, und ist für die Messung von Programm-Signalen mittels Quasipeak-Metern vorgesehen, die eine Integrationszeit von 10 ms besitzen, womit gewährleistet ist, dass kurze Übergangsvorgänge nicht abgeschnitten werden. Echte Spitzenspannungsmesser überschreiten diese Anzeige bei manchem Programm-Material, während VU-Meter dies Anzeige typischerweise unterschreiten, da sie eine lange Integrationszeit besitzen. In Mastering-Studios und einigen Film-Betriebsstudios ist es üblich, den vollständigen Aufzeichnungs-Pergelbereich bis zu 0 dBFS auszuschöpfen. Unter solchen Umständen ist es wichtig, echte Spitzenspannungsmesser zu benutzen, um das Clippen auf digitalen Medien zu vermeiden.

7.2.1 Aufzeichnungspegel bei Filmtone

Im Filmtonebereich ist es Standard, den Aufzeichnungspegel der Surround-Sound-Kanäle um 3 dB gegenüber dem der Frontkanäle zu vergrößern. Damit soll die -3 dB-Einstellung für den Schalldruckpegel jedes Surround-Kanals in Bezug auf die Frontsignale kompensiert werden, wie es in Synchronstudios und Filmtheatern üblich ist. Es ist wichtig, sich dieser Diskrepanz verschiedener Praktiken bewusst zu sein, da es in Musikmischräumen und beim Rundfunk dagegen Standard ist, alle Kanäle auf gleichen Pegel einzustellen, sowohl für Aufzeichnungsmedien als auch für die akustische Überwachung. Übertragungen von Filmmasterbändern auf Konsumer- oder Rundfunkmedien können eine 3-dB-Änderung in der Verstärkung der Surround-Kanäle erfordern.

7.3 Kontrollteil mit Einstellsignalen

Für die Praxis ist es ideal vor Beginn des Programmteils einen Pegel-Kontrollteil mit zwei Kennsignalen für jede der benutzten Spuren aufzuzeichnen. Diese Signale werden üblicherweise mit dem Einstellpegel L_{AS} aufgezeichnet:

- Ein 1-kHz-Sinustonsignal zur Kontrolle jedes Einstell-Signalpegels,
- Rauschsignal, unkorreliert, zur Prüfung des Schalldruckpegels.

Die Aufzeichnung des Rauschsignals kann entfallen, sobald Einmess- und Testaufzeichnungen weltweit als Standardmethode verwendet werden, wie sie hier beschrieben werden. Gegenwärtig werden aufgrund unterschiedlicher Festlegungen in internationalen Standards sowohl die Messsignale als auch die Bewertungen der damit erzielten Schalldruckpegel nicht einheitlich gehandhabt. Tabelle 6* vergleicht Signalpegel und Schalldruckpegel für eine Reihe unterschiedlicher Bedingungen.

* Anmerkung des Übersetzers: Die angegebene sehr umfangreiche Tabelle 6 wurde im Juni 2001 aus dem AES-Dokument entfernt, da die angegebenen Pegelwerte vor Abdruck nicht mehr an verschiedenen Messstellen überprüft und vereinheitlicht werden konnten. Hier wird daher die gültige Tabelle auf Seite 4 der SSF-Empfehlung 02-10/98 für die Anwendung empfohlen.

7.4.1 Referenz-Abhörpegel $L_{LIST\ ref}$

Der Referenz-Abhörpegel $L_{LIST\ ref}$ gestattet es, den spezifischen Abhörpegel oder die Verstärkung bei der Reproduktion von Programm-Material unter bestimmten Wiedergabebedingungen korrekt einzustellen, ebenso wie bei der Reproduktion desselben Programm-Materials unter anderen Wiedergabebedingungen. Die Messung erfolgt für jeden einzelnen Wiedergabekanal separat am Bezugs-Abhörort, wobei jeder Wiedergabekanal im Prinzip aus einem Pegelsteller und einem Monitor-Lautsprecher besteht. Das Messsignal für jeden Kanal ist bandgefiltertes Rosaruschen.

