

SURROUND SOUND FORUM

Eine Gemeinschaftsinitiative von VDT, IRT und SRT



EMPFEHLUNG FÜR DIE PRAXIS SSF – 01.1/2002



Hörbedingungen und Wiedergabeanordnungen für Mehrkanal-Stereofonie



Schule für Rundfunktechnik

PRÄAMBEL

Diese 'Empfehlung für die Praxis' wird vom 'SURROUND-SOUND-FORUM' (SSF) herausgegeben, einer interdisziplinären und überregionalen Arbeitsgemeinschaft, die 1996 anlässlich der 19. Tonmeistertagung vom Verband Deutscher Tonmeister (VDT) gegründet wurde. Sie wird auch vom Institut für Rundfunktechnik (IRT) und der Schule für Rundfunktechnik (SRT) unterstützt und ist für alle Interessenten offen. Anliegen des SSF ist es, in Zusammenarbeit mit anderen Gremien, Institutionen, wie auch der Industrie, die Entwicklung der Mehrkanal-Stereofonie zu koordinieren, auf die weitere Standardisierung Einfluß zu nehmen und insbesondere eine praxisgerechte Umsetzung von internationalen Empfehlungen auf diesem Gebiet zu unterstützen sowie den Austausch von Informationen und Erfahrungen zu fördern.

Chairman:

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

INHALT

1. Einleitung / Geltungsbereich
 2. Hörbedingungen
 3. Wiedergabeanordnungen: Aufstellungs- und Anordnungshinweise
 4. Einstell- und Einmesshinweise
 5. Referenzen – Standards
- Anhang 1: Anmerkungen zu den Parametern und Werten in Abschnitt 2.
Weiterführende Literatur
- Anhang 2: Zur Unterscheidung von Wiedergabeformaten und Codierformaten
- Anhang 3: Subjektive Grenzwerte der Wiedergabequalität von Tonsignalen
- Anhang 4: Terminologie

Vice-Chairmen:

Uwe Krämer, SRT
Wallensteinstr. 121
90431 Nürnberg
Tel. : 0911 9619-487
Fax: 0911 9619-199
E-mail: UKraemer@srt.de

SSF E-mail Adresse:

surround-
sound@tonmeister.de

<http://www.tonmeister.de>

Die bisher gültige Empfehlung SSF-02-10.98 wird damit ersetzt. In der vorliegenden Ausgabe wurden Vorschläge von Mitgliedern des SSF sowie Ergebnisse der Diskussionen mit der Arbeitsgruppe „Multichannel Audio“ der AES berücksichtigt; ferner wurden Druckfehler beseitigt sowie redaktionelle Verbesserungen des Textes vorgenommen. Die inhaltlichen Änderungen wurden farblich gekennzeichnet. Diese Kennzeichnung fällt nach Akzeptanz durch das SSF am 1.8.2003 weg.

Ausführliches Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung/Geltungsbereich
2. Hörbedingungen
 - 2.1 Allgemeines
 - 2.2 Parameter und Werte für Hörbedingungen
 - 2.2.1. Anforderungen für das Referenz-Schallfeld am Bezugsort (Studiobedingung) und Hinweise für die Heimwiedergabe
 - 2.2.2. Anforderungen für Referenz-Monitor-Lautsprecher und Hinweise für Heimlautsprecher.
 - 2.2.3. Anforderungen für Referenz-Hörräume und Hinweise für Wohn-Hörräume
 - 2.2.4. Anforderungen für Referenz-Monitor-Kopfhörer
3. Wiedergabeanordnungen: Aufstellungs- und Anwendungshinweise
 - 3.1 Referenzanordnung / Referenz-Farbcode
 - 3.2 Hierarchie der Wiedergabeformate
 - 3.3 Zusätzlicher Subbass-Kanal
 - 3.3.1. LFE-Signal/-Kanal
 - 3.3.2. Separate Subbass-Lautsprecher innerhalb der Standard-Konfiguration
 - 3.3.3. Vergrößerung der Hörzone durch zusätzliche Surround-Strahler
4. Einstell- und Einmesshinweise
 - 4.1. Pegel- und Laufzeitkorrekturen bei Abweichungen der Positionen der Lautsprecher
 - 4.2. Einstellung des Bezugs-Abhör-Schallpegels
5. Referenzen - Standards

Anhang 1: Anmerkungen zu den Parametern und Werten in Abschnitt 2.
Weiterführende Literatur

Anhang 2: Zur Unterscheidung von Wiedergabeformaten und Codierformaten

Anhang 3: Subjektive Grenzwerte der Wiedergabequalität von Tonsignalen

Anhang 4: Terminologie

1. Einleitung / Geltungsbereich

Die vorliegende Empfehlung ist für Studienzwecke¹ (Hörfunk / Fernsehen / Film /Mastering-Studios) vorgesehen; sie sollte weitgehend auch für Heimtonanlagen gelten.

Als Basis dienen vor allem die ITU-R-Empfehlung BS.775-1 [1], die den Weltstandard für eine Hierarchie einheitlicher diskreter Mehrkanalsysteme darstellt, sowie die Empfehlung ITU-R BS.1116-1 [13] und das Tech-Dokument der EBU 3276 [3], in denen die Grundanforderungen für Hörbedingungen bei der Bewertung von Programmen von Monofonie bis Mehrkanal-Stereofonie enthalten sind. Hieraus wurden die Angaben übernommen, deren Anwendung für die Mehrkanalwiedergabe als notwendig erachtet wird, um die „Grund-Audio-Qualität“ (Basic Audio Quality, gemäß [13]) zu gewährleisten².

Im Studiobereich werden hochwertige Hörbedingungen benötigt in

- *Referenz-Hörräumen*, d.h. in Hörräumen zur kritischen Bewertung der Qualität sowohl von Tonübertragungseinrichtungen als auch von Programmbeiträgen zu deren Auswahl für die Programmgestaltung bei Rundfunk, Fernsehen, Aufzeichnung, sowie in

- *Tonregieräumen* zur Produktion und kritischen technisch-künstlerischen Bewertung der Qualität von Programmbeiträgen.

Referenz-Hörräume müssen optimale Hörbedingungen aufweisen und sollten den nachstehenden Anforderungen entsprechen, um vergleichbare Ergebnisse an unterschiedlichen Orten zu liefern und somit einen einwandfreien Programmaustausch zu gewährleisten.

In **Tonregieräumen** sollte die Qualität des Schallfeldes am Bezugs-Hörort durch die notwendigen technischen Einbauten nicht bzw. nur gering und definiert beeinflusst werden. Tonregieräume sollten ebenfalls weitgehend den nachstehenden Anforderungen entsprechen.

¹ Für die Kategorie *Studio* wird die sog. *Studioqualität* durch die vorliegende Empfehlung sowie die entsprechenden Standards von internationalen Organisationen für Hörfunk / Fernsehen / Mastering-Studios ausreichend definiert; der Terminus 'Studio' sollte daher nicht durch irritierende Jargon-Zusätze (wie z.B. ‚High-End-Studioqualität‘) verfälscht werden.

² siehe dazu auch Anhang 1.

Bei der **Heimwiedergabe** wird man aufgrund der unterschiedlichen Gegebenheiten, vor allem hinsichtlich der raumakustischen Eigenschaften von Wohnräumen, Abweichungen gegenüber den Studio- und Referenzbedingungen zulassen müssen. Diese sollten jedoch den Mehrkanal-Stereo-Effekt nicht beeinträchtigen. Bei den meisten elektroakustischen Parametern ist es beim heutigen Stand der Technik nicht erforderlich, zwischen Studio- und Heimbedingungen signifikant zu differenzieren; lediglich bei einigen Parametern werden speziell für die Heim-Kategorie als sinnvoll angesehene Werte angegeben.

Der für Heimwiedergabe bisher verwendete nationale sog. Hi-Fi-Standard (DIN 45500) ist nicht mehr gültig, er wurde ca. 1989 durch den internationalen IEC-Standard 268 (*DIN EN 60268*) ersetzt. Dieser gibt Mindestanforderungen für eine höhere Qualifikationsklasse gegenüber handelsüblichen Massen-Erzeugnissen an. Daraus sind einige Relationen zu den hier niedergelegten Anforderungen abzuleiten.

2. Hörbedingungen ('Listening Conditions')

2.1 Allgemeines

Mit dem Begriff *Hörbedingungen* werden die komplexen Eigenschaften eines *Schallfeldes* definiert, das auf einen Hörer in einem Hörraum am Bezugsort bei der - raumbezogenen³ - Schallwiedergabe über Lautsprecher einwirkt.

Die Gesamtheit der Hörbedingungen und die erreichbare Qualität des mit diesen verbundenen Schallfeldes werden gebildet durch:

- **die geometrischen und akustischen Eigenschaften des Hörraumes,**
- **die Eigenschaften und Anordnung der Lautsprecher im Hörraum, sowie**
- **den Hörort bzw. die Hörzone für ausgewählte Hörplätze.**

Die Hörbedingungen in hochwertigen Hörräumen sollten eine neutrale und kritische Kontrolle des Tonsignals ermöglichen, d.h. seine Eigenschaften und Mängel deutlich erkennen lassen und das Hörereignis, also das subjektiv wahrgenommene Schallereignis, an den definierten Hörplätzen nicht störend beeinflussen.

Darüber hinaus soll bei der Wiedergabe eines technisch und künstlerisch einwandfreien hochwertigen Tonsignals ein technisch und ästhetisch zufriedenstellender Eindruck entstehen, der auch eine definierte akustische Antwort des Hörraumes (Wiedergaberaumes) als eine 'natürliche Hörempfindung' einschließt.

Um auch bei Heimwiedergabe einen Gesamteindruck zu erhalten, wie er vom Produzenten bei der Aufnahme beabsichtigt wurde, sollten hochwertige Heimbedingungen den Anforderungen an die technische Qualität von Studio- bzw. Referenz-Hörbedingungen nahekommen.

Zur Standardisierung derartiger 'Hörbedingungen' für die Wiedergabe von Tonsignalen ist es notwendig, die Eigenschaften eines mittels Lautsprecher in einem Hörraum am Bezugsort entstehenden *Schallfeldes* eindeutig zu beschreiben und zu definieren (gemäß der 1988 getroffenen Festlegung der seinerzeitigen ITU-R/CCIR-Arbeitsgruppe 10-C-1).

Dabei wird davon ausgegangen, daß **unter Referenzbedingungen das Schallfeld so optimal gestaltet werden kann, daß es als ein 'Bezugs-Schallfeld' anzusehen ist, wie es aus der Wechselwirkung von optimal angeordneten Lautsprechern mit hohen Qualitätseigenschaften gemäß einer 3/2- Konfiguration⁴ (s. Bild 4, Seite 11) und eines nach hohen raum- und bauakustischen Anforderungen gestalteten Hörraumes („Wiedergaberaumes“) entsteht.**

Eine derartige Definition dient dazu, ein dem Referenz-Schallfeld weitgehend gleichartiges Schallfeld an anderen Hörorten mit auf unterschiedliche Weise gestalteten Wiedergaberäumen und mit unterschiedlichen Lautsprechern zu erzeugen. Gegenwärtig kann jedoch dieses Bezugs-Schallfeld nicht ausreichend definiert werden. Es wird daher indirekt und näherungsweise durch festlegbare Parameter von Hörräumen und Monitor-Lautsprechern dargestellt.

³ für die kopfbezogene Wiedergabe mit Kopfhörern ist vorgesehen, eine separate Empfehlung SSF-03 auszugeben.

⁴ mit Subbass-Strahler für den LFE-Kanal wird das 3/2/1-Format auch als 5.1-Konfiguration bezeichnet.

Die hier (wie auch in den zitierten internationalen Dokumenten) enthaltenen Parameterwerte, Toleranzen und Meßvorschriften für empfohlene Anforderungen an Hörbedingungen stellen somit lediglich **notwendige Minimalforderungen** dar; sie sind noch nicht hinreichend, um optimale Anforderungen genau zu beschreiben und eine ausreichende Übereinstimmung unterschiedlicher Hörräume zu gewährleisten.

