

PFLICHTENBLATT 5.1

Akustische Spezifikationen für Studiobauten des ORF

Stand: 04.07.2013

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort:.....	2
2. Höchstzulässige Schalldruckpegel von Dauergeräuschen in Studios und technischen Betriebsräumen des ORF.....	2
3. Nachhallzeiten in Rundfunkstudios und Regieräumen des ORF.....	8
4. Kriterien zur Dimensionierung von Mehrkanal – Regieräumen (5.1).....	11
5. Quellenverzeichnis.....	27

TBSt/Zagler
TA 1/Tomek, Fraundorfer, Lessnig,

1. Vorwort:

Das vorliegende Pflichtenblatt ersetzt die ORF Pflichtenblätter 5.1 und 5.3

2. Höchstzulässige Schalldruckpegel von Dauergeräuschen in Studios und technischen Betriebsräumen des ORF.

2.1. Allgemeines

Grundsätzlich muss zwischen dem in einem Raum vorhandenen Dauergeräuschpegel und dem durch die Produktion verursachten Betriebsschallpegel unterschieden werden.

2.2. Definition Dauergeräusch

Unter Dauergeräusch sind alle Geräusche welche bei in Betrieb befindlichen haus –und studioteknischen Anlagen auftreten. Ein typisches Dauergeräusch ist das durch die Klimaanlage erzeugte Grundrauschen in einem Raum. Dazu kommen noch Geräusche welche durch die Gerätetechnik selbst verursacht werden (Gerätelüfter, Schrankklima- anlagen etc.)

2.3. Höchstzulässiger Dauergeräuschpegel

In Abhängigkeit von der Raumnutzung wird vom Nutzer ein höchstzulässiger Dauergeräuschpegel festgelegt. Dieser Geräuschpegel wird für die Terzmittenfrequenzen von 50Hz bis 10kHz als Terz-Schalldruckpegel L_{pFeq} $T=30s$ (DIN 45641) in Form einer Tabelle oder einer Grenzkurve angegeben. Die Angabe von Einzelwerten wird als nicht ausreichend betrachtet.

Die Grenzkurven sind je nach Raumnutzung stark unterschiedlich. Überschreitungen der höchsten einer Raumgruppe zugeordneten Grenzkurve sind nicht zulässig.

Die Grenzkurven wurden den bekannten Noise Rating Kurven (NR) abgeleitet. Das Dauergeräusch darf keine wahrnehmbaren tonalen oder periodischen Komponenten enthalten. Dies gilt im Besonderen für den Frequenzbereich 20Hz-20kHz.

2.4. Kriterien zur Festlegung des höchstzulässigen Dauergeräuschpegels

Im Regelfall ist die Wiedergabelautstärke einer leisen Quelle (Sprache) bei der Wiedergabe höher als bei der Aufnahme. Im Aufnahmeraum nicht wahrnehmbare Störgeräusche werden dadurch hörbar. Wenn der Wiedergabepegel geringer ist als bei der Aufnahme, wird auch der Pegel des vorhandenen Dauergeräuschs gesenkt.

In Aufnahmeräumen, in denen Quellen verschiedener Lautstärke aufgenommen werden, richtet sich der höchstzulässige Dauergeräuschpegel nach der Lautstärke der leisesten Quelle.

Bei der Festlegung für Wiedergabe und Bearbeitungsräume ist zu berücksichtigen, dass ein hoher Grundgeräuschpegel auch zu hohen Abhörlautstärken führt, in dessen Folge eine gesundheitliche Beeinträchtigung eventuell nicht ausgeschlossen werden kann.

2.5 .Grenzkurven

Es wird von den gängigen Noise-Rating Kurven (NR) ausgegangen.

Die NR Kurven 0 bis 20 wurden bei hohen Frequenzen nach unten begrenzt.

- GK 0 entspricht einschließlich 500 Hz NR 0, oberhalb 500Hz ist der Wert konstant 0,0dB
- GK 5 entspricht einschließlich 630 Hz NR 5; oberhalb 630Hz ist der Wert konstant 3,5dB
- GK 10 entspricht einschließlich 630Hz NR 10, oberhalb ist der Wert konstant 7,5dB
- GK 15 entspricht einschließlich 1kHz NR 15; oberhalb ist der Wert konstant 10dB
- GK 20 entspricht einschließlich 4kHz NR 20; oberhalb ist der Wert konstant 10 dB
- GK 25 entspricht NR 25

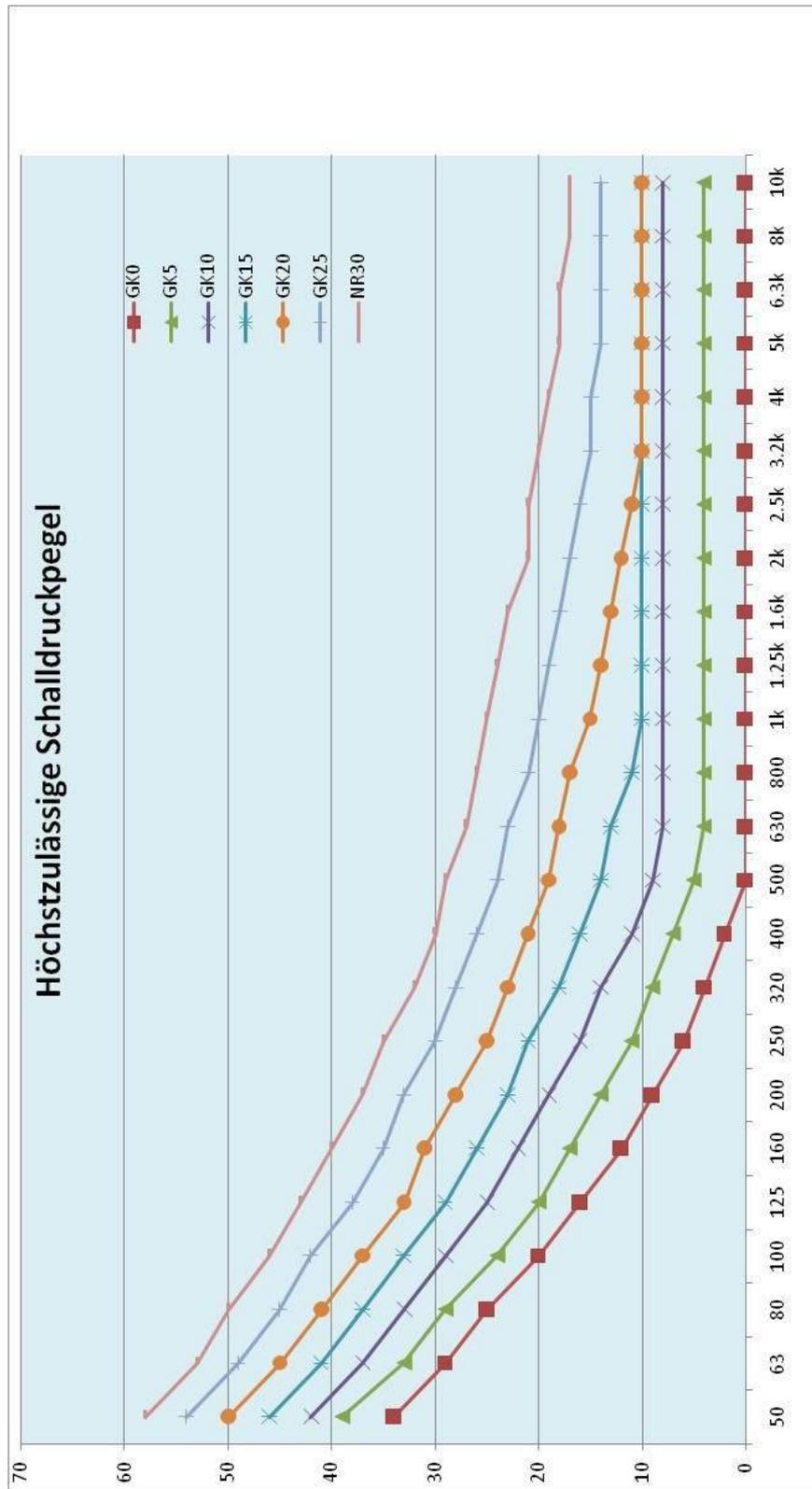
Tabelle 1

Höchstzulässige Schalldruckpegel in tabellarischer Form												
Frequenz	Hörschwelle	GK0	GK5	GK10	GK15	GK20	GK25	NR30	NR35	NR40	NR45	
Hz	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	
50	44	34	39	42	46	50	54	58	63	67	72	
63	38	29	33	37	41	45	49	53	58	62	66	
80	32	25	29	33	37	41	45	50	54	58	63	
100	27	20	24	29	33	37	42	46	51	54	59	
125	22	16	20	25	29	33	38	43	47	52	56	
160	18	12	17	22	26	31	35	40	45	49	53	
200	15	9	14	19	23	28	33	37	42	47	51	
250	11	6	11	16	21	25	30	35	40	44	49	
320	9	4	9	14	18	23	28	32	38	42	47	
400	6	2	7	11	16	21	26	30	35	40	45	
500	4	0	5	9	14	19	24	29	34	39	44	
630	2	0	4	8	13	18	23	27	32	37	42	
800	1	0	4	8	11	17	21	26	31	36	41	
1k	1	0	4	8	10	15	20	25	30	35	40	
1.25k	0	0	4	8	10	14	19	24	29	34	39	
1.6k	-1	0	4	8	10	13	18	23	28	33	38	
2k	-2	0	4	8	10	12	17	21	27	32	37	
2.5k	-3	0	4	8	10	11	16	21	26	32	37	
3.2k	-5	0	4	8	10	10	15	20	25	31	36	
4k	-5	0	4	8	10	10	15	19	24	30	35	
5k	-4	0	4	8	10	10	14	18	24	30	34	
6.3k	1	0	4	8	10	10	14	18	23	29	34	
8k	6	0	4	8	10	10	14	17	23	28	33	
10k	10	0	4	8	10	10	14	17	22	27	32	
db(A)		14	18	22	26	30	34	39	44	48	53	

ACHTUNG:

Im Gegensatz zu der in der Klimatechnik üblichen Darstellung als Oktavpegel sind obige Grenzkurvenwerte in Terzpegel angegeben (siehe Punkt 2.3). Da die Bandbreite von drei Terzen jene einer Oktave ergeben, sind Oktav- und Terzpegel nicht gleich!

