

**Untersuchungen zur Prognose der Lärmimmissionen
großer musikalischer Freiluftveranstaltungen und zu Maßnahmen
zur Minderung der von ihnen ausgehenden Lärmbelastigungen**

SDL-00305001

Untersuchungen zur Prognose der Lärmimmissionen großer musikalischer Freiluftveranstaltungen und zu Maßnahmen zur Minderung der von ihnen ausgehenden Lärmbelastigungen

Auftraggeber: Land Mecklenburg - Vorpommern, vertreten durch das
Umweltministerium M -V,
dieses endvertreten durch den Direktor des Landesamtes für Umwelt,
Naturschutz und Geologie
Postfach 13 38
18263 Güstrow
Telefon: (03843) - 7 77 - 0
Telefax: (03843) - 7 77 - 1 06

Auftragnehmer: Sachverständigenbüro Dr. Degenkolb für Lärmschutz und
Umweltmanagement,
in M - V zugelassene Messstelle zur Ermittlung von Emissionen und
Immissionen von Geräuschen nach §§ 26, 28 BImSchG
18106 Rostock
Knud – Rasmussen - Straße 6
Telef.: 0381 - 71 46 62
FAX: 0381 - 79 55 382
e-mail: Laermschutzbuero-Dr.Degenkolb@t-online.de

Auftragsnr.: SDL - 00305001

Leitender
Sachverständiger: Dr. Ing. Bernd Degenkolb, Rostock

Abgeschlossen am: 06. 06. 2004

Überarbeitete Fassung vom: April 2010

INHALTSVERZEICHNIS

0.	ANMERKUNG ZUR ÜBERARBEITETEN AUFLAGE DES BERICHTES	4
1.	VORBEMERKUNG	5
2.	AUFGABENSTELLUNG	5
3.	BESCHALLUNGSSYSTEME BEI MUSIKALISCHEN FREILUFTVERANSTALTUNGEN	7
3.1	GRUNDLAGEN, ABHÄNGIGKEITEN UND EINFLUSSGRÖßEN	7
3.2	LAUTSPRECHER FÜR DIE AUßENBESCHALLUNG	8
3.3	LAUTSPRECHERKENNGRÖßEN	12
3.4	LAUTSPRECHERGRUPPEN (SCHALLZEILEN)	14
3.4.1	GRUNDLAGEN	14
3.4.2	BEISPIELE ZUM NAH- UND ZUM FERNFELDBEREICH VON LAUTSPRECHERGRUPPEN (SCHALLZEILEN)	18
3.5	SCHALLFELD BEI BEIDERSEITS DER BÜHNE POSITIONIERTEN LAUTSPRECHERGRUPPEN	22
3.6	BEISPIELE ZUR AUSWIRKUNG VON REFLEXIONEN	24
3.7	ANPASSUNGEN AN DIE ANFORDERUNGEN DER AUF DER BASIS DER ISO 9613-2 ARBEITENDEN LÄRMSCHUTZSOFTWARE	26
4.	ANALYSE DER FREQUENZSPEKTREN DER SCHALLEMISSIONEN VON MUSIKALISCHEN FREILUFTVERANSTALTUNGEN	29
4.1	EINFLUSS DES FREQUENZSPEKTRUMS AUF DIE IMMISSIONEN	29
4.2	EINFLUSSFAKTOREN	30
4.3	FREQUENZSPEKTREN VON VERANSTALTUNGEN	33
5.	BEURTEILUNG	35
5.1	BEURTEILUNGSVORSCHRIFTEN	35
5.2	IMPULSZUSCHLAG BEI IMMISSIONSPROGNOSEN	36
5.3	ZUSCHLÄGE FÜR TON- UND INFORMATIONSHALTIGKEIT	37
5.4	LAUTSTÄRKE IM ZUHÖRERBEREICH	38
6.	BEISPIELRECHNUNG ZUR SCHALLIMMISSIONSPROGNOSE VON GROßEN MUSIKALISCHEN FREILUFTVERANSTALTUNGEN	40
6.1	BEISPIEL 1	40
6.2	BEISPIEL 2	48

6.3	BEISPIEL 3	55
6.4	BEISPIEL 4	59
6.5	COMPUTERPROGRAMM ZUR NÄHERUNGSWEISEN ERMITTLUNG DER IMMISSIONSPEGEL	64
7.	LÄRMSCHUTZ	65
7.1	LÄRMSCHUTZMAßNAHMEN	65
7.2	BEISPIEL ZUR LÄRMMINDERUNG	66
8.	ZUSAMMENFASSUNG	76
	QUELLENVERZEICHNIS	78
	ANLAGENVERZEICHNIS	79
	ANLAGEN	83

0. Anmerkung zur überarbeiteten Auflage des Berichtes

Der Bericht zu den „Untersuchungen zur Prognose der Lärmimmissionen großer musikalischer Freiluftveranstaltungen und zu Maßnahmen zur Minderung der von ihnen ausgehenden Lärmbelastigungen“ wurde seit seiner Übergabe im Juni 2004 an den Auftraggeber, das Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie des Landes Mecklenburg – Vorpommern (LUNG), sowohl Fachkreisen vorgestellt wie auch in das Internet gestellt (in www.lung.mv-regierung.de kann unter dem Stichwort „Publikationen/Downloads“ sowohl die /Studie „Musikalische Freiluftveranstaltungen“/ wie auch das im Rahmen dieser Untersuchungen entwickelte Excel – Programm /Immissionspegel „Musikalische Freiluftveranstaltungen“/ herunter geladen werden). In der Zwischenzeit sind einige Vorschläge an den Auftraggeber herangetragen worden, die sich vorrangig auf die Methodik der Darstellung bestimmter Zusammenhänge und Verfahrensweisen in den Kapiteln 3.1 bis 3.5.1 beziehen.