Einen neuen Ansatz für die Optimierung von Hörbedingungen bietet der „virtuelle Hörraum“.⁵

2.2 Parameter und Werte für Hörbedingungen

Die folgenden Angaben, Tabellen und Erläuterungen stellen den Stand internationaler Erkenntnisse für Referenz-Hörbedingungen dar. Die Anforderungen für die Heimwiedergabe sollten dazu in sinnvoller Relation stehen (siehe dazu auch Anhang 1).

Beim heutigen Stand der Erkenntnisse sowie der verfügbaren Meßtechnologie können die geforderten Eigenschaften für gewünschte gleichartige Wirkungen bei Mehrkanal-Wiedergabe im Betriebsfall mitunter auch mit unterschiedlichen Maßnahmen erreicht werden können. Z.B. kann gemäß Abschn.3.3 die Betriebs-Schallpegelkurve mit jeweils einem Lautsprecher pro Kanal oder auch mit der Kombination von ein oder mehreren separaten Subbass-Strahlern (sog. Subwoofern) und den übrigen Lautsprechern - bei denen zugunsten kleinerer Volumina die untere Grenzfrequenz auf ca. 80 - 100 Hz erhöht wurde - erreicht werden.

2.2.1. Anforderungen für das Referenz-Schallfeld am Bezugsort (Studiobedingung) und Hinweise für die Heimwiedergabe.

Im Folgenden werden die Anforderungen für die Wiedergabe mit Lautsprechern aufgeführt; bei Wiedergabe mit Kopfhörern hat der Hörraum praktisch keinen Einfluss (Zu den Anforderungen an Kopfhörer für Mehrkanalwiedergabe siehe Abschn. 2.2.4.).

Tabelle 1: Anforderungen für das Referenz-Schallfeld am Bezugsort (Studiobedingung) und Hinweise für die Heimwiedergabe

Parameter	Einheit/ Bedingung	Studio	Heimwiedergabe
Direktschall Amplitudenfrequenzgang	Freifeldübertragungsmaß	Toleranzgrenzen siehe Tab.2 (Referenz-Monitor)	siehe Tab.2
Reflektierschall Anfangsreflexionen (Kurzzeitreflexionen)	0 ms...15 ms (im Bereich von 1 kHz bis 8 kHz)	- 10 dB relativ zum Direktschall	- 10 dB relativ zum Direktschall
Zeitliche Diffusität des Nachhall-Schallfeldes	Vermeidung von signifikanten Anomalien im Schallfeld	keine Flatterechos, keine Klangfärbungen usw.	wie Studiobedingung geradliniger Abklingverlauf
Nachhallzeit	T_m [s] = Nominalwert im Bereich 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 1	0.2 bis 0.4 Toleranzfeld s. Bild 1
Stationäres Schallfeld Betriebs-Schallpegelkurve	50 Hz... 2 kHz 2 kHz...16 kHz	±3 dB +3 dB/ von -3 dB bis - 6dB fallend gemäß Toleranzfeld s. Bild 2	Toleranzfeld s. Bild 2, ggf. Abfall nach ITU [2], s. Anhang 1.
Grundgeräusch		< NR 10 bzw. <GK 10	78 dBA (pro Stereo-Kanal)
Referenz-Abhörpegel (relativ bei definiertem Mess-Signal)	Eingangssignal: Rosa Rauschen, - 18 dBFS (RMS)	78 dBA (RMS, slow) (pro Stereo-Kanal)	

⁵ s. Theile, G.: Virtuelle Lautsprecher in einem virtuellen Raum. Production Partner Special zur 20. TMT '98.

Der **Direktschall** ist der Schall ohne Einfluss des Hörraumes in Form von Reflexionen und Nachhall. Die Qualität wird durch die Eigenschaften des entsprechenden Lautsprechers bestimmt, gemäß 2.2.2 (siehe in Tabelle 2),

Der **Reflektierschall (Nachhall-Schallfeld)** ist aufgeteilt in

- **Anfangsreflexionen** (Kurzzeitreflexionen) innerhalb der ersten 15 ms, im Bereich von 1 kHz bis 8 kHz, Forderung und Messung nach EBU [3],
- **zeitliche Diffusität des Nachhall-Schallfeldes** (geradliniger Abklingverlauf),
- **Nachhallzeit:** Im Bild 1 ist das Toleranzfeld für die Nachhallzeit, gemäß EBU [3], dargestellt. Die Messung erfolgt mit den eingesetzten Monitor-Lautsprechern und Terzfilterung. T_m ist der arithmetische Mittelwert der gemessenen Nachhallzeiten T in den Terzbändern 200 Hz bis 4 kHz. Er sollte zwischen 0.2 und 0.4s liegen, in Abhängigkeit von der Raumgröße (s. Formel in Tab.1), um ein ausreichend 'natürliches' räumliches Empfinden zu vermitteln.

Der Frequenzgang der Nachhallzeit sollte stetig verlaufen; plötzliche und starke Sprünge beeinflussen die Betriebs-Schallpegelkurve. Daher sollten derartige Abweichungen in aufeinanderfolgenden Terzbändern im Bereich von 200 Hz bis 8 kHz die Grenzabweichung ± 0.05 s, sowie unterhalb von 200 Hz eine von $< 25\%$ der längeren Zeit nicht überschreiten⁶.

Das **stationäre Schallfeld** wird dargestellt durch die

Betriebs-Schallpegelkurve (siehe dazu Toleranzfeld in Bild 2), gemäß EBU [3]. Sie stellt ein wichtiges Kriterium der Wechselwirkung Raum-Lautsprecher und für die Güte der Hörbedingungen dar. Sie wird gemessen als Frequenzgang des Schalldruckpegels am Bezugs-Hörpunkt. Mess-Signal ist terzgefiltertes Rosa Rauschen. Die Toleranzen sollten für jeden einzelnen Lautsprecher getrennt eingehalten werden. Insbesondere für die Frontlautsprecher ist eine hohe Übereinstimmung der Betriebs-Schallpegelkurve von Bedeutung (siehe dazu auch weitere Hinweise in [3]).

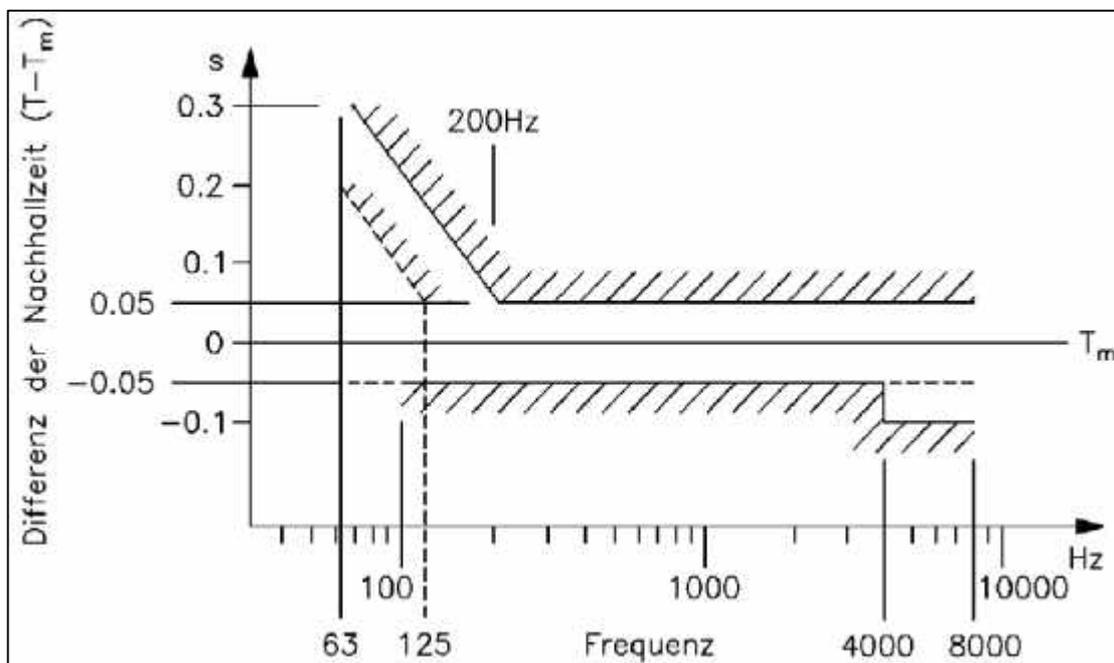


Bild 1: Toleranzgrenzen für die Nachhallzeit, relativ zum arithmetischen Mittelwert T_m [3].

(Der gestrichelt gezeichnete Vorschlag, die Toleranzen unterhalb 125 Hz zu verringern, ist noch in der Diskussion).

⁶ zur Abweichung gegenüber DIN 15996 [7] siehe Anhang 1.

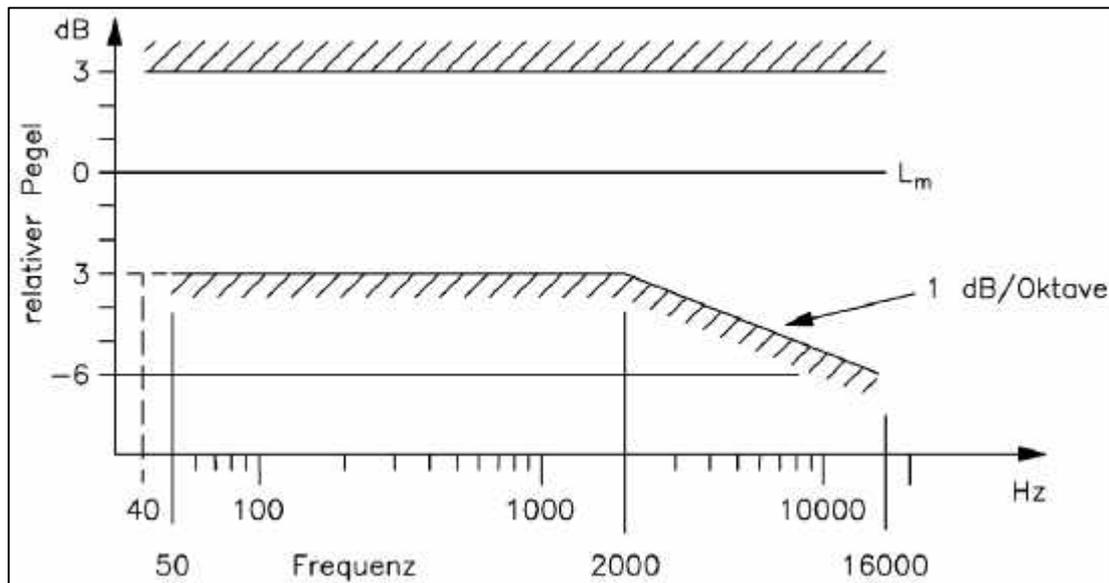


Bild 2 - Betriebsschallpegelkurve, relativer Pegel, Toleranzgrenzen [3]⁷

Anmerkung: Der Bereich von 20...30 Hz muss noch ergänzt werden.

Referenz-Abhörpegel $L_{LIST\ ref}$

Er charakterisiert die Empfindlichkeit eines Wiedergabekanals: Die Einstellung erfolgt mit bandbegrenztem Rosa Rauschen bei einem Digitalpegel von - 18 dBFS/RMS [25]. Die Wiedergabekanäle sind einzeln so einzustellen, daß am Bezugs-Hörpunkt ein A-bewerteter Schalldruckpegel (RMS) erreicht wird von

$$L_{LIST\ ref} = 85 - 10 \log(n) \text{ dB (A)}$$

wobei n die Zahl der Wiedergabekanäle (Stereo-Lautsprecher) darstellt.

Für eine 3/2-Anordnung sind pro Kanal somit 78 dB(A); bei 2/0 = Zweikanal-Stereo = 82 dB(A) erforderlich. Im Einzelnen siehe dazu Einmessvorschrift in SSF-02.1 - 2002 [30].