Diagramm 1



2.6 Richtlinien für die anzuwendenden Grenzkurven in Abhängigkeit von der Raumfunktion

Die Auswahl der Grenzkurve darf nicht ohne Berücksichtigung der geplanten Nutzung der Räume erfolgen. Es ist klar, dass z.B. die Anforderungen an ein Hörspielstudio andere sind als bei einem Pop-Musik Studio

Produktionsstudios Hörfunk

Hörspiel , E-Musik Kammermusik	GK0
E-Musik sinfonisch	GK5
U-Musik	GK10 -GK15

Räume für Sprachaufnahmen

Nachrichten -Sprecher	GK5-GK10
Talkrunde	GK5-GK10
Mehrzweck, Synchronstudio FS	GK5 -GK10
Redaktion	GK20-GK25

Räume zur Tonbeurteilung

Tonregie HFK, FS	GK5-GK15
Abhörraum	GK5-GK15
Audio Edits, Tonnachbearbeitung FS	GK5-GK15
Audio Edits Redaktion	GK15-GK25

Produktionsstudios des Fernsehens

Schnittplätze	GK10-GK20
Fernsehstudio	GK10-GK20
Bildregie	GK10-GK20
Bild - Tonregie gemeinsam	GK10-GK20
Vorführräume	GK10-GK20

Technische Räume

Schaltraum	NR30-NR35
MAZ Raum	NR30-NR35

2.7. Störgeräusche bei Beschallung

In Produktionsstudios und allen Räumen, wo abgehört werden muss, dürfen bei Beschallung die einzelnen Bauteile wie Deckenabhängungen, Beleuchtungselemente, Verkleidungen u.v.a.m., sowie im Raum befindliche technische Geräte nicht zu Störgeräuschen, wie Scheppern, Klirren oder Mitklingen angeregt werden. Insbesondere bei Blechteilen ist darauf zu achten. Es sind geeignete Maßnahmen (Anti - Dröhnbelag, Schaumstoffstreifen etc.) vorzusehen.

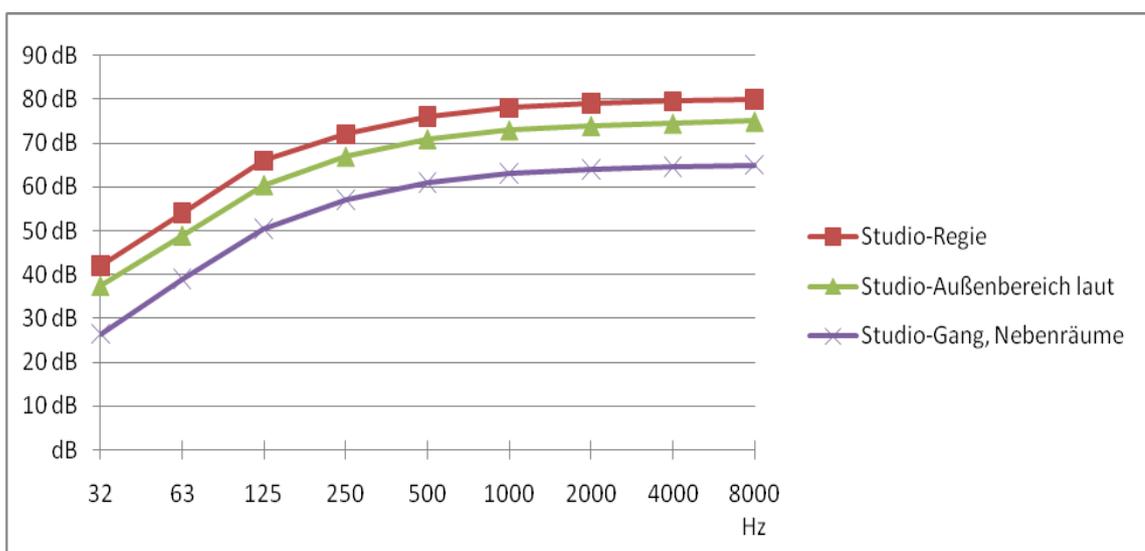
Nach Abschalten einer Schallquelle darf kein störendes, das heißt, den natürlichen Nachhall des Raumes überdeckendes oder verfälschendes Nachklingen von Gerätebauteilen, insbesondere Metallteilen, auftreten. Geeignete Beläge zur Dämpfung sind vorzusehen. Die maximal zulässigen Abhörlautstärken bzw. Produktionslautstärken betragen für die Raumkategorien 1.1 bis 1.6 110 dB (C), für 1.7 und 1.8 100 dB (C).

2.8. Luftschalldämpfung zwischen den Räumen

Die erforderliche Schallpegeldifferenz zwischen zwei Räumen ergibt sich aus der Differenz des maximal auftretenden Schallpegels S (in Oktaven) und des um 10 dB erhöhten zugelassenen Geräuschpegels für Dauergeräusche. Der maximal auftretende Schallpegel S in Oktaven ergibt sich durch Verminderung des dB(C) Wertes um 10 dB.

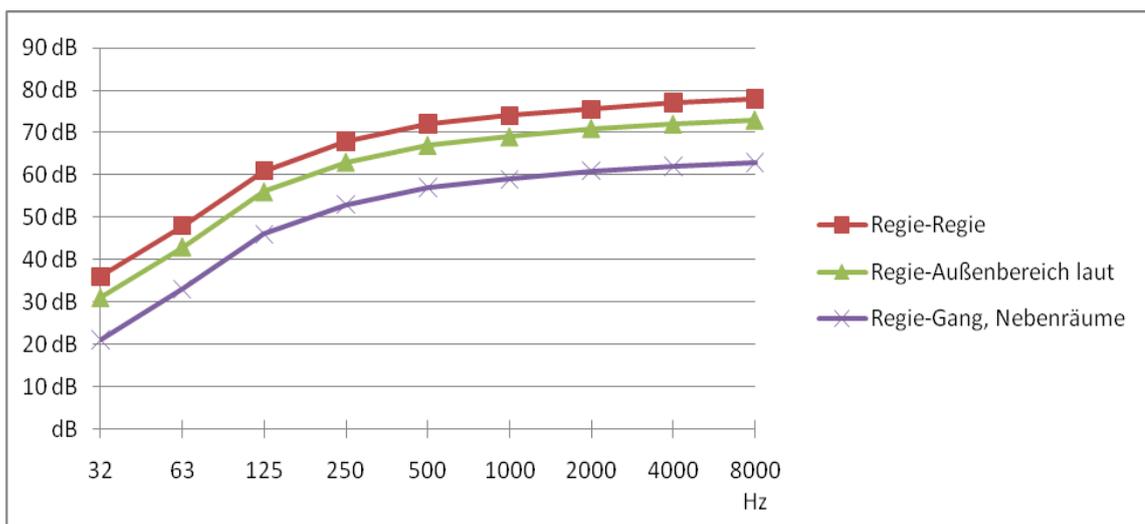
Für Hörfunkstudios und Hörfunkregieräume werden diese Schallpegeldifferenzen in Kurvenform in Diagramm 2 und Diagramm 3 angegeben. Die Einhaltung dieser Kurven ist besonders im tiefen Frequenzbereich ab 40Hz wichtig.