Die ideale Bandbreite des Rauschsignals ist gegenwärtig Gegenstand von Diskussionen. Während man allgemein darin übereinstimmt, dass ein Abfall bei tiefen Frequenzen erwünscht ist, um zu vermeiden dass die Messung durch Einflüsse von Raummoden dominiert wird, gibt es keine Übereinstimmung über die dabei zu treffende exakte Grenzfrequenz. Während es einige Vorschläge gibt, das Meßsignal bei hohen Frequenzen zu begrenzen (z.B. 2 oder 4 kHz), gibt es andere für keinerlei obere Begrenzung (Erweiterung des Rauschens bis 20 kHz). Auch existieren Varianten zur allgemeinen Empfehlung für die Bewertung des Messergebnisses, sowohl für A-Bewertung (ITU, EBU) als auch für C-Bewertung (SMPTE, Japanisches HDTV –Forum).

Gemäß ITU- und EBU-Standards wird der Pegel jedes Wiedergabekanals (außer dem LFE-Kanal) so eingestellt, dass der Schallpegel (Effektivwert, slow) am Bezugs-Hörort den folgenden Wert erreicht:

$$L_{LIST\ ref} = 85 - 10 \log n \text{ [dBA]}$$

Dabei ist n die Gesamtzahl der Wiedergabekanäle der entsprechenden Konfiguration. Für einen Wiedergabekanal ergibt sich daraus der Referenz-Abhörpegel von $L_{LIST\ ref} = 78 \text{ dBA}$ bzw. für die fünf kombinierten Kanäle der 3/2-Mehrkanal-Stereo-Konfiguration ein resultierender Referenz-Abhörpegel $L_{LIST\ ref} = 85 \text{ dBA}$. Pegeldifferenzen zwischen jeweils zwei Kanälen sollten 1 dB nicht überschreiten; wo es jedoch möglich ist, präziser zu messen, wird ein Wert $< 0.5 \text{ dB}$ empfohlen.

Es kommt mitunter vor, dass der Abhörpegel individuell an den Inhalt eines Programms angepasst werden muss. Dieser Wert wird unter Bezug auf den Referenz-Abhörpegel ermittelt und ist auf dem Aufzeichnungsträger anzugeben. Erfolgt zum Beispiel die Wiedergabe eines speziellen Programms über eine 3/2-Stereo-Konfiguration mit einer Verstärkung von -10 dB bezogen auf den Referenz-Abhörpegel, bedeutet das, dass am Bezugs-Hörort ein Schallpegel von 75 dBA gemessen wird, wenn alle fünf Wiedergabekanäle mit inkohärentem Rosarauschen gespeist werden.

Einige Standard-Empfehlungen zur PegelEinstellung empfehlen die Verwendung von breitbandigem Rosarauschen oder von bandbegrenztem Rauschen von 200 bis 20 kHz. Dies wurde von anderen kritisiert wegen des zu großen tieffrequenten Anteils, wodurch die Messung in hohem Grade von der Antwort von Raummoden abhängig werden kann, sowie sehr richtungsabhängig bei hohen Frequenzen. Derartige Messungen werden jedoch normalerweise mit A-Filtern bewertet, wodurch die extremen tief- und hochfrequenten Anteile beträchtlich reduziert werden.