Die Pegeldifferenz zwischen zwei beliebigen Kanälen sollte **0,5 dB** nicht übersteigen (ITU [13] empfiehlt $\pm 0,25$ dB); insbesondere für die Frontlautsprecher ist hohe Übereinstimmung von Bedeutung.

Abhör-Schallpegel für LFE-Kanal:

Für Filmwiedergabe ist eine um +10 dB höhere Einstellung des LFE-Kanals (s.Abschn.4) zur betonteren Wiedergabe von Effektsignalen und Geräuschen üblich, gemäß SMPTE.

Entsprechende Mess-Signale sind auf der Einmess- und Testaufzeichnung gemäß 'Empfehlung für die Praxis' SSF – 02.1 - 2002 [30] sowie der Demo- und Test-DVD gegenwärtig nicht explizit verfügbar. Im Studio wird dies mit dem Frequenzanalysator eingestellt; im Heim genügt ein subjektiver Abgleich, da gewöhnlich ein kleiner Wert als 10 dB ausreichend ist.

⁷ Die Diagramme in Bild 1 und 2 entsprechen der EBU-Empfehlung [3]. In den Dokumenten der ITU [13] und von DIN [7] gibt es demgegenüber Abweichungen bzw. größere Toleranzen (siehe Anhang 1). Zusätzlich zeigen gestrichelte Linien in Bild 1 und 2 Vorschläge des SSF für strengere Bedingungen im Bereich tiefer Frequenzen, wie sie für nützlich und praktikabel gehalten werden.

Grundgeräusch:

Der *Dauergeräuschpegel* (Grundrauschen von Klimaanlage oder anderen äußeren oder inneren Schallquellen) wird als **Terz-Schalldruckpegel** $L_{pF_{eq}, T-30s}$ (RMS, slow), gemäß DIN 45641, für die Terzmittenfrequenzen von 50 Hz bis 10 kHz in Form einer Tabelle oder einer Grenzkurve angegeben. Die Angabe von Einzelwerten ist nicht ausreichend. Die Kurve GK10 (bzw. NR 10) sollte vorzugsweise nicht überschritten werden; unter keinen Umständen jedoch die Kurve GK15 (bzw. NR 15), siehe Bild 3.

Die hier empfohlenen Grenzkurven gemäß DIN 15996:1996 [7] sind aus den international bekannten ISO „Noise Rating“- Kurven (NR) [27] abgeleitet und behalten, entsprechend den realen Bedingungen, ab einer sinnvollen Grenzfrequenz einen konstanten Wert. **Im AES Dokument 1001.1 [2c] werden die international stärker verbreiteten NR-Kurven bevorzugt.**

Beachte: In vielen internationalen Dokumenten sind bei den NR-Kurven die Geräuschpegel meist als Oktavmittelwerte angegeben. Bei NR 10_{Okt} erhält man dann bei 1 kHz = 10 dB. Da raumakustische Messungen jedoch meist bei Terzmittenfrequenzen ausgeführt werden, sind die dabei erhaltenen Werte durchschnittlich 5 dB geringer. Die hier empfohlenen GK_{Terz} - Kurven sind dabei praxisgerechter.

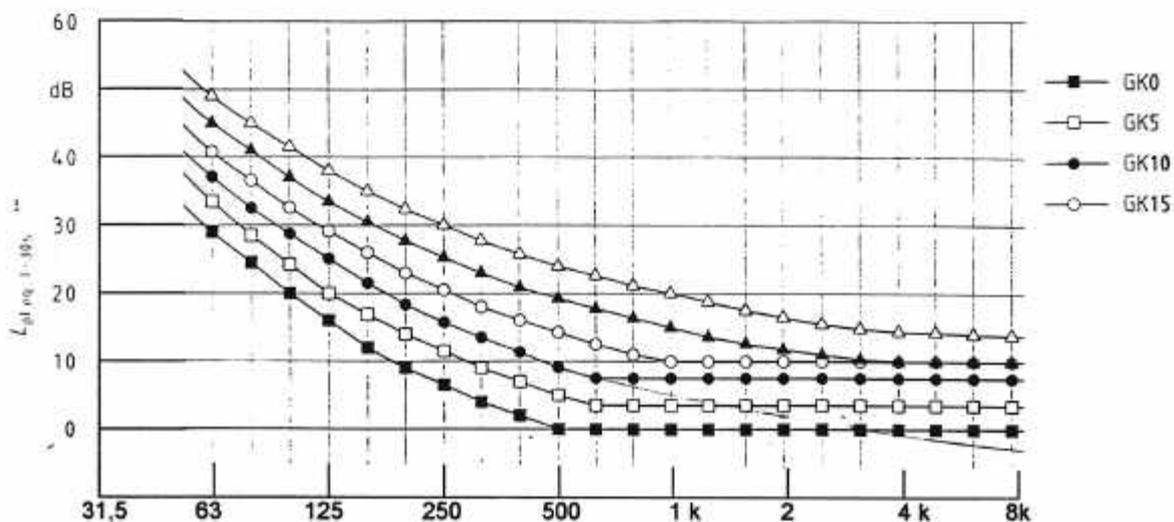


Bild 3 Grenzkurven für den höchstzulässigen Dauergeräuschpegel (Terz-Schalldruckpegel) gemäß DIN 15996 [7]

GK0 entspricht einschließlich 500 Hz NR0; oberhalb 500 Hz ist der Wert konstant 0 dB.
 GK5 entspricht einschließlich 630 Hz NR5; oberhalb 630 Hz ist der Wert konstant 3,5 dB.
 GK10 entspricht einschließlich 630 Hz NR10; oberhalb 630 Hz ist der Wert konstant 7,5 dB.
 GK15 entspricht einschließlich 1 kHz der NR15; oberhalb 1 kHz ist der Wert konstant 10 dB.

2.2.2. Anforderungen für Referenz-Monitor-Lautsprecher und Hinweise für Heimlautsprecher

Die Spezifikation in Tabelle 2 enthält die objektiven Mindestbedingungen für einen Referenz-Monitor-Lautsprecher. Wie einleitend erwähnt, sind Lautsprecher, die diesen Bedingungen entsprechen, noch nicht unbedingt für alle Programmgenres als Referenz-Lautsprecher geeignet. 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, Meßabstand in bezug auf die Dimensionen des Lautsprecher-Gehäuses (üblich sind Abstände > 2m) usw. gelten bekannte Richtlinien (u.a. in [3]). **Gemäß IEC 268-5 ist das Ergebnis auf den Nennabstand von 1m zu beziehen.**

Für elektrische Messungen sollte eine Genauigkeit von $\pm 0,2$ dB gewährleistet werden; bei akustischen Messungen sollte die Meßgenauigkeit kleiner ± 1 dB im gesamten Frequenzbereich sein.

Der Amplitudenfrequenzgang wird unter Freifeldbedingungen mit Rosaruschen für die Terzmittenfrequenzen im Bereich 31,5 bis 16 kHz unter 0° , $\pm 10^\circ$ und $\pm 30^\circ$ gemessen. Die zulässigen Toleranzen und Differenzen zeigt die Tabelle. Die Richtcharakteristik sollte vorzugsweise symmetrisch zur Bezugssachse sein.

Auch das Schall-Bündelungsmaß ist durch Terzmessungen zu ermitteln. Es wird entweder aus der Richtcharakteristik errechnet oder als Differenz zwischen Freifeldmessung und Diffusfeldmessung ermittelt. Die Angabe gemäß ITU [13] von einem Bündelungsmaß von > 6 dB bei stetigem langsamen Anstieg zu höheren Frequenzen hin wird bei hohen Anforderungen als nicht mehr ausreichend angesehen. Monitore mit kugelförmiger Abstrahlung (sog. Kugelstrahler) sind für Frontlautsprecher völlig ungeeignet. Für die Surround-Lautsprecher wäre in Abhängigkeit vom Programmmaterial mitunter auch eine diffuse Abstrahlung wünschenswert; mit Rücksicht auf Kompatibilität wird jedoch gegenwärtig empfohlen, prinzipiell einheitliche Lautsprecher für alle fünf Stereo-Kanäle einzusetzen.

Hinsichtlich der zusätzlichen Verwendung separater Subbass-Lautsprecher (Subwoofer) siehe Abschnitt 3.3.

Tabelle 2: Anforderungen für Referenz-Monitor-Lautsprecher und Hinweise für Heim-Lautsprecher

Parameter	Einheit/ Bedingung	Studio	Heimwiedergabe
Amplituden-Frequenzgang Differenz zwischen Front-Stereo-Lautsprechern	40 Hz...16 kHz 0° $\pm 10^\circ$ horizontal $\pm 30^\circ$ im Bereich > 250 Hz bis 2 kHz	Toleranzfeld: 4 dB Abweichung zu 0° : 3 dB Abweichung zu 0° : 4 dB 1 dB 0.5 dB	Toleranzfeld: 4 dB
Schall-Bündelungsmaß C	250 Hz ... 10 kHz	8 dB \pm 2 dB (ITU [13]: > 6 dB)	4 dB...12 dB
Klirrdämpfung (SPL = 96 dB)	< 100 Hz > 100 Hz	- 30 dB (3%) - 40 dB (1%)	- 40 dB
Verhalten bei Einschwingvorgäng. 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)	bei 100 Hz: ≤ 10 ms
Zeitverzögerung Differenz zwischen Stereo-Lautsprechern	δt	10 μs	10 μs
Dynamikbereich Maximaler Betriebspegel Geräuschpegel	$L_{eff\ max}$ $L_{Geräusch}$	> 112 dB (bei IEC 268-1 Programm-Simulations-Rauschen oder speziellem Mess-Signal) ≤ 10 dBA	> 102 dB

2.2.3. Anforderungen für Referenz-Hörräume und Wohn-Hörräume

Tabelle 3 enthält die Mindestforderungen für kleine (etwa 60...80m³) und mittlere (etwa 80...150m³) Hörräume. Ein Volumen von 300 m³ sollte für Studio-Hörräume nicht überschritten werden. Um eine vernünftige Verteilung der Eigenfrequenzen zu erhalten, sollten die Abmessungen nach den Seitenverhältnissen in Spalte 3 gewählt werden.

Die Räume sollten weitgehend symmetrisch zur Hörrichtung sein, auch im Hinblick auf die Verteilung der Absorptionsmaterialien, die besonders in der Nähe der Lautsprecher, bei Türen und Fenstern, bei technischen Einrichtungen usw. besondere Beachtung erfordert. Die Oberflächen von Tonmischpulten müssen so gestaltet sein, daß störende Reflexionen vermieden werden.

Es ist beabsichtigt, im Rahmen der weiteren Bearbeitung dieser Empfehlung für Wohnräume ergänzende praktikable Hinweise zu geben.

Tabelle 3: Anforderungen an Referenz-Hörräume und Hinweise für Wohn-Hörräume

Parameter	Einheit/ Bedingung	Studio	Heimwiedergabe
Raumgröße (Grundfläche) - Mono/2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	S [m ²]	> 30 > 40	> 25 > 25
Raumproportionen	l = Länge w = Breite h = Höhe	1,1w/h l/h 4,5w/h - 4, mit l/h < 3 und w/h < 3	
Basisbreite - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	B [m]	2.0...4.0 2.0...4.0	2.0...3.0 2.0...3.0
Basiswinkel - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	[Grad] bezogen auf L/R	60 60	60 60
Hörabstand - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	D [m]	2m...1,7 ⁸ B B (± 0,8m)	2m ... 1,7 ⁸ B B (± 0,8m)
Hörzone - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	R (Radius) [m]	0.8 0.8	0.8 0.8
Höhe der Lautsprecher ⁸ - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo L,C,R, LS, RS	h [m]	≈ 1.2 ≈ 1.2	(siehe auch Bild 4) > 0.9 ..1,4 > 0.9...1,4
Abstand zu umgebenden Reflexionsflächen - 2-Kanal-Stereo - Mehrkanal-Stereo	d [m]	1 1	0,5 0,5 (besser: >1)

⁸ d.h. des akustischen Zentrums

2.2.4. Anforderungen für Referenz-Monitor-Kopfhörer

Bei kopfbezogenem Hören wird im Allgemeinen der Hörraum ausgeschaltet. Es kommt somit zu einer anderen Beurteilung der Mehrkanalprogramme, wenn diese mit einer Aufnahmetechnologie für das raumbezogene diskrete 3/2-Wiedergabe-Format produziert werden.