Diagramm 2:



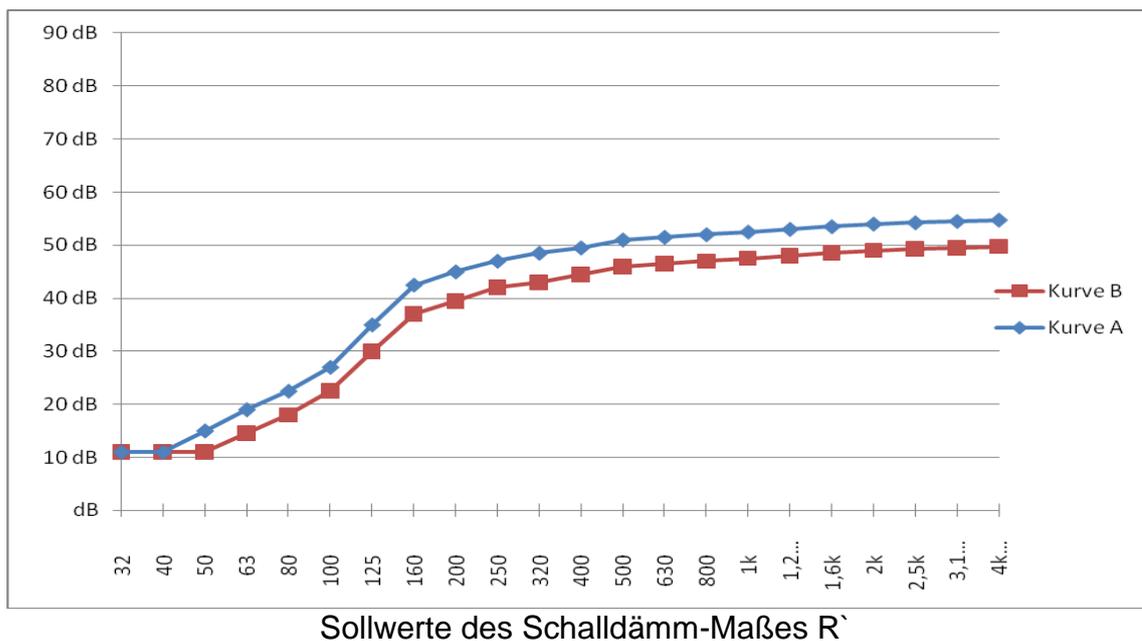
Sollwerte der Schallpegeldifferenz für Hörfunkstudios

Diagramm 3:



Sollwerte der Schallpegeldifferenz für Hörfunkregie

2.9. Schallschutztüren im Studiobereich



2.10 Trittschallschutz

Für die Raumkategorien aus Punkt 2.6 darf der Trittschallpegel bei Anregung mit dem Normhammerwerk nach ÖNORM 8115 in benachbarten oder darüber liegenden Räumen den zugelassenen Geräuschpegel für Dauergeräusche um maximal 10dB überschreiten.

2.11 Trittschall- und Körperschallisolierungen

Tritt- und Körperschall empfindliche Geräte (z.B. Plattenspieler) sind durch eine passive Schwingungsisolierung ausreichend zu schützen. Körperschallerregende Geräte müssen, wenn sie zu Störungen anderer Geräte Anlass geben, schwingungsisoliert eingebaut werden.

2.12 Geräusche der Beleuchtung

Es ist bei der Beleuchtung der Studios darauf zu achten, dass nur Beleuchtungssysteme zur Anwendung kommen, die beim Erwärmen keinerlei Geräusche wie z.B. Knacken erzeugen. Bei Leuchtmitteln mit Vorschaltgeräten ist darauf zu achten, dass keine Brummgeräusche entstehen, bei Leuchtstoffröhren ist ein eventuelles Klingeln der Röhre bei der eigentlichen Entladung zu berücksichtigen.

2.13 Kabeldurchführungen in der Baukonstruktion

Durchführungen durch schalldämmende Bauteile dürfen die Schalldämmung der Baukonstruktion nicht beeinträchtigen. Sie sind in systemgerechter Ausführung von Bauausführenden zur Verfügung zu stellen und müssen fachgerecht verschlossen werden: in der Regel festes Ausstopfen mit Tel-Wolle auf die Gesamtlänge und Verschließen der Enden mit Spritzkitt.

Kabeldurchführungen zwischen Regieplätzen und Studios und Regieplätzen und Technikräumen sind bevorzugt in Form von sandgefüllten Kabelkästen auszuführen um ein einfaches Nachziehen von Kabeln zu gewährleisten.

3. Nachhallzeiten in Rundfunkstudios und Regieräumen des ORF

3.1 Allgemeines

Die Nachhallzeit ist von den produktionstechnischen Erfordernissen und dem Volumen des Raumes abhängig. In Studioräumen sind Netto-Volumen $< 40\text{m}^3$ zu vermeiden.

Zusätzlich sollten die Räume symmetrisch sein, bezogen auf die Abhörachse. Würfelförmige Räume, konkave Oberflächen, Nischen, Säulen etc. sind zu vermeiden.

Längen, Breiten und Höhen dürfen nicht in ganzzahligen Verhältnissen zueinander stehen.

3.2 Definition: Nachhallzeit

Die **Nachhallzeit** mit dem Formelzeichen T_{60} oder auch einfach T , im Englischen meistens RT (reverberation time), ist die bekannteste raumakustische Kenngröße. Unter der Nachhallzeit versteht man das Zeitintervall, innerhalb dessen der Schalldruck in einem Raum bei plötzlichem Verstummen der Schallquelle auf den tausendsten Teil seines Schalldruck-Anfangswerts abfällt, was einer Pegelabnahme von 60 dB entspricht. Die Nachhallzeit eines Raums wird üblicherweise für die Mittenfrequenz eines Terzfilters mit der Frequenz von 500 Hz oder 1 kHz angegeben oder als frequenzabhängige Kurve der Abhängigkeit der Nachhallzeit von der Frequenz, was aber keinen Frequenzgang des Nachhalls darstellt. Das Toleranzschema für die Nachhallzeiten in Regieräumen ist in Bild 1 dargestellt.

3.3 Definition: Reflektierschall (Nachhall-Schallfeld) ist aufgeteilt in

- **Anfangsreflexionen (Kurzzeitreflexionen)**
beinhaltet alle Reflexionen innerhalb der ersten 15 ms
Frequenzbereich: 1Khz-8Khz
- **Zeitliche Diffusität**
des Nachhall-Schallfelds (Abklingverlauf möglichst geradlinig)
- **Nachhallzeit**
der Frequenzgang der Nachhallzeit sollte stetig verlaufen. Plötzliche und starke Sprünge beeinflussen die Betriebs-Schallpegelkurve.

3.4 Das stationäre Schallfeld wird dargestellt durch die

Betriebsschallpegelkurve gemäß EBU (Bild 2).

Sie stellt ein wichtiges Kriterium der Wechselwirkung Raum-Lautsprecher dar. Damit wird auch die Güte der Hörbedingungen spezifiziert.

Die Messung erfolgt am Bezugs-Hörpunkt. Als Messsignal ist terzgefiltertes Rosa Rauschen zu verwenden. Die Toleranzen sollten für jeden einzelnen Lautsprecher eingehalten werden.

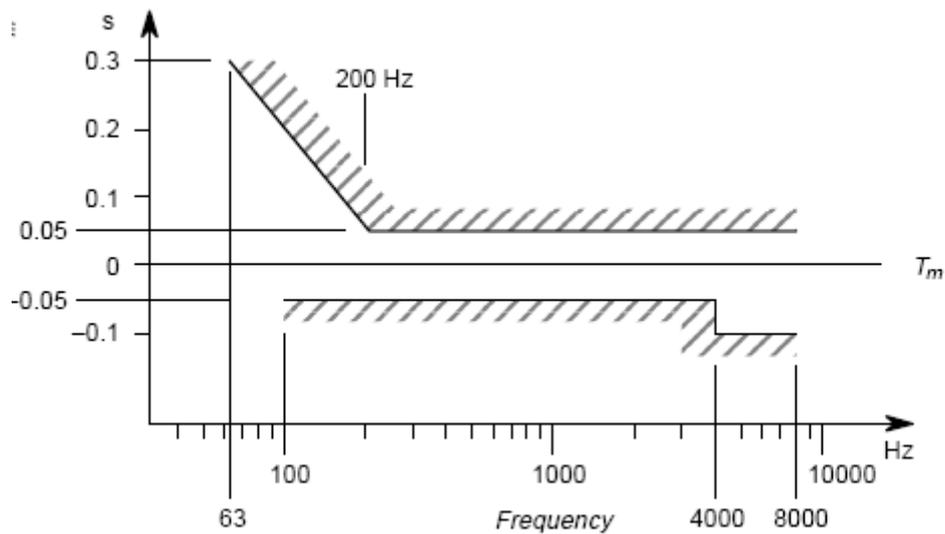


Bild 1 Toleranzgrenze für die Nachhallzeit, relativ zum arithmetischen Mittelwert nach EBU