Im Filmtone-Bereich und bei bestimmten anderen betrieblichen Operationen, einschließlich der Japanischen Empfehlungen für Mehrkanal-Mischräumen für HDTV ist es üblich, C-Bewertung anstelle der A-Bewertung für die Einstellung des Monitorpegels zu verwenden (C-Bewertung ist eine etwas „flachere“ Kurve als die A-Bewertungskurve, die sich den Kurven gleicher Lautstärke bei höheren Pegeln annähert). Eine alternative „filmtypische“ Empfehlung verwendet bandbegrenztes Rosarauschen zwischen 500 Hz und 2 kHz, bei dem SMPTE-Standard-Einstellpegel von -20 dBFS. Dieses Signal wird zur Einstellung eines Schalldruckpegels von 83 dBC (slow) an der Monitorposition benutzt, wobei der Pegel jedes Kanals einzeln eingestellt wird (Beachte: Ein -18 dBFS-Testsignal würde dann einen Wert von 85 dBC ergeben). In Filmtheatern und in Film-Synchronstudios ist es übliche Praxis, die Verstärkung der Surround-Kanäle um -3 dB zu verringern, bezogen auf die Frontkanäle. Die Aufzeichnungskanäle der Stereo-Surround-Kanäle werden entsprechend vergrößert, wie vorher angegeben. Die Japanischen Empfehlungen für HDTV-Mischräume verwenden offensichtlich breitbandiges Rosarauschen bei C-bewerteter Messung, was unterschiedliche Festlegungen für den Schalldruckpegel ergibt, je nach der Größe der verwendeten Lautsprecher. Diese Einstellungs-Methoden ergeben im Gegensatz zu der ersten angegebenen Methode einen anderen Monitorpegel an den Hörplätzen, aber in jedem Fall (mit Ausnahme der Filmtheater) werden die Kanäle einzeln eingestellt, unter Verwendung eines Rauschsignals für einen in gleicher Weise bewerteten Schalldruckpegel an der Hörposition.

In neueren Untersuchungen wurde versucht, Zusammenhänge zwischen der subjektiven Einstellung der Kanal-Lautheit und einer Anzahl unterschiedlicher objektiver Messungen zu finden, bei Verwendung zahlreicher verschiedenartiger Testsignale [13]. Es scheint offensichtlich zu sein, dass der tieffrequente Inhalt von Testsignalen ignoriert wird, wenn die Kanalverstärkung subjektiv eingestellt wird, und dass konstante spezifische Lautheits-Rauschsignale gegenüber Rauschsignalen hinsichtlich der subjektiv/objektiven Korrelation bevorzugt werden. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um zu ermitteln, welche Abfall bei hohen Frequenzen (sofern nötig) ideal ist für Rauschsignale, die zur Systemeinstellung verwendet werden sollen.

8 Zur Unterscheidung von Wiedergabeformaten und Codierformaten

Gegenwärtig sind bei der Mehrkanalton-technik eine Vielzahl von Verteilungs- und Wiedergabeformaten in Gebrauch. Diese Praktiken sind meist nicht standardisiert, wurden aber als proprietäre Formate eingeführt. Dabei wird der unkorrekte Eindruck erweckt, als ob es sich um Systemlösungen für die Aufnahme- und Wiedergabeformate handeln würde, wie sie bereits früher

*) Anmerkung des Übersetzers: Hier ist erkennbar, dass bei der Redaktion der englischen Fassung des AES-Dokumentes ein sinnentstellender Fehler aufgetreten ist: Bekanntlich ist die A-Kurve für die Messung rein akustischer Größen (Störgeräusche in Räumen usw.) bestimmt; sie entspricht der 30-dB-Lautstärkekurve für leise Geräusche um 30 Phon. Sie ist daher gerade für alle Messungen im oberen Lautstärkebereich sowie auch für elektrische Geräusch-Messungen völlig ungeeignet. Dessen ungeachtet wird sie aber in Verkennung der Zusammenhänge vielfach auch in der Elektroakustik verwendet.

in diesem Dokument behandelt wurden, das auf der Basis des internationalen Standards ITU-R BS.775-1 [1] erarbeitet wurde.

Für kurze Verbindungen, z.B. zwischen Aufnahme- und Regieräumen, hat man stets diskrete, transparente Direktwege, ohne jegliche Zwischencodierung zur Verfügung. Daher lässt sich das wiederzugebende Format klar definieren. Dagegen benötigt man häufig zur Übertragung und Aufzeichnung von Mehrkanaltonsignalen für Konsumer-Anwendungen datenreduzierende Codierverfahren oder analoge Matrixverfahren, insbesondere bei begrenzten Übertragungs- und Datenkapazitäten.