Ausreichende Untersuchungsergebnisse liegen dazu nicht vor. Es ist daher gegenwärtig nicht möglich, in diesem Abschnitt die Anforderungen für Referenz-Monitor-Kopfhörer zur Beurteilung von Mehrkanal-Tonprogrammen zu definieren. Es ist beabsichtigt, dazu eine gesonderte „Empfehlung für die Praxis SSF- 03“ zu erarbeiten.

Prinzipiell sollte der Diffusfeld-Frequenzgang für Monitor-Kopfhörer den Anforderungen gemäß Empfehlung ITU-R BS. 708 [10] entsprechen.

Einen neuen Ansatz für die Optimierung von Hörbedingungen bietet der „virtuelle Hörraum“⁹.

3. Wiedergabeanordnungen für Mehrkanal-Stereofonie: Aufstellungs- und Anwendungshinweise

3.1 Referenzanordnung

Bei Erfüllung ausreichender Hörbedingungen gemäß Abschn. 2 sowie den Tabellen 1 bis 3 gewährleistet die im Folgenden definierte Aufstellung, Anordnung sowie Einstellung der Lautsprecher im Grundformat 3/2 oder den kompatibel dazu empfohlenen Formaten eine standardgerechte Wiedergabe.

Zur klaren Unterscheidung und Definition ist als Basis für den Formatcode prinzipiell die Zahl der Quellsignale zu benutzen. Sie ist in den meisten Fällen identisch mit der Zahl der Tonkanäle, jedoch nicht immer mit der Zahl der angeschlossenen Lautsprecher. Diese kann ggf. auch größer sein.

Die **Referenzanordnung** (Wiedergabe-Grundkonfiguration) besteht aus dem **Format 3/2** mit den **3 Frontalsignalen** /-kanälen **L** = links, **C** (Center) = mitte, **R** = Rechts plus **2** sogenannten **Surround-Kanälen** (Raum- bzw. Umgebungskanälen) **LS** und **RS**. Diese Konfiguration mit der auch im Heim meist noch zumutbaren Lautsprecheranzahl bietet einen optimalen Kompromiss zwischen den akustischen Anforderungen des Verfahrens und den praktischen Realisierungsbedingungen, sowohl im Studio- als auch im Wohnbereich.

Für die Aufstellung der fünf Lautsprecher wird eine Anordnung gemäß **Bild 4** auf der Basis der Empfehlungen ITU-R BS.775-1 [1] sowie SMPTE [2], empfohlen. Dieser prinzipielle **Wiedergabe-System-Standard** gilt völlig unabhängig von den verwendeten Übertragungs- und Aufzeichnungsverfahren und ist mit den dazu nutzbaren unterschiedlichen **Codierungs-Formaten** (die nur zum geringen Teil standardisiert sind, wie z.B. ISO/MPEG) nicht zu verwechseln. Siehe Anhang 2.

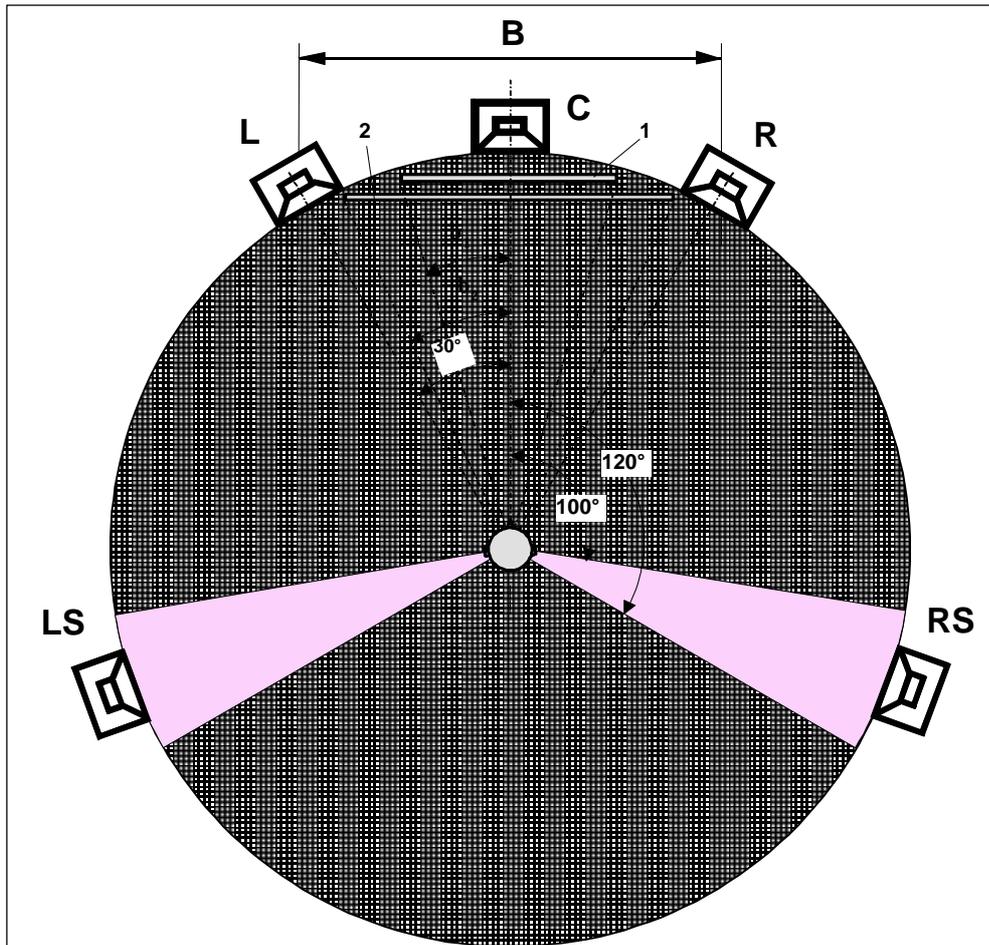
Referenz-Farbcode

Um Verwechslungen der Programm-Signale bzw. -Kanäle bei der Zusammenschaltung der Lautsprecher mit Mehrkanal-Anlagen zu vermeiden, ist die Anwendung eines *Farbcode*s (gemäß *Camerer/Hoeg*) bei Kabeln sowie Ein- und Ausgangsanschlüssen usw. vorteilhaft, wie er für die Belegung bei 8-kanaligen Aufzeichnungsformaten empfohlen wird [30]:

Kanal	Signal	Richtung	Farbe
1	L	Links	Gelb
2	R	Rechts	Rot
3	C	Mitte (Center)	Orange
4	Optional	LFE oder z.B.V.	Grau
5	LS	Linkes Surround-Signal	Blau
6	RS	Rechtes Surround-Signal	Grün
7	Frei verfügbar	Optional z.B. Links bei 2/0	Violett
8	Frei verfügbar	Optional z.B. Rechts bei 2/0	Braun

⁹ Theile, G.: Virtual Loudspeakers in a virtual room. Production Partner Special at the 20th Tonmeistertagung, 1998, Karlsruhe.

Bild 4: Referenz-Lautsprecheranordnung mit den Lautsprechern L/C/R und LS/RS in Kombination mit Bildwiedergabeeinrichtungen (gemäß ITU-R BS. 775-1, Fig. 1 [1]).



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

Bildfläche 1: Hörabstand = $3H$ ($2 \theta_1 = 33^\circ$)
Bildfläche 2: Hörabstand = $2H$ ($2 \theta_2 = 48^\circ$)
H: Bildhöhe
B: Lautsprecher-Basisbreite

akustisches Zentrum	Winkel	Höhe	Neigung
C	0°	1,2 m *)	0° *)
L, R	+/- 30°	1,2 m	0°
LS, RS	+/- (100...120)°	> 1,2 m	± 15°

*) abhängig von Form und Größe der Bildfläche

Für die ausschließliche Wiedergabe von Surround-Signalen können für LS und RS auch Positionen außerhalb des gewählten Radius' verwendet werden. Zu Abweichungen innerhalb der Kreislinie siehe Abschnitt 4.1.1.

3.2 Hierarchie der Wiedergabe-Formate

Das 3/2-Stereo-Surround-System ist plausibel eingebettet in eine Hierarchie von mehrkanaligen Tonformaten, um damit die Voraussetzung für einheitliche, flexible und kompatible Anwendung bei Fernsehen, Hörfunk, Film, Multimedia und bei band- und plattenförmigen Bild- und Tonträgern zu gewährleisten. Für diese Hierarchie, abwärtskompatibel bis herab zum Monoformat, gemäß **Tabelle 4**, gelten entsprechende Matrizierungsbedingungen (siehe in [1]) zur Addition der Teilsignale auf der Übertragungs- und Speicherungs- oder auch Wiedergabeseite je nach Wiedergabesituation; z.B., wenn aus den Multi-signalbündeln nur einzelne Signale abgeleitet werden sollen (z.B. das 2/0-Format, die konventionelle Zweikanal-Stereofonie).

System	Signale/Kanäle	Code
Ein-Kanal (Mono) System	M	1/0
Zwei-Kanal-Stereo	L/R	2/0
Zwei-Kanal-Stereo plus 1 Surround	L/R/MS	2/1
Zwei-Kanal-Stereo plus 2 Surround	L/R/LS/RS	2/2
Drei-Kanal-Stereo	L/C/R	3/0
Drei-Kanal-Stereo plus 1 Surround	L/C/R/MS	3/1
Drei-Kanal-Stereo plus 2 Surround	L/C/R/LS/RS	3/2
Drei-Kanal-Stereo plus 2 Surround + 1 Effektkanal	L/C/R/LS/RS plus LFE	3/2/1
Fünf-Kanal-Stereo plus 2 Surround	L/LC/C/RC/R//LS/RS	5/2
Fünf-Kanal-Stereo plus 2 Surround + 1 Effektkanal	L/LC/C/RC/R//LS/RS plus LFE	5/2/1
Fünf-Kanal-Stereo plus 4 Surround	L/LC/C/RC/R//LS1/RS2 /LS2/RS2	5/4

Tabelle 4: Hierarchie kompatibler Mehrkanal-Tonsysteme für Rundfunk, Film und Aufzeichnung (nach [1])

Auch die bisher bestehenden **3/1-Matrix-Formate** (3 Frontsignale plus ein Surround-Signal) sind in die Hierarchie eingeordnet und können mit der 3/2-Konfiguration wiedergegeben werden, da das monofone Surround-Signal **zwei Lautsprecher versorgt, wobei die Verstärkung der Surround-Kanäle um 3 dB verringert wird** (s. Anhang 2). Das 3/1-Format wurde auf Wunsch Japans als Ausnahme für das dortige MUSE-Übertragungssystem mit im ITU-Standard berücksichtigt.

Darüber hinaus sind auch über dem 3/2-Format liegende Systeme möglich und anzupassen - z.B. 5/2 bzw. 5/4 usw. Diese Formate sind nicht im ITU-Standard vorgesehen, da sie für das Heim als unrealistisch anzusehen sind. Dagegen wird das Format mit 5 Frontallautsprechern seit längerem im Filmbereich angewendet (hier ist das Gremium SMPTE zuständig) und auch teilweise für die DVD vorgesehen. Es sollte aber derart produziert werden, dass es ebenfalls abwärtskompatibel zu den 3/2- und 2/0-Formaten ist.

Bei allen weiteren Formatkombinationen ist jeweils die Referenz-Anordnung zugrunde zu legen, der bei gleicher Anzahl von Quellensignalen ggf. weitere Lautsprecher zugeordnet werden können, um die Wirkung einer Einhüllung (Umhüllung) zu vergrößern bzw. diskrete Schallquellen an einer höheren Anzahl von Orten auftreten zu lassen, so dass eine Auf- bzw. Abwärtskompatibilität gewährleistet wird.