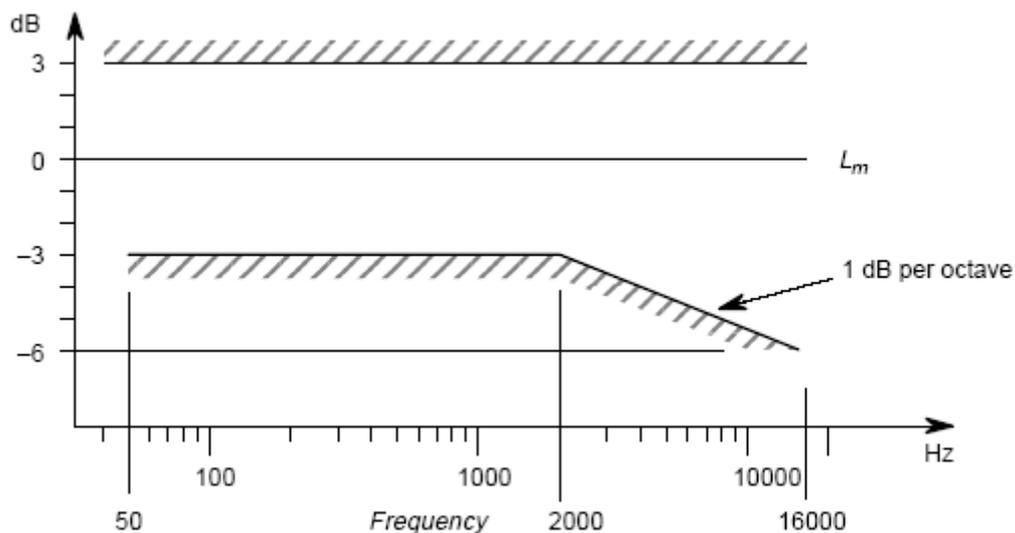


Bild 2 Betriebsschallpegelkurve, relativer Pegel, Toleranzgrenzen nach EBU

3.5 Die Berechnung der Nachhallzeit für Regieräume erfolgt nach folgender Formel

$$T_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}}$$

V= Volumen des Hörraums
 V₀= Referenzraumvolumen 100 m³

3.6 Nachhallzeiten für typische Regieraum -Raumgrößen:

50 m ³	0,2s
100 m ³	0,25s
150 m ³	0,29s
200 m ³	0,31s
250 m ³	0,34s
300 m ³	0,36s

4. Kriterien zur Dimensionierung von Mehrkanal – Regieräumen (5.1)

4.1. Einführung

Tonregieräume müssen eine neutrale, kritische und zuverlässige Beurteilung des wiedergegebenen Signals ermöglichen. Aus dieser Forderung ergeben sich Bedingungen für die Eigenschaften der eingesetzten Lautsprecher, sowie für die bau- und raumakustischen Voraussetzungen der Örtlichkeit. Raum- und elektroakustische Betrachtungen sind hierbei untrennbar miteinander verknüpft, sodass im Folgenden die zu untersuchenden raumakustischen Aspekte nicht vollkommen isoliert betrachtet werden können.

Das durch die Lautsprecher im Raum angeregte Schallfeld lässt sich im Wesentlichen in drei unterschiedliche Signalkomponenten unterteilen:

Das **Direktsignal** beschreibt die Schallwelle, die auf den Abhörplatz auf direktem Weg, also ohne Raumeinfluss, eintrifft. Der Direktschall wird somit neben den Eigenschaften der Lautsprecher selbst vor allem durch dessen Anordnung in Bezug auf den Hörer bestimmt. (Kapitel 4.2)

Reflexionen von Oberflächen oder Gegenstände wie z.B. das Mischpult, die innerhalb von 15ms nach dem Direktsignal am Abhörpunkt eintreffen werden als **frühe Reflexionen** bezeichnet. Diesbezügliche Probleme und raumakustische Optimierungsmöglichkeiten werden in Kapitel 4.3 aufgezeigt.

Kapitel 4.4 beschäftigt sich mit dem letzten Signalanteil, dem **diffusen Nachhall**, der möglichst lineares Verhalten aufzeigen soll.

Abschließend werden im letzten Kapitel anhand von dem Grundrissplan des Regieplatzes 3 des ORF Landesstudios und zugehöriger raumakustischer Simulation praktisch auftretende Probleme bzw. Lösungsvarianten diskutiert.

4.2. Direktsignal

4.2.1. Wiedergabeordnung

Zur Wiedergabe von diskretem Mehrkanalton wird üblicherweise das 3/2-Format verwendet, welches drei Frontkanäle und zwei Surroundkanäle definiert. Nach ITU-R BS. 775-1 sind alle Lautsprecher entlang eines Kreisumfangs und dadurch mit gleichem Abstand vom Hörplatz angeordnet. Die Lautsprecherebene sollte sich auf Ohrhöhe, also ca. 1,2 m, befinden.

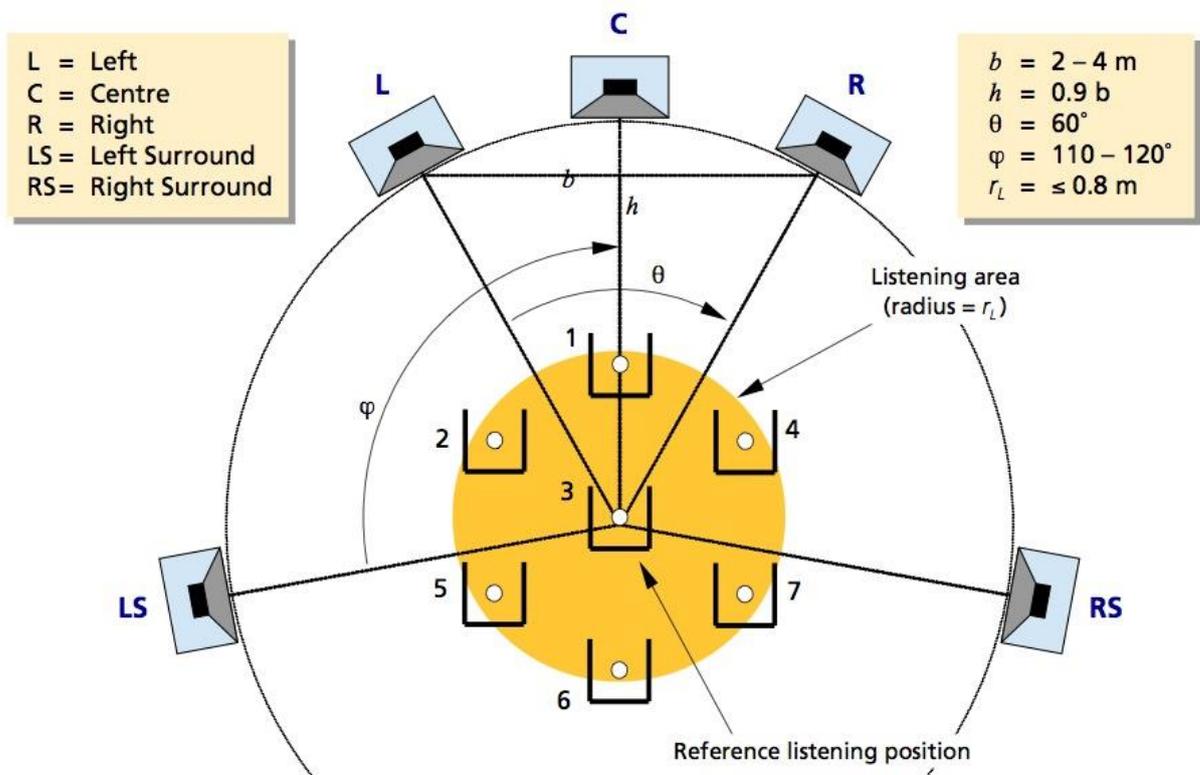


Abbildung 1: Wiedergabeordnung für 3/2-Format nach EBU Tech 3276-E

Wie in Abb.1 ersichtlich werden Hörabstände (b) im Bereich von 2 – 4 m vorgeschlagen. Die Gründe für diese Empfehlung sollen in weiterer Folge näher betrachtet werden.

4.2.2. Dimensionierung des Abhörpunktes (sweet-spot)

Werden optimale Abhörbedingungen gefordert, so ist der Aktionsradius des Hörers am Abhörplatz eingeschränkt. Insbesondere verringern kleine Hörabstände **b** diesen sogenannten **Sweet-Spot**, der in Abb.1 mit dem Radius $r_L \leq 0,8$ m in gelb, wie folgende Betrachtungen zeigen werden, ziemlich großzügig abgeschätzt ist.

Ein Qualitätskriterium für die gleichmäßige Übertragung aller Frequenzen und somit für die Stabilität des Schallfeldes stellt die Betriebsschallpegelkurve (Abb.2) dar. Die Toleranzen müssen für jeden einzelnen Kanal eingehalten werden, wobei vor allem für die Frontkanäle eine hohe Übereinstimmung untereinander von großer Bedeutung ist.

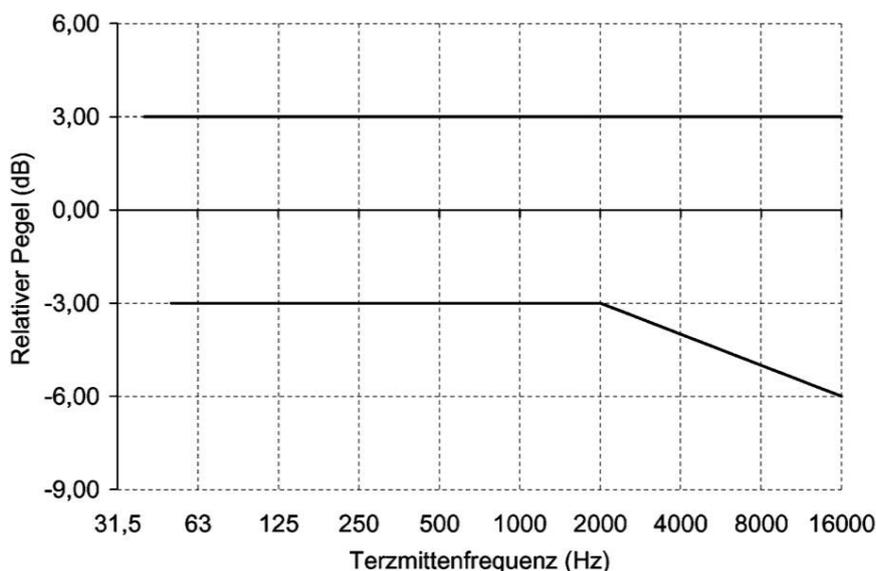


Abbildung 2: Toleranzgrenzen für die Betriebsschallpegelkurve gemäß EBU Tech. 3276 und SSF-01.1

Bis 2 kHz dürfen demnach nur Pegelabweichungen von maximal ± 3 dB auftreten. Sehr hochfrequente Signale dürfen auch stärker abgeschwächt werden.