Man unterscheidet daher:

- **Mehrkanal-Wiedergabeformate:** Repräsentiert durch die Referenz-Lautsprecher-Anordnungen 3/2 oder 3/2/1 (und einschließlich 2/2, 3/1, 5/2 usw.), wie sie in den Abschnitten 3 und 4 beschrieben wurden.
- **Codier- und Übertragungsformate:** Zur Aufzeichnung Übertragung und Verbindung von Mehrkanaltonsignalen bei unterschiedlichen Medien.

Im letzteren Fall sollte stets die Übertragungs-Kanalzahl zum Format betrachtet werden. Man versteht z.B. unter „4-2-4“ ein Matrizierungsformat, bei dem die vier Signale (L, C, R, S) übertragen bzw. aufgezeichnet und später im 3/1-Format wiedergegeben werden.

9. Literaturhinweise

- [1] ITU-R BS.775-1, "Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture," Rec., International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1992/1994).
- [2] SMPTE RP-173, "Loudspeaker placements for audio monitoring in high definition electronic production," Rec., SMPTE N 15.04/152-300B, Society of Motion Picture and Television Engineers (1991).
- [3] SMPTE "Channel assignments and levels on multichannel audio media," Proposed Standard for Television, ITU Information doc. ITU-R 10C/11 and 10-11R/2 (1998 Mar. 16).
- [4] EBU R22, "Listening conditions for the assessment of sound programme material," Rec., European Broadcasting Union (2000). Weitere Details siehe EBU Tech 3276 mit Suppl. 1.
- [5] T. Nousaine, "Multiple subwoofers for home theatre". Vortrag zur 103.Convention der Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, Vol. 45, S. 1015 (1997 Nov.), Preprint 4558.
- [6] N.Zacharov, S. Bech, and D. Meares, "The use of subwoofers in the context of surround sound program reproduction". *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, Vol. 46, S.276–287 (1998 Apr.).
- [7] C. Kügler and G. Theile, "Loudspeaker reproduction: study on the subwoofer concept". Vortrag zur 92.Convention der Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, Vol. 40, S. 437 (1992 May), Preprint 3335.
- [8] D. Griesinger, "Spatial impression and envelopment in small rooms". Vortrag zur 103.Convention der Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, Vol. 45, S. 1013–1014 (1997 Nov.), Preprint 4638.
- [9] ISO1996, "One-third octave band background noise level limits noise rating curves (NR)," Rec., International Standards Organization, Geneva, Switzerland (1972).
- [10] ITU-R BS.1116-1, "Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems," Rec., International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1997).
- [11] EBU R 91, "Track allocations and recording levels for the exchange of multichannel recording," Rec., European Broadcasting Union (1998); EBU R 96 "Formats for production and delivery of multichannel programme," Empfehlung. (2000).
- [12] ITU-R BS.1384, "Parameters for international exchange of multi-channel sound recording," International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland (1998).
- [13] N. Zacharov and S. Bech, "Multichannel level alignment, Part IV: the correlation between physical measures and subjective level calibration". Vortrag zur 109.Convention der Audio Engineering Society, *J. Audio Eng. Soc. (Abstracts)*, Vol. 48, S. 1110 (2000 Nov.), Preprint 5241.
- [14] SSF Recommended Practice – 01-E3: "Listening Conditions and Reproduction Arrangements for Multichannel Stereophony" (01/00), Überarbeitung in Vorb.
- [15] SSF Recommended Practice – 02/1-E2: "Multichannel Recording in 3/2 Format" (05/00), Überarbeitung in Vorb.