3.3 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 = **Bassumleitung** = Bass-Management-System bzw. = Redirect.

3.3.1 Zusätzlicher Basskanal: LFE-Signal und –Kanal (LFE = Low Frequency Extension)⁹

Im Filmbereich wurde die Verwendung eines besonderen Effektsignals 'LFE' im Bassbereich von 20 bis ca. 80...120 Hz (LFE = Low Frequency Extension) eingeführt. Ein solches Signal und ein besonderer Kanal dafür kann - gemäß ITU-Empfehlung BS.775-1 [1] - **optional** auch als Ergänzung der Studio- und Heimformate genutzt werden. Wegen der geringen Frequenzbandbreite wird die Formatergänzung mit „0.1“ bzw. „/1“ bezeichnet (somit also das Multisignalbündel mit **3/2/1** bzw. **5.1** sowie **5/2/1** bzw. **7.1**).

Standardfestlegungen für die Studio- und Heimanordnung sowie Pegel existieren von Seiten ITU-R nicht. Produktionen, die diesem Standard entsprechen, sind derart durchzuführen, dass stets eine vollwertige Tonwiedergabe für das 3/2-Format erzielt wird, auch wenn für die Wiedergabe kein LFE-Kanal verfügbar ist.

Anmerkung: Bei der DVD-Audio kann beim optionalen Kanal 4 die volle Bandbreite genutzt werden, so dass dieser statt für LFE mitunter auch für BS (hinteres Surround-Signal) verwendet wird, da für hochwertige Musikprogramme ein LFE-Signal überflüssig ist. Eine internationale Einigung erfolgte noch nicht.

EBU- und SMPTE-Dokumente [2a], [4] enthalten einige Anmerkungen über die Verwendung des LFE-Kanals. Das SMPTE-Dokument [2a] 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 üblicherweise um ca. 10 dB größer als die der übrigen Einzelkanäle. Gemäß SMPTE [2a] sollte dies jedoch nicht durch Erhöhung des Aufzeichnungspegels, sondern durch Pegelerhöhung im Wiedergabekanal ausgeglichen werden. Dies ist aus Gründen der Kompatibilität auch für den übrigen Studiobereich und auch bei optionaler Heimwiedergabe zu berücksichtigen.

Für die Einmessung sind die Hinweise in SSF- 02.1 - 2002 [30] zu beachten. Daraus folgt, dass bei der Einmessung mit breitbandigem Rosaruschen der breitbandige oder bewertete Schalldruckpegel des LFE-Lautsprechers **nicht** 10 dB höher gemessen werden sollte als bei einem der anderen Kanäle - tatsächlich wird dieser aufgrund seiner schmalen Bandbreite nur etwa 4 dB größer sein als dieser.

3.3.2. Separate Tieftonlautsprecher (sog. Subwoofer) innerhalb der Standard-Konfiguration

Zur Verringerung der Volumina der 5 Stereo-Lautsprecher der Standard-Konfiguration gemäß 3.1 kann es bei Heim-Wiedergabeanlagen nützlich sein, zu den Lautsprechern (L/C/R/LS/RS) getrennt aufgestellte Tieftonstrahler (Subwoofer) als Ergänzung des unteren Frequenzbereiches zu verwenden und demzufolge bei den 5 Stereo-Hauptlautsprechern die untere Grenzfrequenz auf ca. 80 Hz..100 Hz heraufzusetzen.

⁹ in einigen ITU-Dokumenten auch als ‚Low Frequency Enhancement‘, bei SMPTE [2a] als ‚Low Frequency Effect‘ bezeichnet.

Hierbei können entweder mehrere Subwoofer bestimmten Einzelkanälen zugeordnet werden (z.B. den vorderen) oder ein einziger Subwoofer ergänzt diesen Frequenzbereich separat für alle 5 Stereo-Lautsprecher. Alle Lautsprecher werden über Frequenzweichen angeschlossen (Grenzfrequenzen von 80 bis 160 Hz sind in der Konsumerindustrie üblich, **effektiver ist der Bereich um etwa 80 Hz**).

Die Konfiguration ist in diesem Fall weiterhin als 3/2-Format anzusehen. Allerdings ist es möglich, den nun getrennt verfügbaren Bass-Teil durch spezielle Umschalt- und Einmess-Maßnahmen alternativ auch für den zusätzlichen LFE-Kanal bei der Wiedergabe von Spielfilmen mit 5.1-Kanalformat mitzuverwenden, so daß er zwei Aufgaben erfüllt (gemäß Bild 5).

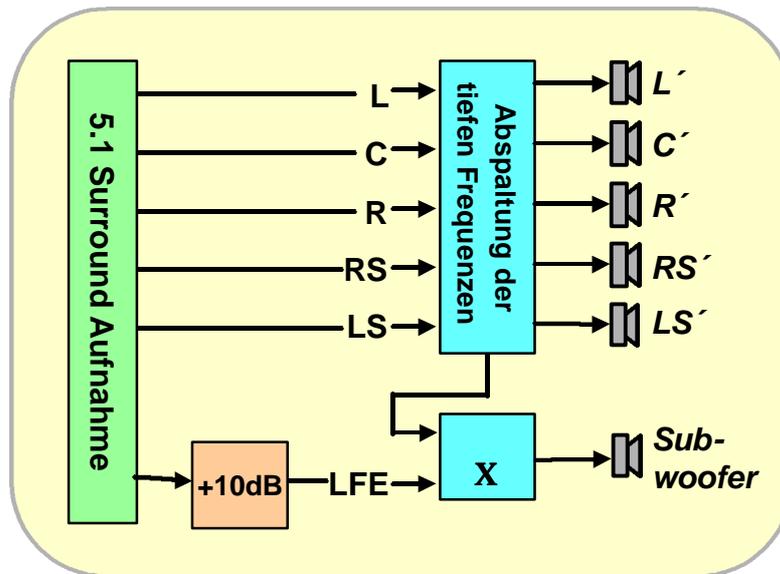


Bild 5 Ableitung eines separaten Subwoofers und Kombination mit LFE-Kanal

Die resultierende Qualität, einschließlich der Betriebs-Schallpegelkurve, ist dabei auch abhängig vom Aufstellungsort der jeweiligen Strahler in bezug auf den Hörplatz bzw. ausgewählten Hörplätzen sowie auch von der Größe der nichtlinearen Verzerrungen der Subwoofer, wodurch Lokalisationsfehler entstehen können.

Über die optimale Aufstellung eines einzelnen oder auch mehrerer Subwoofer in einem Hörraum gibt es offensichtlich gegenwärtig geringe Übereinstimmung der Auffassungen, obgleich Messungen veröffentlicht wurden; siehe dazu weitere Hinweise der EBU in [3], der AES in [2c] sowie auch in [40], [47], [48], [49].

3.3.3. Vergrößerung der Hörzone durch zusätzliche Surround-Strahler

Um beim 3/2-Format eine größere Hörzone bzw. eine bessere Einhüllung mittels der wiederzugebenden Rauminformationen zu erhalten, ist gemäß [1] auch die Zuordnung einer höheren Anzahl von Surround-Lautsprechern zu den beiden Standardkanälen LS/RS möglich. Für größere Wiedergaberäume (z.B. Filmtheater) ist dies ohnehin notwendig und üblich. Hierbei ist für ausreichende Dekorrelation der zusätzlichen Lautsprecherkanäle zu sorgen (z.B. durch entsprechende Verzögerung, siehe in [41]); sie werden daher über spezielle Signalverteiler bzw. Prozessoren angeschlossen. Es ergibt sich ein angenähertes 3/4-Format [41], [50], [51].

4. Einstell- und Einmess-Hinweise

4.1 Laufzeitkorrekturen bei Abweichungen der Position der Lautsprecher von der Referenzanordnung

Wird bei der Aufstellung der Frontallautsprecher von der Kreislinie abgewichen, sind die entsprechenden Laufzeitunterschiede, bezogen auf den Referenz-Hörplatz, in der Anlage auszugleichen. Für die ausschließliche Wiedergabe von Surround-Signalen können für LS und RS auch Positionen außerhalb des gewählten Radius' verwendet werden.

4.1.1. Referenz-Hörräume

Hier wird mitunter die Position des mittleren Lautsprechers von der Kreislinie abweichen, z.B. damit hinter einer hochperforierten Bildwand bei Großprojektion alle Lautsprecher direkt auf einer geraden Linie hinter der Bildwand stehen können.

Hierfür gilt für den Referenzplatz:

Bei 60°-Hörwinkel (Basiswinkel) ist Basisbreite = Referenzradius; somit ist der Hörabstand h (bzw. auch D bezeichnet) = $\sqrt{3/4} \times B = 0.87 B$.

Der auszugleichende Weg bis zum Kreisbogen ist also $0.13 B$.

Daraus folgt die **Laufzeitdifferenz $\Delta t = 0.13 \times B \times 3 \text{ ms} = B/m \times 0.39 \text{ ms}$** .

Ein Pegelausgleich ist im Allgemeinen nicht erforderlich, sofern er unter 1 dB liegt. Gewöhnlich wird bereits bei der Aufnahme darauf geachtet, dass der Mittenlautsprecher C gegenüber R und L in keinem Fall dominieren kann.

4.1.2. Wohn-Hörräume

Bei einer Optimierung im Wohnraum ist zu beachten, dass bei dem Mittel-Lautsprecher als Referenz (wegen der bevorzugt zum Hörer gerichteten Anordnung für Dialogverständlichkeit) ggf. alle 5 Lautsprecher von der hypothetischen Kreislinie abweichen können und somit zusätzlichen und unterschiedlichen Pegel- und Laufzeitausgleich erfordern.

Mittels geeigneter sog. Heim-Prozessoren sollten die Korrekturen automatisch per Messimpuls ermittelt und eingestellt werden.

4.1.3. Größerer Mehrkanal-Vorführräume (TV-Viewing-Sites, Filmtheater)

Für große Demoräume, u.a. TV-Viewing-Sites, gilt die Korrekturbedingung gemäß Abschn. 4.1.1.

Für Filmtheater bzw. Mischateliers ist die Einfügung einer Laufzeitverzögerung bisher offenbar nicht üblich - hier besteht also eine Diskrepanz zu den TV-Viewing Sites und bei der künftig vorgesehenen Wiedergabe von korrekt aufgenommenem TV-Mehrkanal-Tonmaterial im Kino. Sie bedarf weiterer Untersuchung. Im Übrigen gelten für derartige Räume bisher entsprechende SMPTE-Standards. Auch die proprietären THX-Festlegungen (nach Vorgaben von Tomlinson Holman/Lucasfilm) sind in Filmtheatern üblich.

Die Filmtonwiedergabe im Heim ist die Mittenwiedergabe – bei korrekter Einmessung - infolge des dann etwas zeitlich zurückgesetzten Mittensignals weniger problematisch. Da im Film die Dialoge immer in der Mitte erscheinen und bevorzugt sind, ist kein merkbarer Präsenzverlust zu erwarten (s.a. [41]).

4.2 Einstellung des Bezugs-Abhör-Schallpegels

Die Einstellung des Bezugs-Schallpegels gemäß Abschn. 2.2.1. - d.h. 78 dBAS für einen Einzelkanal, somit 85 dBAS für eine 3/2-Anordnung - erfolgt mit der Einstell- und Testaufzeichnung, gemäß „Empfehlung für die Praxis SSF – 02.1 - 2002“ [30], anhand der dort gegebenen Hinweise.

Eine derart eingemessene Anordnung kann auch zur Wiedergabe von 3/1-Aufzeichnungen benutzt werden.

5. Referenzen - Standards

(weiterführende Literatur siehe Anhang 1,2).