Folgende Absätze beschreiben, hinsichtlich welcher Kriterien sich der Radius der Abhöre, und jener des Sweet-Spot berechnen lässt, sodass obige Vorgabe erfüllt werden kann.

Prinzipiell gilt, **je größer der Hörabstand gewählt wird, desto stabiler ist das Schallfeld** der Surround-Abhöre. Jedoch erhöht sich dadurch auch zugleich der Raumeinfluss.

4.2.2.1. Winkelfehler horizontal

Um die im 3/2-Format festgelegten Grenzen für die Lautsprecherwinkel ($0^\circ, \pm 30^\circ, \pm 110^\circ$ bis $\pm 120^\circ$; siehe Abb.1) einzuhalten, darf sich der Hörer nur in einem kleinen Bereich (Sweet-Spot) aufhalten, der hier auf einen Aktionsradius von 25 cm angenommen wird.

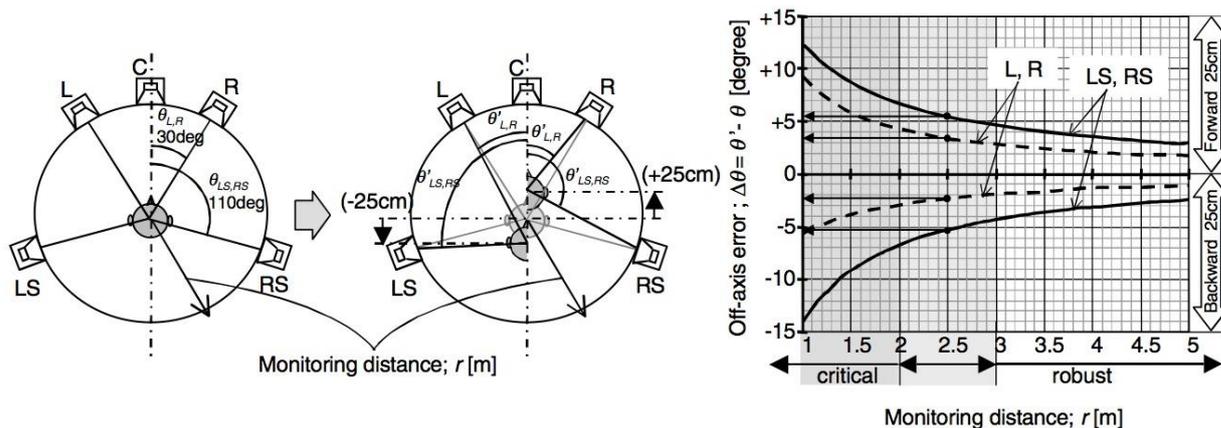


Abbildung 3: Winkelfehler durch Bewegung am Abhörpunkt

Abb.3 rechts stellt den Winkelfehler $\Delta\theta$ als Funktion des Hörabstandes dar, wobei in der oberen Hälfte die Hörachse um 25 cm vor und unten um 25 cm nach hinten verschoben wurde.

Die Diagramme bekräftigen die Aussage, dass bei größeren Hörabständen geringere Winkelfehler auftreten und dementsprechend eine höhere Stabilität des Schallfeldes gewährleistet ist.

Außerdem lässt sich erkennen, dass die Surround-Kanäle (durchgezogene Linie) von der Veränderung stärker betroffen sind als die Frontkanäle (strichliert).

Natürlich können sich auch Laufzeitfehler durch Veränderung der Hörposition ergeben. Bedeutsam sind diese allerdings nur im Bereich des vorderen Lautsprechertripels (LCR), also ähnlich wie bei gewöhnlicher Stereophonie.

4.2.2.2. Pegelfehler

Es werden nun zwei unterschiedlich große Räume miteinander verglichen. Ein kleiner Raum mit nur 31 m³ Volumen und einem Hörabstand von 1,5 m wird einem wesentlich größeren Raum mit 900 m³ und einem Hörabstand von 4 m gegenübergestellt. Wird ein Sensor um 25 cm vom Zentrum nach vorne und hinten verschoben, ergeben sich die als Kreise in Abb.4 rechts eingezeichneten Pegelwerte. Die durch die Verschiebung verursachte Pegeldifferenz beträgt im großen Raum (durchgezogene Linie) nur 0,8 dB, wohingegen im kleinen Raum (gestrichelt) 1,8 dB auftreten.

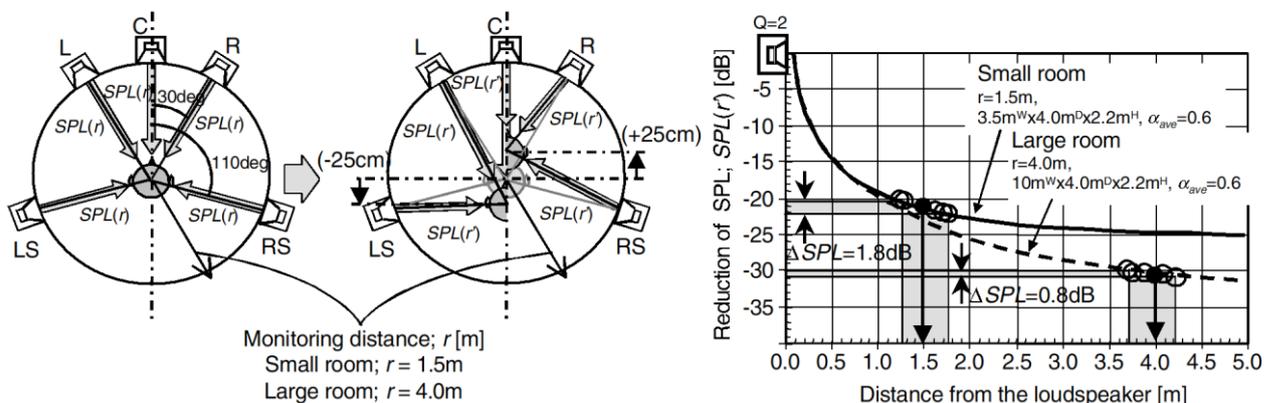


Abbildung 4: Veränderung des Schallpegels durch Bewegung am Abhörpunkt

4.2.2.3. Winkelfehler vertikal

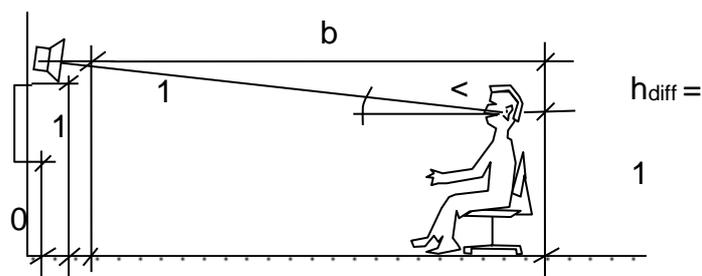


Abbildung 5: Einfluss von zu hoch positionierten Lautsprechern

Ist etwa die Aufstellung der Lautsprecher über einer Fensterfläche nötig (Montagehöhe etwa 1,8m; Ohrhöhe: 1,2m) so gibt es einen minimalen Hörabstand b_{min} , der nicht unterschritten werden darf. Der Elevationswinkel des Lautsprechers darf 15° nicht überschreiten, da die Lokalisationsfähigkeit des menschlichen Gehörs ab diesem Bereich abnimmt.

$$b_{\min} \geq \frac{h_{\text{diff}}}{\tan(\alpha_{\max})} \approx \frac{h_{\text{diff}}}{0,27} = \frac{0,6}{0,27} = 2,24 \text{ m}$$

Um wieder einen Sweet-Spot mit 25cm Radius zu erlauben, müsste der Hörabstand

$$b_{\min} \geq 2,24 \text{ m} + 0,25 \text{ m} = 2,5 \text{ m}$$

sein.

4.2.2.4. Laufzeitfehler

Im Gegensatz zu den Pegel- und Winkelfehlern **kann** der durch Laufzeitfehler definierte Sweet-Spot **nicht** durch Vergrößerung der Abhöre **erweitert werden**.

Im Wesentlichen ergibt sich bei Betrachtung der Laufzeitfehler ein ungefährer Sweet-Spot mit dem Radius **$r = 7 \text{ cm}$** , also in der Größenordnung des menschlichen Kopfes.