Anhang I

Anmerkung zur deutschen Version des AES-Dokumentes

Das AES-Informationsdokument wurde unter Federführung von Francis Rumsey von den Autoren bzw. Co-Autoren David Griesinger, Tomlinson Holman, Mick Sawaguchi, Gerhard Steinke, Günther Theile und Toshio Wakatuki erarbeitet.

Es besteht zum größten Teil aus den „Empfehlungen für die Praxis SSF-01 und SSF-02“, von denen englische Fassungen erarbeitet und Francis Rumsey als Grundlage für die Zusammenstellung zur Verfügung gestellt worden (diese englischen Fassungen sind unter der Homepage des VDT, Foren/Surround-Sound-Forum, abrufbar [14], [15]). Neu kamen Bedingungen für Mehrkanal-Mischräume hinzu, wie sie vom japanischen HDTV-Mehrkanal-Forum erarbeitet wurden.

Für die SSF-Empfehlungen waren die maßgeblichen internationalen Standards der ITU, EBU und SMPTE als Basis verwendet worden. Hierbei waren die Art und Weise der Zusammenstellung, die zusätzlichen Ergänzungen und Erläuterungen in Diskussionen mit zahlreichen Tonmeistern aus den VDT-Regionalgruppen in Hamburg, Berlin, Köln und München abgestimmt worden. Francis Rumsey hat neben den Tabellen aus den SSF-Dokumenten insbesondere diese eigenen Zusätze übernommen und sie ergänzt. Die deutsche „Übertragung“ ist daher keine exakte Übersetzung; sie nutzt an verschiedenen Passagen die SSF-Texte weitgehend im Wortlaut, wenn diese mit dem Englischen gut übereinstimmen.

Bei dieser Rückübersetzung wurden auch Mängel in den Basisdokumenten korrigiert und durch entsprechende Anmerkungen des Übersetzers kenntlich gemacht. Als Konsequenz ergibt sich daraus, dass auch die SSF-Basisdokumente umgehend in einer neuen, verbesserten Redaktion herausgegeben werden.

Dabei betrifft dies u.a. das Schall-Bündelungsmaß von Monitor-Lautsprechern (Tabelle 3). Hier waren von der SSF-Redaktion zunächst die Werte aus ITU-Empfehlungen übernommen worden, die sehr große Toleranzen zuließen. Von Seite der amerikanischen Experten wurde dies kritisiert, da ja bereits vor Jahrzehnten Untersuchungen im IRT München („Die Bedeutung des von Lautsprechern abgestrahlten diffusen Schalls für das Hörereignis“, 1978) und RFZ Berlin („Das Schallbündelungsmaß von Studio-Abhöreinrichtungen...“, 1968) die Notwendigkeit eines hohen und gleichmäßigen Bündelungsmaßes nachgewiesen hatten. Diese seinerzeit mit Tonmeistern ermittelten Werte wurden daher nun entsprechend in die Tabelle eingefügt.

Es muss allerdings festgestellt werden, dass nur wenige Hersteller von Studio-Monitoren diese Bedingung beachten bzw. realisieren. Dabei wird auch unterschätzt, dass die bisherige untere Grenze von 250 Hz künftig ebenfalls verringert werden sollte und dass derartige Monitore auch im Tiefenbereich eine möglichst nierenförmige Charakteristik besitzen sollten, damit eine größere Unabhängigkeit von Raumeinflüssen gewährleistet wird.

Ein weitere Ergänzung ist der Farbcode, der nach Vorschlägen von Florian Camerer, ORF Wien, und Wolfgang Hoeg, Telekom-Berkom Berlin, mit in die Tabelle 5 (Kanal- und Spurzuordnung) aufgenommen wurde, um in der Praxis bei Herstellern und Anwendern eine höhere Sicherheit bei der Kanalnutzung zu erreichen.

Für die laufende Verbesserung aller genutzten Dokumente werden gern weitere Hinweise entgegengenommen.

Redaktion der „SSF-Empfehlungen für die Praxis“
Gerhard Steinke, _2002-06-27