Mehrkanal-Tonformate, Anordnungen:

- [1] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS. 775-1: Multichannel Stereophonic Sound System with and without accompanying Picture (Genf, 1992-1994).
- [1a] EBU-Recommendation R96-1999: Signal formats for production and delivery of multichannel audio programs. EBU Official Technical Texts, Geneva, 1999.
- [2] SMPTE Recommended Practice: Loudspeaker Placements for Audio Monitoring in High Definition Electronic Production (SMPTE N 15.04/152-300B) (December 1991).
- [2a] Proposed SMPTE Standard for Television: Channel Assignments and Levels on Multichannel Audio Media. ITU Information document ITU-R. 10C/11 and 10-11R/24; 16 March 1998 (E).
- [2b] EBU Doc. BPN 021-1999: Multichannel Audio: Report on different reproduction and delivery formats available on the market.
- [2c] AES Information Document AESTD1001.0.01-10: Multichannel Surround Sound Systems and Operations, Ausgabe vom März 2002. New York.

Hörbedingungen allgemein, Schallfeld:

- [3] EBU-Empfehlung: Listening conditions for the assessment of sound programme material. EBU Technical Recommendation R 22 – 1999 (Siehe EBU document Tech 3276 - 1998 (second edition): Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic).
EBU Doc. Tech 3276-1999: Supplement 1: Multichannel Sound.

sowie in: [7, 13,]

Hörräume:

- [4] EBU-Empfehlung: Listening conditions for the assessment of sound programme material. EBU Technical Recommendation R 22–1999 (Siehe EBU document Tech 3276-1998 (second edition): Listening conditions for the assessment of sound programme material: monophonic and two-channel stereophonic, sowie 3276-1999, Supplement 1: Multichannel Sound).
- [5] OIRT Recommendation 86/3: Technical Parameters of OIRT Reference Listening Rooms. Doc. TK-31-58. (Prag, 1990).
- [6] Nordic Recommendation N 12A: Sound Control Rooms and Listening Rooms. Technical Recommendation from the Nordic Broadcasting Corporations (1992).
- [7] Deutsche Norm: DIN 15996, Ausgabe April 1996: Elektronische Laufbild- und Tonbearbeitung in Film-, Video- und Rundfunkbetrieben. Anforderungen an den Arbeitsplatz (DIN 15996:1996-04).

sowie in: [3, 13]

Monitor-Lautsprecher:

- [8] OIRT Recommendation 55/2: Technical Parameters for Studio Monitor Loudspeakers. Doc. TK-2-2092. (Prag, 1990).
- [9] Nordic Recommendation N 12B: Studio Monitoring Loudspeakers. Technical Recommendation from the Nordic Broadcasting Corporations (1992).

sowie in: [3, 4, 13]

Monitor-Kopfhörer:

- [10] ITU-R Recommendation BS.708: Determination of the electro-acoustical properties of studio monitor headphones.
- [11] IEC Publication 581: High fidelity audio equipment and systems; minimum performance requirements. Part 10 (1986): Headphones.

sowie in: [3]

Subjektive Bewertungen:

- [12] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.562-3: Subjective Assessment of Sound Quality (Genf, 1978-1990) - ersetzt durch neue Empfehlung BS.1284 vom 12.12.96: siehe [14, 15].
- [13] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.1116-1: Methods for the Subjective Assessment of Small Impairments in Audio Systems Including Multichannel Sound Systems (Genf, Supplement 1 to Volume 1997).
- [14] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS .1283: Subjective Assessment of Sound Quality - A Guide to existing Recommendations (Genf, Supplement 1 to Volume 1997)
- [15] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS. 1284: Methods for the Subjective Assessment of Sound Quality - General Requirements (Genf, Supplement 1 to Volume 1997).
- [16] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS. 1285: Preselection Methods for the Subjective Assessment of small impairments in Audio Systems (Genf, Supplement 1 to Volume 1997).
- [17] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.1286: Methods for the Subjective Assessment of Audio Systems with accompanying Pictures (Genf, Supplement 1 to Volume 1997).
- [18] EBU Empfehlung: EBU Technical Recommendation R 90-1998: The subjective evaluation of the quality of sound programme material. (Siehe hier: EBU document Tech 3286-1997: Assessment Methods for the Subjective Evaluation of the Quality of Sound Programmes - Music. EBU Official Technical Texts (Genf, 1997).
- [19] OIRT Recommendation 63/3: Formation of Listening Groups and their Working Methods. Doc. TK-31-63 (Prag, 1992).
- [20] OIRT Recommendation 91/2: Subjective Assessment of Sound Recordings. Doc. TK-31-64/1 (Prag, 1992).
- [21] ISO/MPEG: Report on the MPEG/Audio Multichannel Formal Subjective Listening Tests. ISO/IEC JTC1/SC2/WG11 N0685 MPEG 94/063 (1994).

Audio-Qualitätsparameter:

- [22] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.644-1: Audio Quality Parameters for the Performance of a High-Quality Sound-Programme Transmission Chain (Genf, 1986-1990).

Testsignale, Meßtechnologie:

- [23] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.468-4: Measurement of Audio-Frequency Noise Voltage Level in Sound Broadcasting (Genf, 1986).
- [24] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.645-2: Test Signals and Metering to be used on International Sound Programme Connections (Genf, 1986-1992).
- [25] EBU-Empfehlung: Alignment Level in digital Audio Production Equipment and in digital Audio Recorders. EBU Technical Recommendation R 68 - 1992.
- [26] EBU document Tech. 3282: Alignment signals for digital coding levels and listening conditions - Handbook for the EBU R-DAT alignment tape.
- [27] ISO Recommendation 1996 (1972): One-third octave band background noise level limits noise rating curves (NR).
- [27a] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BS.1387: Method for objective measurements of perceived audio quality. Genf, 2000.

Aufzeichnungsparameter:

- [28] ITU-Empfehlung: Recommendation ITU-R BR.1384: Parameters for Multi-Channel Sound Recording. (Genf, Mai,1998).
- [29a] EBU-Empfehlung: Exchange of Sound Programmes as digital Tape Recordings. EBU Technical Recommendation R 64 - 1993.
- [29b] EBU-Empfehlung: Technical Recommendation R 91 - 1998: Track allocations and recording levels for the exchange of multichannel audio signals (Geneva, 1998).
- [30] Surround-Sound-Forum: Parameter für Mehrkanal-Tonaufzeichnungen im 3/2-Format (Parameter für Programmaustausch und Archivierung, Einstellung von Wiedergabeanlagen. SSF- 2.1 - 2002 (Ausgabe Juli 2002).

Bild-/Tonbeziehungen:

- [31] EBU Technical Recommendation R 37: The relative timing of the sound and vision components of a television signal.
- [32] SSF-Informationsdokument SSF – 05.1-2002: Mehrkanal-Stereophonie: Relationen von Hör- und Sehanordnungen (in Vorbereitung).

Anhang 1 zum Dok. SSF – 01.1- 2002**Anmerkung 1: Zu den Parametern und Werten in Abschnitt 2 der vorliegenden „Empfehlung für die Praxis 01.1“ des SSF.**

Die Erarbeitung und Festlegung von Hörbedingungen sowie von Wiedergabeanordnungen für die subjektive Bewertung von Tonprogrammen bei Rundfunk und Fernsehen haben eine lange Tradition. Die ersten internationalen Hörgruppen wurden im Rahmen der OIRT ab 1960 aufgestellt und danach Standards für Hörräume und Monitor-Lautsprecher erarbeitet. Diese Methodik wurde bald auch von den Nordischen Rundfunkanstalten übernommen. Die letzten Ergebnisse sind in den Empfehlungen [5, 6, 8, 9, 19, 20] dokumentiert.

Später wurden derartige Arbeiten auch im CCIR - nunmehr ITU-R - [12-17], bei MPEG [21] sowie in der EBU [18] durchgeführt, zumal sich zeigte, dass die Einführung von Codier-Einrichtungen mit Bit-Raten-Reduktion zur Übertragung und Aufzeichnung neben der inzwischen nicht mehr ausreichenden objektiven Messmethodik eingehende subjektive Tests erforderte und weit höhere Anforderungen an die Hörbedingungen als bisher stellte. **Auf der Grundlage derartiger Untersuchungen konnte die Expertengruppe 10/4 der ITU ein kombiniertes Messwerkzeug für die objektive perzeptuelle Bewertung von komprimierten Sprach- und Audiosignalen entwickeln [27a, 2000].**

Daraus ergaben sich eine Fülle neuer Erkenntnisse, die sich in aktuellen Empfehlungen für Hörbedingungen, speziell der Hörräume und der eingesetzten Referenz-Monitor-Lautsprecher niederschlugen [3,13]. Die erfolgreiche Realisierung von neuen Codiertechnologien für die Übertragung macht es nunmehr möglich, die diskrete Mehrkanal-Stereophonie auch bei Rundfunk, Fernsehen und optischen Aufzeichnungen einzuführen und für den Verbraucher handhabbar zu machen.

Es erschien daher zweckmäßig, die wesentlichen der in Dokumenten von internationalen Standardisierungsorganisationen empfohlenen Parameter und Werte für Hörbedingungen in vorliegender Empfehlung des SSF zusammenzufassen. Da es sich zeigte, dass die bisher gängigen Toleranzen für die erforderlichen Referenzbedingungen zu unterschiedlich waren, wurden dazu die neueren Erkenntnisse berücksichtigt, wie sie im entsprechenden Dokument der EBU [3] herausgegeben wurden. Dabei weisen insbesondere die in Bild 1 (Nachhallverlauf) und Bild 2 (Betriebs-Schallpegelkurve) angegebenen Werte kleinere Toleranzen auf als die zuvor herausgegebene Überarbeitung der Empfehlung ITU-R BS.1116-1 [13]. Neuere Realisierungen von Referenz-Hörräumen unterstreichen die Notwendigkeit, hier strengere Bedingungen festzulegen. Dies ist auch aus den grundsätzlichen Bemerkungen in Abschn. 2.1. abzuleiten, wonach man sich der Definition der optimalen Zielgröße „Bezugs-Schallfeld“ nur im Laufe von ständig neu gewonnenen Erfahrungen nähern kann. **Aufgrund von Abstimmungen innerhalb der AES bei der Vorbereitung des gemeinsamen Informationsdokumentes AES TD1001 „Multichannel Surround Sound Systems and Operations“ konnte man sich weiter auf strengere Werte bei den Studio-Monitoren einigen, die nun hier in dieser Überarbeitung vom Juli 2002 aufgenommen wurden, entsprechend [2c].**

Trotz vielfältiger Bemühungen hat sich die Realisierung von idealen Hörräumen und die Verwendung von 'einheitlichen' Regielautsprechern sowohl im Studio als auch im Heim bisher als unrealistisch erwiesen. Letztendlich bietet nur ein ausreichend definiertes Schallfeld die Voraussetzung, um gleichartige Hörereignisse' zu erzeugen. Infolge nicht ausreichender Kenntnisse über das optimale Schallfeld - hinsichtlich subjektiver Kriterien und der Relationen zu objektiven Parametern und Messverfahren - und wegen der komplizierten und nicht restlos geklärten Zusammenhänge zwischen den zu fordernden Schallfeldgrößen und den physikalischen Eigenschaften der Räume und der Studio-Regielautsprecher, kann dieses **Bezugs-Schallfeld** gegenwärtig nicht vollkommen definiert und realisiert werden. Außerdem ist dessen Festlegung lediglich für einen Bezugs-Hörort bzw. wenige Hörplätze und noch nicht für eine größere Hörzone ausgewählter Hörplätze möglich.

Gegenwärtig ist es nur möglich, sich sowohl mittels bekannter Schallfeldgrößen als auch reproduzierbarer Eigenschaften von hochwertigen Lautsprechern und Hörräumen, der genannten Zielgröße **Bezugs-Schallfeld** mit jeder neuen Lösung iterativ zu nähern. Dabei sind insbesondere sorgfältige subjektive Bewertungen nach vorgegebenen Verfahren ([13 -18]) erforderlich; die bisherigen gängigen objektiven Messverfahren bieten nicht in allen Fällen eine Gewähr für ausreichende Qualität bzw. Übereinstimmung.