4.3. Frühe Reflexionen

Der Luftschall wird unter bestimmten Voraussetzungen an Raumwänden geometrisch reflektiert. An massiven, ebenen Flächen können geometrische Reflexion (Ausfallswinkel=180°-Einfallswinkel) auftreten. Daraus ergibt sich am Abhörplatz eine Überlagerung von reflektiertem Schall mit dem Direktschall.

Treffen diese Reflexionen innerhalb von **15 ms** nach dem Direktsignal ein, spricht man von frühen Reflexionen. Diese Reflexionen sollten im Frequenzbereich von 1kHz bis 8kHz um mindestens 10 dB unterhalb des Direktschalls liegen.

Es ist zu erwähnen, dass die Oberfläche des Mischpults im Regieraum eine potentielle Quelle für frühe Reflexionen darstellt. Diese können zwar durch eine Optimierung der Höhe der Fronlautsprecher reduziert werden, aber in der Regel nicht ganz beseitigt werden.

Für optimale Klangtreue müssen destruktive Überlagerungen im wahrnehmbaren Bereich zwischen 50-1000 Hz (*phys.: destruktive Interferenzen*) vermieden werden.

Für optimale Lokalisationsschärfe und Impulstreue müssen laut hervortretende, diskrete Reflexionen vermieden werden.

4.3.1. Klangtreue

Bei kleinen Weglängendifferenzen zwischen reflektiertem und direktem Schall treten aufgrund der hinreichenden Ähnlichkeit (Korrelation) Klangfärbungen auf, die als **Kammfilter-Effekt** bezeichnet werden:

Die Schalldrücke der beiden Wellen summieren sich und es tritt abhängig von der relativen Phasenlage konstruktive oder destruktive

Interferenz auf. Da die Phasenlage der beiden Wellen zueinander frequenzabhängig ist, entsteht ein kammförmiger spektraler Verlauf. Entspricht die Weglängendifferenz Δs des Reflexionswegs am Hörort einer halben Wellenlänge (Phasenversatz von 180°) gegenüber dem Direktschall, treten bei dieser Wellenlänge und ihren Vielfachen destruktive Interferenzen auf:

$$f_{krit} = \frac{c}{2\Delta s} = \frac{343ms^{-1}}{2\Delta s}$$

Um Klangfärbungen im Frequenzbereich zwischen **1000Hz > f > 50 Hz** zu verhindern, müsste man folglich Reflexionen mit **17cm < Δs < 3,4m** (entspricht Verzögerung von **0,4ms bis 10ms**) vermeiden. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass bei zunehmender Weglängendifferenz obig erwähnte Korrelationsbedingung bei stark wechselhaften Signalen (Musik) mehr und mehr verletzt wird. Der Einfachheit halber wird in folgenden Betrachtungen deshalb von relativ zur Verzögerungszeit stationären Signalen ausgegangen.

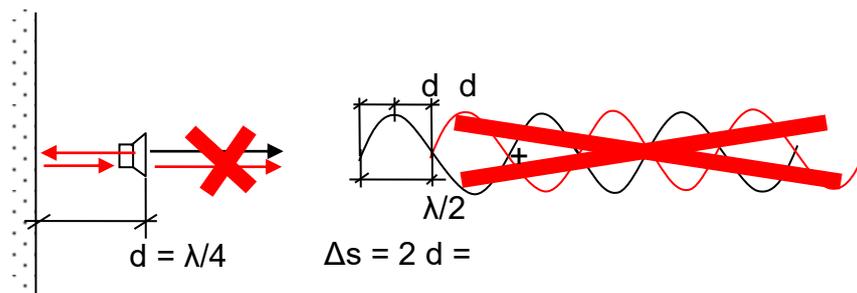
4.3.1.1. Klangfärbung durch Flächen/Wände rechtwinkelig zur Abstrahlung

Es ist üblich, die Lautsprecher entweder im Mindestabstand >1m zur Wand aufzustellen oder sie in die Wand einzubauen.

Bei rechtwinkliger Aufstellung zur Wand ist besonders der tiefe Frequenzbereich gefährdet, da hier der Lautsprecher näherungsweise als Kugelschallquelle betrachtet werden kann und folglich auch rückwärtig Schall abgestrahlt wird. Es wird **d > 1,7m** vorgeschlagen, um die tieffrequenteste und intensivste destruktive Interferenz möglichst störungsarm unterhalb von **50 Hz** zu erhalten. Liegt die destruktive Interferenz im Bereich > **1kHz** wird sie auch nicht als störend empfunden.

Daraus errechnen sich ein Maximalabstand für wandnahe Lautsprecher, und einen Minimalabstand für wandferne Lautsprecher. (Achtung: die Entfernung betrifft das akustische Zentrum des Lautsprechers. Bei 1kHz liegt dieses etwa an der Frontplatte!).

Berechnung und Skizze:



$$\Delta s_{\min} = \frac{c/2}{f} = \frac{343/2 \frac{m}{s}}{50 \text{ Hz}} = 3,4 \text{ m} \quad d_{\text{wandfern}} > 1,7 \text{ m}$$

$$\Delta s_{\max} = \frac{c/2}{f} = \frac{343/2 \frac{m}{s}}{1000 \text{ Hz}} = 16 \text{ cm} \quad d_{\text{wandnah}} < 8 \text{ cm}$$

Der ungünstigste Bereich zur Lautsprecherpositionierung ist somit **8cm < d < 1,7m**.

Eine Korrekturmöglichkeit bieten poröse Absorber im gesamten Zwischenraum zwischen Wand und Lautsprecherfrontplatte. Erreicht ein poröser Absorber eine Tiefe von **λ/4**, so beginnt er bei der gleichen Frequenz zu greifen, ab welcher Klangfärbungen entstehen.

Der Absorber könnte in einem Ring oder Kegel des Radius **d** um den Lautsprecher herum angeordnet werden.

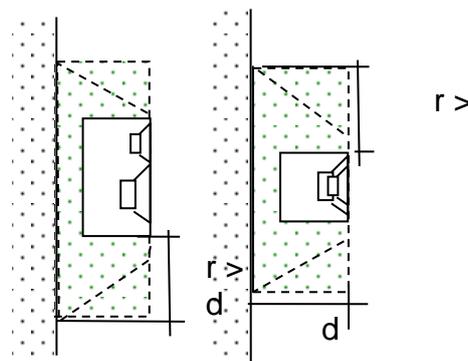


Abbildung 6: Absorber für Lautsprecher mit ungünstigem Wandabstand

4.3.1.2. Klangfärbung durch Flächen/Wände allgemein

Im allgemeinen Fall müssen Reflexionswege hin zur Hörposition analysiert werden. Aus der Länge eines Reflexionspfades und jener des Direktschalls ergibt sich wieder die Weglängendifferenz.

Bei kleiner Weglängendifferenz (etwa < 30cm) sollte ein Höhenabsorber an der lautsprechernahen Wand angebracht werden, um Interferenzen zu unterdrücken.

Bei größeren Wandabständen sollten lautsprechernahen Wände breitbandig (v.a. tieffrequent => große Schichtdicken) absorbierend gestaltet werden.

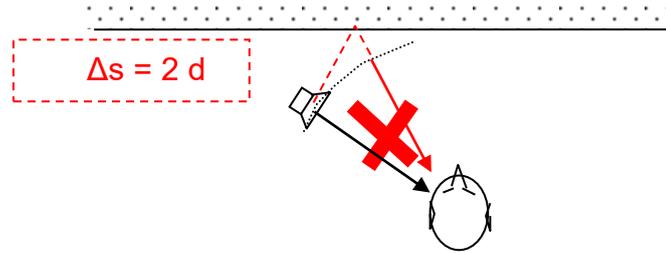


Abbildung 7: geometrische Wandreflexion können zu destruktiven Interferenzen führen

In Abb.7 ist dieser Zusammenhang anschaulich dargestellt. Die rote Linie kennzeichnet den (einzig möglichen) Reflexionsweg vom Lautsprecher zum Hörer, der strichlierte Teil die Weglängendifferenz. Im Bereich der Reflexionsstelle sollte notfalls ein Absorber angebracht werden.

4.3.2. Impulstreue/Lokalisationsschärfe ($\Delta s > 3,4\text{m}$ / $\Delta t > 10\text{ms}$)

Reflexionen, deren Laufzeitdifferenz größer 10ms ist (bis ca. 50 ms), verschlechtern die Lokalisationsschärfe und Impulstreue.