Bei kopfbezogener Wiedergabe wird der Einfluss des Hörraumes im Allgemeinen verringert bzw. unterdrückt (sofern er nicht elektrisch überlagert wird). Beurteilungsergebnisse von Testaufzeichnungen ein-

mal über Lautsprecher, zum anderen über Kopfhörer abgehört, können daher voneinander abweichen. Hier sind insbesondere bei Mehrkanalwiedergabe spezielle Randbedingungen zu beachten (hierzu ist die Erarbeitung einer gesonderten ‚Empfehlung für die Praxis‘ SSF 03/..vorgesehen).

Schließlich ist noch anzumerken, dass die hier aus DIN 15996 [7] übernommenen Grenzkurven gegenüber den nach ISO [27] zitierten Noise-Rating-Kurven als realistischer anzusehen sind; leider sind sie international nicht genügend bekannt geworden, daher werden sie im AES-Dokument (s.o. [2c]) nicht zitiert.

Ggf. muss bei steigenden Forderungen für Referenzbedingungen bei formellen subjektiven Tests die Kurve GK 10 weiter unterschritten werden. Dagegen wurden die strengen Grenzabweichungen $\leq \pm 10\%$ nach DIN [7] als nicht gesichert nicht übernommen.

Insgesamt soll die vorliegende Empfehlung auch einen Beitrag für weitere Diskussionen mit anderen Organisationen darstellen, auch weiterhin mit der AES. Dort sind einige herausgegebene Standards offensichtlich durch starken Einfluss der Industrie geprägt (z.B. bei der AES-Empfehlung-17, in der die Geräuschspannungsmessung in bewusstem Gegensatz zu ITU-R BS.468 bewertet und festgelegt wurde (siehe dazu Anmerkungen in Anh. 3).

2. Weiterführende Literatur:

Zu Abschnitt 3.3:

- [40] ZACHAROV, Nick; BECH, Søren; MEARES; David: The Use of Subwoofers in the Context of Surround Sound Programme Reproduction; Vortrag zur 102. AES-Convention, München, 1997, März 22-25. Preprint Nr. 4411.
- [41] STEINKE, G.: Vom Referenz-Hörraum zur Tonsystemlösung für das Filmtheater der Zukunft. In: FERNSEH- UND KINO-TECHNIK, Berlin, 48 (1994), 11, 583 - 592; 12, 667 - 678.
- [42] KÖNIG, Florian M.: Beschreibung von Klangfarbenveränderungen beim 3-D-räumlich varianten Hören mittels bestimmter Kopfhörer-Beschallungsverfahren. Vortrag zur DAGA, 1997 (siehe dort weitere Literaturhinweise).
- [43] THEILE, G.: Zur Theorie der optimalen Wiedergabe stereofoner Signale über Lautsprecher und Kopfhörer. In: RTM, 25 (1981), September, 32 - 47 (Sonderausgabe).
- [44] W. HOEG, L. ; CHRISTENSEN, R. WALKER: Subjective assessment of audio quality: Means and methods in the EBU. EBU Technical Review, No. 274 – winter 1997, 40 – 48 (Genf, 1998).
- [45] PEQS] EBU document Tech. 3287-1998: Parameters for the Subjective Evaluation of the Quality of Sound Programme Material – Music (PEQS): Compact Disc mit Begleitmaterial (Genf, 1998).
- [46] SCHUBERT, P.: Untersuchungen über die Wahrnehmbarkeit von Einzelrückwürfen bei Musik. Techn. Mitt. RFZ 10 (1966), 3, 124 – 127.
- [47] T. Nousaine, Multiple subwoofers for home theatre. Vortrag zur 103. Convention der Audio Engineering Society, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), 46 (1998), 4, 276 – 287.
- [48] KÜGLER, C., THEILE, G.: Loudspeaker reproduction: study on the Subwoofer concept. Vortrag zur 92. Convention der Audio Engineering Society, J. Aud. Soc. (Abstracts), 40 (1992), 5, 437 Preprint 3335.
- [49] GRIESINGER, D.: Spatial impression and envelopment in small rooms. Vortrag zur 103. Convention der Audio Engineering Society, J. Audio Eng. Soc. (Abstracts), 45 (1997), 11, 1013 – 1014, Preprint 4638.
- [50] FELS; P., STEINKE, G., WÜSTENHAGEN; U.: Method and Apparatus for Multichannel Sound Reproduction. Vortrag zur 100. AES-Convention, Copenhagen, May 1996. Preprint No: 4272.
- [51] STEINKE, G.: Quality Monitoring of Multichannel Signals for Surround Sound - An Overview. Vortrag zur IBC'99, Amsterdam, September 1999 (www.ibs.org.uk/November'99)

(siehe dazu auch die Literaturzusammenstellungen „Mehrkanal-Stereophonie“ des Surround-Sound-Forum's)

Anhang 2 zum Dok. SSF – 01.1- 2002

Zur Unterscheidung von Wiedergabeformaten und Codierformaten

Gegenwärtig sind bei der Mehrkanal-Tontechnik eine Vielzahl von Codierformaten und -methoden auf dem Markt und in Gebrauch, insbesondere für Filmtheater, die größtenteils nicht standardisiert sind, jedoch als proprietäre Formate eingeführt wurden. Dabei wird der Eindruck erweckt, als ob es sich um Systemlösungen für Aufnahme- und Wiedergabeformate handeln würde, wie sie im Abschnitt 3 der vorliegenden Empfehlung - auf der Basis des internationalen Standards gemäß ITU-R BS.775-1 - dargestellt wurden. Das ist jedoch nicht richtig.

Für kurze Verbindungen, z.B. zwischen Aufnahme- und Regieräumen, hat man stets diskrete, transparente Direktwege, ohne jegliche Zwischencodierungen, zur Verfügung. Daher läßt sich das wiederzugebende Format klar definieren, gemäß Abschn. 3. Dagegen benötigt man zur digitalen Übertragung und Aufzeichnung von Mehrkanaltonsignalen für den Konsumenten datenreduzierende Codierverfahren, insbesondere bei begrenzten Übertragungs- und Datenkapazitäten. Das gilt für alle Medien wie Hörfunk, Fernsehen, Film, Aufzeichnung.

Man unterscheidet daher gemäß [2b]

- **Mehrkanal-Wiedergabe-Formate**
als Ergebnis spezieller Schall-Aufnahme- und Wiedergabetechnologien, wie es das hier behandelte Referenzformat 3/2 bzw. 3/2/1 - gemäß Abschn. 3 - darstellt (aber auch 2/2, 3/1, 5/2 usw.),
und
- **Codier- und Übertragungs-Formate**
zur Aufzeichnung, Übertragung und Verbindung von Mehrkanalsignalen bei unterschiedliche Medien.

Hier sollte stets zusätzlich die Übertragungs-Kanalzahl zum Format betrachtet werden. Man versteht z.B. unter ‚4-2-4‘ ein vorzugsweise analoges Matrixierungsformat, bei dem 4 Signale (L, C, R, S) in der konventionellen Zweikanal-Stereoübertragung übertragen bzw. aufgezeichnet und später im 3/1-Format wiedergegeben werden.

Die Codier-Formate werden häufig fälschlicherweise und aus Werbegründen auch als „Surround-Sound-Systeme“ bezeichnet. Dies ist jedoch nicht korrekt, da sie im eigentlichen Sinne nur **Hilfseinrichtungen** darstellen, Servomechanismen zur Übermittlung von Mehrkanal-Tonprogrammen und im allgemeinen unabhängig von der Schallaufnahme- und -wiedergabemethode sein sollten. Für den Hörer im Heim ist es ohnehin bedeutungslos, auf welchem Weg und mit welcher Methode die Mehrkanal-Signalbündel zu seinem Endgerät gelangen; ihn interessiert nur deren Qualität.

Die anfänglichen Matrixierungs-Verfahren zur zusätzlichen Übertragung von Surround-Informationen auf Zweikanal-Verbindungen (auf der Basis der Matrixerfindungen von L. Keibs, P. Scheiber, Cooper u.a. in den 60er Jahren) konnten überhaupt erst eine praktikable Einführung der Mehrkanaltechnik bei Film, Aufzeichnung, Fernsehen usw. ermöglichen, nachdem sie die Fa. Dolby auf den Markt brachte. Daher werden diese Codiermethoden und -formate häufig mit den mehrkanaligen Aufnahme- und Wiedergabeverfahren verwechselt. Diese existierten aber bereits früher und selbstständig (z.B. 3/1-Cinemascope 1953; 4/2-Todd-A-O 1955; 2/2- bzw. 3/2 Stereo-Ambiofonie 1960 usw.) und sind längst weiterentwickelt worden.

Bei der analogen Matrixtechnik, dem einfachsten Codierverfahren, besteht der große Nachteil einer Beeinträchtigung der Signalqualität. Die Produktion muß daher ständig durch vergleichsweises Abhören über derartige Codecs überwacht werden. **Für viele Anwendungen in der Filmproduktion sind diese Techniken ausreichend und sogar sehr erfolgreich.** Für Musik sind sie dagegen nicht zufriedenstellend. Sie wurden inzwischen weiterentwickelt, werden aber zunehmend durch diskrete (digitale) Codiertechniken abgelöst.

Gegenwärtig angewandte Codierformate:**Analoge Matrixformate für 3/1-Wiedergabe (nicht-standardisiert)****4-2-4:**

- *Dolby Stereo* (Motion Picture Matrix Coding) = Film-Matrix
- *Dolby Surround/ Dolby ProLogic Surround* = Consumer-Version
- *Virtual Dolby Surround* = Multimedia Application
- *MUSE* ,inzwischen auch digital, = TV in Japan.

Matrixformate für 3/1- und 3/2-Wiedergabe (nicht-standardisiert)**4-2-4 / 4-2-5, 5-2-5:**

- *Circle Surround* = Consumer und Film-Matrix
- *Lexicon Surround* = Consumer

Digitale (verlustbehaftete) Codierformate für Wiedergabe von**3/2; 3/2/1 = 5.1 bis 5/2/1 = 7.1; sowie 5-5-5 bis 8-8-8:**

- *MPEG-2-Audio* (rückwärtskompatibel zu MPEG-1 für Zweikanal-Wiedergabe)
 - = für Rundfunk, Fernsehen, Aufzeichnung (DVD)
 - = internationaler ISO-Standard.
- *MPEG-2-AAC* (Advanced Audio Coding), nicht rückwärtskompatibel.
 - = Bisher optimale Lösung für bitratenreduzierte Codierung. Internationaler ISO-Standard.
- *Dolby Digital* (Synonym: AC-3 = Audio Coding No. 3)
 - = für Film und Consumerzwecke (US-Fernsehen, Aufzeichnung, DVD). US-Standard. In Japan auch in 3/1-MUSE.
- *Virtual Dolby Digital*
 - = Multimediaanwendungen. Nicht standardisiert.
- *DTS* (Digital Theater System)
 - = für Film und Aufzeichnung, nicht standardisiert.
- *SDDS* (Sony Dynamic Digital System)
 - = für Filmanwendung und DVD, nicht standardisiert.

Digitale (verlustfreie) Codierformate für Wiedergabe bis 7.1

- **PCM** = für alle Aufzeichnungsarten
- *DSD* (Direct Stream Digital) = für Aufzeichnung (Archivierung, Super-Audio-CD).

Anhang 3 zum Dok. SSF- 01.1- 2002**Subjektive Grenzwerte der Wiedergabequalität von Tonsignalen**

Die folgende Tabelle wurde weitgehend der ITU-Empfehlung R BS.644-1[22] (Tabelle II) entnommen. Sie war von 1986 bis 1990 erarbeitet worden und berücksichtigt noch nicht den inzwischen erreichten Stand der Qualität der Digitaltechnik und der Bitratenreduktion. Die inzwischen neu hinzugekommenen Qualitätsparameter bzw. strengere Werte wurden somit nicht erfaßt. Ein objektives Meßgerät zur Ermittlung des erforderlichen Geräuschabstandes bei perzeptioneller Codierung existiert inzwischen; ein Standard für den Algorithmus wurde bereits 1998 bei ITU-R verabschiedet.