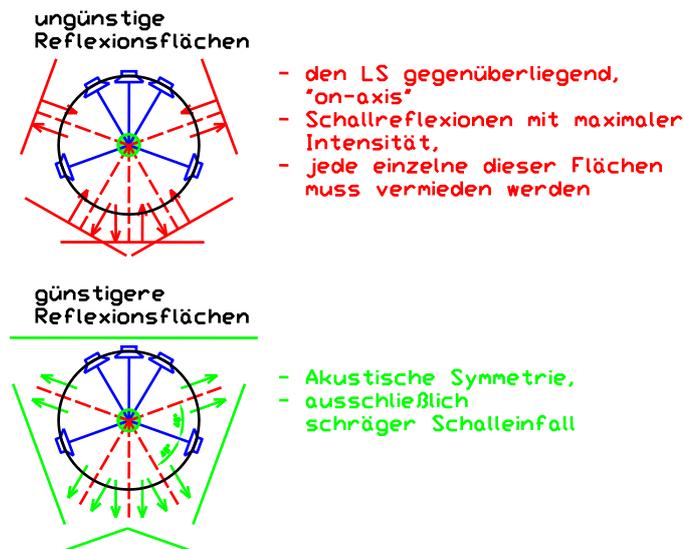


Abbildung 8: schematische Darstellung intensiver Erstreflexionen, welche die Lokalisations- und Impulsschärfe verschlechtern können

Störende Reflexionen können durch gezielte Lenkung, Streuung oder Absorption beseitigt werden. Im Mitten- und Hochtonbereich können betroffene Reflexionsflächen relativ leicht mit absorbierenden Materialien wie Vorhänge oder Teppichböden ausgestattet werden, wobei auf eine mögliche Überdämpfung der Höhen geachtet werden muss.

Die stärksten dieser Reflexionen entstehen an Wänden, die dem Lautsprecher gegenüber liegen. Bereits bei der Raumgestaltung können günstige Raumformen geschaffen werden.

In den folgender Abbildung werden zwei anschauliche Beispiele dazu aufgezeigt.

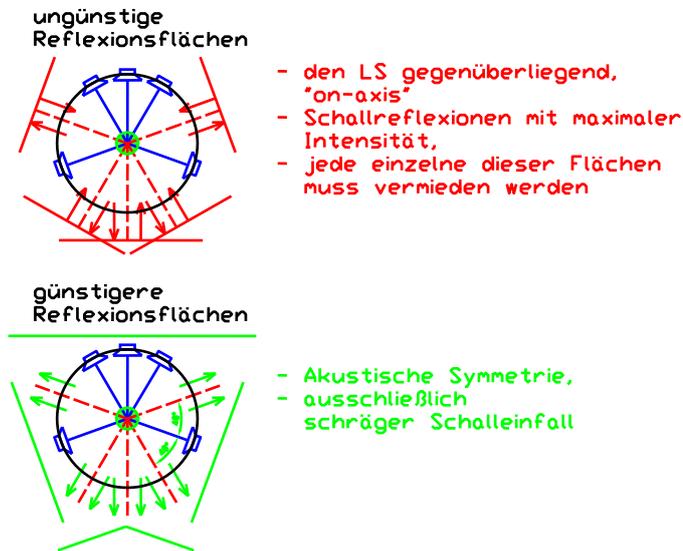


Abbildung 9: günstige Raumform zur Streuung von Reflexionen

Wie in Abb.8 oben ersichtlich haben ungünstige Reflexionen in Axialrichtung der Lautsprecher eine Weglängendifferenz Δs von mindestens $2b$.

Neben der gewünschten Streuung der Reflexionen vergrößert schräger Schalleinfall die akustisch wirksame Fläche und begünstigt dadurch die Absorption an porösen oder gelochten Wänden.

Raumwände einfacher rechteckiger oder trapezförmiger Grundrisse können nach diesen Gesichtspunkten aufgefaltet (grün schraffiert) werden.

(Anm.: die Oberflächenmaterialien und Schallabsorption muss gesondert betrachtet werden)

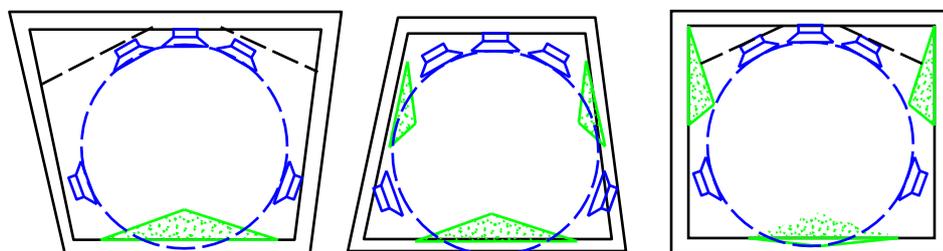


Abbildung 10: Nachträgliche Auffaltung ungünstiger Raumformen

4.3.3. Wandeinbau von Lautsprechern

Lautsprecher zeigen im Allgemeinen frequenzabhängige Richtcharakteristik. So strahlt ein Lautsprecher bei tiefen Frequenzen kugelförmig Schallenergie ab. Kommen jedoch mit zunehmender Frequenz die abgestrahlten Wellenlängen in die Größenordnung der geometrischen Abmessungen der Lautsprecherbox verengt sich der Abstrahlwinkel rasch, da sich die Schallwellen nicht mehr um das Hindernis beugen können. Dieser Übergangsbereich befindet sich beispielsweise bei einer Lautsprecherfrontplatte von 30x50 cm im Frequenzbereich zwischen 200 und 600 Hz.

Ein Wandeinbau (engl.: flush-mounting) wirkt der ungewünschte Frequenzabhängigkeit insofern entgegen, dass auch bei tiefen Frequenzen nur noch ein Halbraum angeregt wird. Dies führt im Vergleich zu Freifeldbedingungen zu einer Bassanhebung von bis zu 3dB(SPL).

Der Wandeinbau beseitigt zudem die unter Kapitel 3.1.1 angesprochenen Probleme bezüglich der rückwärtigen Reflexionen zur Gänze und verhindert somit ungünstige Klangverfärbungen.

Ein weiterer Vorteil dieser Montageart ist die Beseitigung von Lautsprecher-Kanten, die vor allem im obig erwähnten Übergangsbereich durch Streuungseffekte zu ungewolltem Sekundärschall führen. Aus diesem Grund ist auch auf eine bündige Montage zur Wandoberfläche besonderer Wert zu legen.

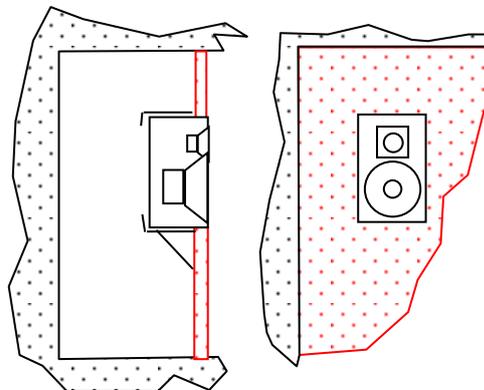


Abbildung 11: bündige Wandmontage eines Lautsprechers

Es muss jedoch beachtet werden, dass in Bezug auf Raummoden der wandebene Lautsprecher, wirkend als Druckquelle, immer in einem Druckbauch positioniert ist und somit stehende Wellen besonders gut anregen kann. Ein Nachteil ergibt sich auch aus der Tatsache, dass durch den Einbau der Lautsprecher örtlich absolut fixiert ist, wodurch ein Freiheitsgrad bei der Optimierung der Abhörbedingungen verloren geht.

4.4. Diffuser Nachhall

Für optimale Deutlichkeit und Durchsichtigkeit muss der Ausklingvorgang des Raumes betrachtet werden. Um die dazu geforderte Nachhallzeit zu erreichen müssen Raumflächen absorptiv gestaltet werden. Um weiters ungünstige Raummoden zu unterdrücken ist es ratsam parallele Wände zu vermeiden und Tiefenabsorber einzusetzen.

4.4.1. Späte Reflexionen und Flatterecho ($\Delta s > 11\text{m}$ / $\Delta t > 30\text{ms}$)

Späte Reflexionen führen bei schlechter akustischer Planung zum Verschmieren zeitlicher Feinstrukturen, Klarheit und Deutlichkeit, aber auch die Lokalisationsschärfe nimmt ggf. ab.

Besonders störend können sich parallelen Wände auswirken. Entstehende Flatterechos bringen fast alle negativen Eigenschaften mit sich. Klangfärbungen und Lokalisationsunschärfe sind eine extreme Beeinträchtigung der Abhörbedingungen.

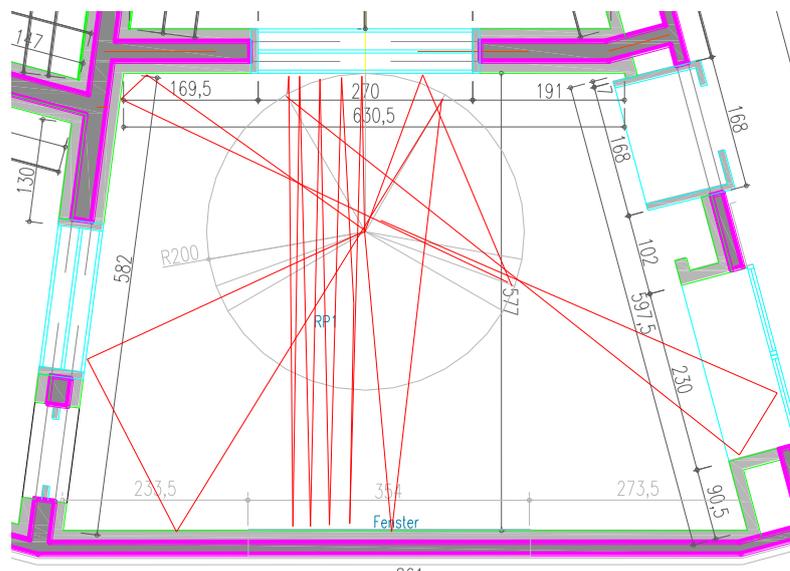


Abbildung 12: schematische Darstellung: Flatterecho und Reflexionen mit Laufzeit >30ms

4.4.2. Nachhall

Eine akustisch positive Eigenschaft, die niemals fehlen darf, ist ein ausgewogenes Ausklingen des Raumes.