Die Tabelle ist dennoch im Rahmen der Standardisierungsarbeiten und bei der Erarbeitung von „Empfehlungen für die Praxis“ immer noch ein wichtiger Anhaltspunkt für die Größen, die der anspruchvollste Hörer am Ende der Kette empfinden und bewerten kann. Hieraus können Zielbedingungen für die gesamte Übertragungskette abgeleitet werden (siehe dazu Rec. 644-1, [22] Tabelle I) sowie für die Hörbedingungen und Wiedergabeanordnungen sowohl im Studio als auch im Heim. Referenzbedingungen sollten stets besser als die subjektiven Grenzwerte sein, müssen jedoch nicht sehr weit darüber (bzw. darunter liegen), andernfalls wird der Aufwand ungerechtfertigt hoch.

Heimbedingungen sollten in der gleichen Größenordnung liegen bzw. können auch wahrnehmbare Abweichungen zulassen.

Die Tabelle stellt zunächst eine wichtige Information dar, wie weit noch Anstrengungen der Industrie notwendig sind bzw. wo eine Diskussion über die Berechtigung weiterer Forderungen angebracht ist. Fehlende Parameterwerte sollten zu gegebener Zeit erfasst und in geeigneter Weise aufgenommen werden.

Die digitale Technik kann meist problemlos die subjektiv begründeten Werte übertreffen, aber dabei andere subjektiv wahrnehmbare Beeinträchtigungen zur Folge haben.

Einige Angaben der Tabelle sind gegenwärtig fraglich geworden. Hierzu sind zum Teil einige Hinweise - aus Sicht der Bearbeiter - in den Anmerkungen gegeben worden, wie sie im Originaldokument nicht enthalten sind.

Der Geräuschpegel von Anlagen wird seit langem international einheitlich nach der Empfehlung ITU-R BS.468-4 [23] gemessen. Bedauerlicherweise versuchen Industriekreise, insbesondere in den USA, diesen Standard seit langem zu unterlaufen. Um „schöne“ Zahlen zu erhalten, wird z.B. in der „AES-Empfehlung für die Praxis Nr. 17“ lediglich der Kurvenverlauf der CCIR-Bewertungskurve übernommen, der Nullpunkt aber um ca. 5,6 dB verschoben, auf die Quasispitzenwertanzeige wird verzichtet und RMS-Messung empfohlen. Diese Abweichung gegenüber der ITU-Empfehlung beruht auf einem Vorschlag der Fa. Dolby von 1978, der seinerzeit von der ITU (damals CCIR) einstimmig **nicht** angenommen worden war. Damit unterscheiden sich Werte nach der abweichenden Verfahrensweise um 10 dB und mehr von den Geräuschpegelwerten „dBdpq“/468 und sind nicht mehr vergleichbar. Unzulässigerweise wird aber diese US-Messung als „nach CCIR-468“ deklariert, was häufig zu Verwechslungen führt (z.B. bei Audio Precision-Meßgeräten usw.).

Für die Festlegung von Grenzen für die Anfangsreflexionen (Kurzzeitreflexionen) in Hörräumen lieferten die Untersuchungen im RFZ von P. Schubert erstmals die Grundlagen [46].

Tabelle 1 - Subjektive Grenzwerte (nach [22])
- für die Wiedergabe am Ende der Kette! -

Parameter	Frequenz des Testsignals	Subjektiver Grenzwert
Amplitudenfrequenzgang ¹⁰ (relativ zum Pegel bei 1 kHz)	40 Hz - 125 Hz 125 Hz - 10 kHz 10 kHz - 14 kHz 14 kHz - 15 kHz	± 1,0 dB ± 0,5 dB ± 1,0 dB ± 2,0 dB
Änderung der Gruppenlaufzeit	40 bis 15 kHz	noch festzulegen
Nichtlineare Verzerrungen (bei maximalem Programmpegel) ¹¹	40 Hz - 15 kHz	- 52 dB
Fehler bei der wiederhergestellten Frequenz (nach Übertragungen)	jede	0,25 Hz
Fehler beim Amplituden-/Amplituden-Frequenzgang	1 kHz	noch festzulegen
Pegelstabilität (über eine Periode von 24 Std.)		1 dB ¹²
Geräuschpegel und Einzeltonstörung: - Leerkanalbedingung - Testsignalpegel: + 9 dBu0s - Testsignalpegel: -31 dBu0s Einzeltonstörung	- 60 Hz 60 Hz -	70 dB noch festzulegen noch festzulegen 80 dB
Pegeldifferenz zwischen den Kanälen A und B (bei Stereowiedergabe) ¹³	40 Hz - 125 Hz 125 Hz - 10 kHz 10 kHz - 14 kHz 14 kHz - 15 kHz	2,0 dB 0,5 dB 1,5 dB 2,0 dB
Phasendifferenz zwischen den Kanälen ¹¹⁾	40 Hz 40 Hz - 125 Hz 125 Hz - 10 kHz 10 kHz - 15 kHz 15 kHz	45° (zu interpolieren) 30° (zu interpolieren) 90°
Übersprechen zwischen den Kanälen A und B ¹¹⁾ - lineares Übersprechen - nichtlineares Übersprechen	40 Hz 40 Hz - 300 Hz 300 Hz - 4 kHz 4 kHz - 15 kHz 15 kHz Programm-Simulationssignal	15 dB (zu interpolieren) 20 dB (zu interpolieren) 15 dB noch festzulegen

¹⁰ Die Berechtigung nach höheren Abtastraten müßte sich hier ggf. widerspiegeln; auch sollte die untere Grenzfrequenz auf **20** Hz herabgesetzt werden.

¹¹ Hier ist noch der konventionelle Klirrfaktor (THD) angegeben; es ist jedoch sinnvoller, künftig den Differenztonfaktor zu erfassen.

¹² Eine Änderung von 1 dB ist nur bei plötzlicher Änderung wahrnehmbar.

¹³ Ist sinngemäß auf die Mehrkanal-Stereo-Bedingungen zu erweitern.

Anhang 4 zum Dok. SSF- 01.1 - 2002**Zusammenstellung einiger verwendeter
Begriffe und Definitionen zu Abschnitt 2.**

(s. a. Terminologie-Sammlung des Surround-Sound-Forums)

Hörbedingungen

Mit diesem Begriff werden die komplexen Eigenschaften eines Schallfeldes definiert, das auf einen Hörer in einem Hörraum am Bezugsort bei der - raumbezogenen - Schallwiedergabe über Lautsprecher einwirkt. Die Gesamtheit der Hörbedingungen und die dabei erreichbare Qualität werden gebildet durch

- die geometrischen und akustischen Eigenschaften des Hörraumes,
 - die Eigenschaften und Anordnung der Lautsprecher im Hörraum,
 - den Hörort bzw. die Hörzone für ausgewählte Hörplätze,
- womit die resultierenden Schallfeld-Eigenschaften am Bezugsort erzeugt werden.

Referenz-Monitor-Lautsprecher

Ein Monitor-Lautsprecher ist eine hochqualitative Schallwiedergabe-Einrichtung, die zur technischen und künstlerischen Qualitätskontrolle und zur subjektiven Bewertung von Tonprogramm-Signalen verwendet wird. Sie besteht aus elektroakustischen Wandlern, Gehäuse mit Schallführungen, elektronischen Entzerrern, Leistungsverstärkern und Crossover-Netzwerken.

Sie kann ggf. auch separate Tiefstfrequenz-Lautsprecher (Bass-Lautsprecher) enthalten. Um als Referenz-Monitor geeignet zu sein, müssen mindestens die Bedingungen gemäß Abschn. 2.2.2. und Tabelle 2 erfüllt werden.

Die elektro-akustischen Eigenschaften werden unter Freifeldbedingungen gemessen. Weitere Meßbedingungen siehe auch in [3].

Schall-Bündelungsmaß C (directivity index D)

Das Schall-Bündelungsmaß ist definiert als das in dB ausgedrückte Verhältnis der akustischen Leistung eines Lautsprechers, die in Richtung der Hauptachse abgegeben wird, zu der Leistung, die in dieser Richtung abgegeben wird, wenn die Schallquelle kugelförmig abstrahlen würde.

Das Bündelungsmaß wird mit Terzbandrauschen bei den Standardfrequenzen gemäß IEC-Publikation 268-5is zu 12 kHz gemessen. Es sollte oberhalb von 500 Hz so konstant wie möglich sein.

Ein-/Ausschwingverhalten

Die Güte des Ein-/Ausschwingverhaltens von Monitor-Lautsprechern wird mittels der Abklingzeit eines sinusförmigen Tonbursts gemessen, kontrolliert mit einem Oszillografen, und bis zu einem Pegel von 0.37 des Ausgangspegels (jedoch nur auf der Hauptachse).

Maximaler Schallpegel des Monitor-Lautsprechers

Der maximale Betriebs-Schallpegel muß über eine Zeitperiode von wenigstens 10 min gemessen werden können, ohne daß thermische oder mechanische Schäden eintreten und ohne daß Übersteuerungs-Schutzschaltungen aktiviert werden. Gemessen wird mit einem Programm-Simulationssignal, gemäß IEC-Publikation 268-1, und einem Schallpegelmessers, linear, RMS (slow).

Zur Messung des Lautsprecher-Eigengeräuschpegels

Der akustische Eigengeräuschpegel L_{noise} , der von einem einzelnen Monitor-Lautsprecher und seinem Leistungsverstärker erzeugt wird, wird in Richtung der Hauptachse in einem Abstand von 1m vom akustischen Zentrum als Effektivwert (RMS, slow) gemessen (Leerlauf, Eingang kurzgeschlossen).

Akustisches Zentrum

Das Akustische Zentrum eines Monitor-Lautsprechers ist der Referenzpunkt für Meßzwecke und entspricht im Allgemeinen dem geometrischen Mittelpunkt der Oberfläche, die die höchsten Frequenzen des Lautsprechers abstrahlt. Er ist vom Hersteller anzugeben.

Betriebs-Schallpegelkurve im Hörraum (Operational room response curve)

Die Betriebs-Schallpegelkurve ist definiert als die Terz-Frequenzgangkurve des Schalldruckpegels, der von jedem Monitor-Lautsprecher im Hörraum am Referenz-Hörort erzeugt wird, bei Verwendung von Rosaräuschen im Frequenzbereich von 40 Hz bis 16 kHz. Die gemessene Betriebs-Schallpegelkurve sollte innerhalb der Toleranzgrenzen gemäß Bild 2, liegen. Zwischen mehreren Monitor-Lautsprechern sollten die Abweichungen der Betriebs-Schallpegelkurven nicht mehr als 2 dB im gesamten Frequenzbereich betragen.

Aufgrund der Verwendung der gleichen Bezeichnung '**Betriebsschallpegel**' in der Lärmbekämpfung kann es für die unterschiedliche zu definierende Pegel Verwechslungen geben:

Bei der Lärmbekämpfung versteht man unter 'Betriebspegel' meist den A-bewerteten Schallpegel bei einer bestimmten Häufigkeitsverteilung der auftretenden Maximalpegel; bei Regieräumen z.B., um die notwendige Schalldämmung zu Nebenräumen zu berechnen. Zur einfachen Beschreibung der bei der Produktion auftretenden unterschiedlichen Betriebspegel wird dazu ein zeitlicher prozentualer Mittelwert gebildet. Dieser wird gemäß DIN 15996 bezeichnet als

Perzentilpegel

(gemäß Heckl, M., Müller, H.A.; Taschenbuch der Technischen Akustik, 1994, Springer-Verlag, 1994):

Danach ist der **Perzentilpegel** L_n der Pegelwert eines Schallsignals $L_{AF}(t)$, der in $n\%$ des betrachteten Zeitintervalls (Meßzeit, Mittelungszeit) überschritten wird. Gebräuchliche Werte sind L_1 zur Charakterisierung kurzzeitig auftretender hoher Pegel (sowie L_{95} als Pegel des Hintergrundgeräusches).

Gemeint ist hier also ein prozentualer Spitzenpegel!.