In begrüßenswerten, ausgewogenen Reflexionsmustern sollten einzelne am Hörort eintreffende späte Reflexionen in ihrer zeitlichen Staffelung eine geradlinig abklingende Lautstärke besitzen. Der sich ergebende Ausklingvorgang - der Nachhall - besitzt unter bestimmten Voraussetzungen eine akustisch tragende Wirkung:

- der Abklingverlauf soll frei sein von einzelnen, diskreten Reflexionen, Flatterechos und Schwebungen,
- die Ausklingdauer (=Nachhallzeit) darf nicht zu lang sein, und
- der Nachhallzeitverlauf darf keine starke Frequenzabhängigkeit besitzen.

In Studioräumen gelten strenge Anforderungen, die im besten Falle durch wiederholtes Nachkorrigieren der Absorberflächen optimiert werden kann.

Der arithmetische Mittelwert T_m der Nachhallzeiten in den Terzbändern von 200 Hz bis 4 kHz sollte gemäß EBU-Norm [3] in Abhängigkeit vom Volumen V des Raumes zwischen 0,2 s und 0,4 s liegen:

$$T_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{100m^3}}$$

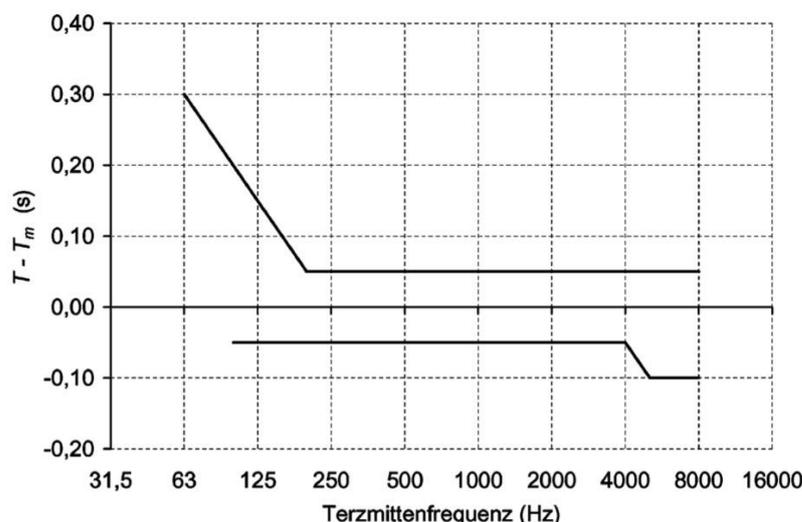


Abbildung 13: Toleranzgrenzen für die Nachhallzeit von Regie- und Hörräumen gemäß EBU Tech. 3276 und SSF-01.1

Wie in Abb.11 ersichtlich, wird eine relative Abweichung vom Mittelwert T_m von $\pm 0,05s$ gestattet. Außerdem sind ein Abfall oberhalb von 4 kHz sowie ein Anstieg unter 200 Hz normgerecht.

4.5. Anforderungen an das Referenz-Schallfeld im Studio

Parameter	Einheit/Bedingung	Studiobedingung
Direktschall Amplitudenfrequenzgang	Freifeldübertragungsmaß	Toleranzgrenzen siehe Tab.2
Reflektierschall Anfangsreflexionen (Kurzzeitreflexionen) Zeitliche Diffusität das Nachhall-Schallfeldes Nachhallzeit	0 ms ... 15 ms (im Bereich von 1 kHz bis 8 kHz) Vermeidung von signifikanten Anomalien im Schallfeld T_m [s] = Nominalwert im Bereich 200 Hz bis 4 kHz; V = Volumen des Hörraumes; V_0 = Referenzraum- volumen von 100 m ³	- 10 dB relativ zum Direktschall Keine Flatterechos, keine Klangfärbungen usw. $T_m = 0,25 \cdot \sqrt[3]{\frac{V}{V_0}}$ Nachhallzeitverlauf und Toleranzgrenzen siehe Abb.13 (Seite 15)
Stationäres Schallfeld Betriebs- Schallpegelkurve Grundgeräusch Referenz-Abhörpegel (relativ bei definiertem Mess-Signal)	50 Hz ... 2 kHz 2 kHz ... 16 kHz Eingangssignal: Rosa Rauschen, -18 dBFS (RMS)	± 3 dB +3 dB/ von -3 dB bis -6 dB fallend gemäß Toleranzfeld aus Abb.2 (Seite 4) $< NR 10$ bzw. $< GK$ 10 (näheres siehe 7.4) 78 dBA (RMS, slow) (pro Stereo-Kanal)

Tabelle 1: Anforderungen für das Referenzschallfeld im Studio

4.6. Anforderungen an Referenz-Monitor-Lautsprecher

Parameter	Einheit/Bedingung	Studiobedingung
Amplituden-Frequenzgang Differenz zw. Front-Stereo-Lautsprechern	40 Hz ... 16 kHz 0° ± 10° horizontal ± 30° 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
Schall-Bündelungsmaß C	250 Hz ... 10 kHz	8 dB ± 2 dB (ITU: > 6 dB)
Klirrdämpfung (SPL = 96 dB)	< 100 Hz > 100 Hz	- 30 dB (3%) - 40 dB (1%)
Verhalten bei Einschwingvorgängen	t _s [s] Abklingzeit für Abnahme bis zu einem Pegel von 1/e (=0,37) des Ausgangspegels	< 5/f [Hz] (vorzugsweise 2,5/f)
Zeitverzögerung (Differenz zw. Stereo-Lautsprechern)	Δt	10 μs
Dynamikbereich		
Maximaler Betriebspegel	L _{eff max}	> 112 dB (bei IEC 268-1 Programm-Simulations-Rauschen oder spezielles Mess-Signal)
Geräuschpegel	L _{Geräusch}	≤10 dBA

Tabelle 2: Anforderungen für Referenz-Monitor-Lautsprecher

4.7. Anforderungen an Referenz - Hörräume (Mehrkanal)

Parameter	Einheit/Bedingung	Studiobedingung
Raumgröße (Grundfläche)	S [m ²]	> 40
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	h [m]	2,0 ... 4,0
Basiswinkel	[Grad] bezogen auf L/R	60
Hörabstand	b [m]	2,0 ... 1,7h ; h (± r _L)
Hörzone	r _L [m]	0,8
Höhe der Lautsprecher	H [m]	≈ 1,2
Abstand zu umgebenden Reflexionsflächen	d [m]	1

Tabelle 3: Anforderungen für Referenz-Hörräume

5. Quellenverzeichnis

5.1. Normen und Standards zu den Kapiteln 2 und 3

- [1] ÖNORM 8115-1 bis 8115-4 Schallschutz und Raumakustik im Hochbau
- [2] Handbuch der Studioakustik, Ausgabe 2007 D.I. H. Lamparter, IRT
- [3] Höchstzulässige Schalldruckpegel von Dauergeräuschen in Studios und Bearbeitungsräumen bei Hörfunk und Fernsehen, Akustische Information 1.11-1/1995, IRT
- [4] ORF Pflichtenblatt Nr. 5.3 Akustische Spezifikationen des ORF DI. Ganner /1993

5.2. Normen und Standards zum Kapitel 4:

- [1] EBU Tech. 3276-E-1998 *Listening Conditions for the Assessment of Sound Programme Material*
- [2] EBU Tech. 3276-E-2004 S1 *Listening Conditions for the Assessment of Sound Programme Material – Supplement 1, Multichannel Sound, 2. Aufl*
- [3] ITU-R BS.775-1 Multichannels Stereophonic Sound System with and without Accompanying Picture, 1994
- [4] SSF 01.1/2002 *Hörbedingungen und Wiedergabeanordnungen für Mehrkanal-Stereofonie*
- [5] SSF 02.1/2002 *Mehrkanaltonaufzeichnungen im 3/2-Format*

5.3. Literatur zum Kapitel 4:

- (1) Ballou GM (2005) Handbook für Sound Engineers. 3. Aufl, Focal Press, Amsterdam
- (2) Dickreiter M (2008) Handbuch der Tonstudioteknik Band 1&2. 7. Aufl, K G Saur, München
- (3) Goertz A, Wolff M, Naumann L (2002) *Optimierung der Wiedergabe von Surround Lautsprecheranordnungen in Tonstudios und Abhörräumen.* Tonmeistertagung 2002
- (4) Goertz A, Makarski M (2008) *Interaktion von Lautsprecher und Raum im Tonstudio.* Tonmeistertagung 2008
- (5) Weinzierl S (2008) *Handbuch der Audiotechnik.* 1. Aufl, Springer-Verlag, Berlin
- (6) YAMAHA/SONA (2005) *Multichannel Monitoring Tutorial Booklet.* rev. 3.5.2