Unter Berücksichtigung der oben erwähnten Hinweise und Anregungen wurde der Bericht so überarbeitet, dass bestimmte Zusammenhänge für den Leser deutlicher aufgezeigt und verständlicher werden. Insbesondere aber wurden die Erläuterungen zur Anpassung an die Anforderungen der auf der Basis der DIN ISO 9613-2 arbeitenden Lärmschutzsoftware wegen ihrer Bedeutung für das Verständnis der Vorgehensweise bei den Prognose - Beispielrechnungen erweitert und als eigenständiger Abschnitt aufgeführt (nun als Abschn. 3.7). Zusätzlich wurde dem Abschnitt 6 (Beispielrechnungen) eine Kurzfassung über die Vorgehensweise bei den Beispielrechnungen zur Schallimmissionsprognose großer musikalischer Freiluftveranstaltungen vorangestellt. Und letztlich wurde die Überarbeitung auch zur Korrektur von Flüchtigkeits- und Schreibfehlern, die bedauerlicherweise in der Studie vorhanden waren, genutzt.

1. Vorbemerkung

Musik wird störend oft empfunden,
weil sie mit Geräusch verbunden

(Wilhelm Busch)

Wat dem een‘ sin Uhl,
is dem annern sin Nachtigall

(Niederdeutsches Sprichwort)

Beide Zitate beschreiben recht drastisch das ambivalente Verhältnis, das viele Menschen zu musikalischen Freiluftveranstaltungen haben. Für diejenigen, die einer bestimmten Veranstaltung gegenüber positiv eingestellt sind, werden die von ihr produzierten Geräusche als Unterhaltung bzw. Musik gewertet, andere, die diese Veranstaltung ablehnen, bezeichnen die gleichen Geräusche als störenden Lärm.

Ähnlich zwiespältig ist das Verhältnis vieler Kommunen (genauer gesagt das der zuständigen lokalen kommunalen Behörden) zu Freiluftveranstaltungen. Einerseits sind solche Veranstaltungen gewünscht, da sie das Kulturangebot der Kommunen für deren Einwohner und Gäste bereichern und somit die Attraktivität der Orte bzw. der umliegenden Region erhöhen. Damit verbunden sind natürlich auch wirtschaftliche Interessen.

Andererseits gibt es z. T. erhebliche Proteste und Klagen aus den Kreisen der schutzbedürftigen Nachbarschaft solcher Veranstaltungsorte gegen die von den Veranstaltungen ausgehenden Lärmbelästigungen, mit denen sich die Behörden dann auseinandersetzen müssen.

2. Aufgabenstellung

Die für die Genehmigung musikalischer Freiluftveranstaltungen zuständigen lokalen kommunalen Behörden haben zu entscheiden, ob eine geplante Veranstaltung den immissionsschutzrechtlichen Gegebenheiten gerecht wird.

Das erfordert eine prognostische Abschätzung der Lärmimmissionen, die an bestimmten schutzbedürftigen Orten zu erwarten sind.

Eine qualifizierte Schätzung der zu erwartenden Immissionen ist durch eine detaillierte Schallimmissionsprognose möglich, wenn für deren Erstellung die erforderlichen Emissionsdaten vorliegen.

Das Problem besteht darin, dass die akustisch relevanten Daten und Einflussgrößen, welche die Emissionen der Veranstaltung bestimmen, relativ komplex sind und somit einfache Beziehungsstrukturen nicht vorhanden sind.

Für die rechnergestützte Simulation akustischer, insbesondere beschallungstechnischer Vorgänge in fiktiven oder bereits existierenden Räumen (auch im Freien) zur raumakustischen Planungen und für den Entwurf von Beschallungs- und medientechnischen Anlagen gibt es Softwareprogramme wie EASE /1/ oder Ulysses /2/. Die jeweilige Software enthält die Emissionsdaten für eine erhebliche Anzahl von Lautsprecherboxen. In der Regel werden diese

Daten von den Herstellern der Lautsprecherboxen geliefert und sind somit autorisierte Angaben. Nach einer Information des Softwareentwicklers für das Programm EASE /3/ werden die in EASE verwendeten Module zur Berechnung der von Line - Arrays ausgehenden Schallverteilungen bei einigen Arrays direkt vom Array - Hersteller zur Verfügung gestellt. Diese enge Verbindung zwischen Hardware – Herstellern und Softwareentwicklern gewährleistet eine relativ gesicherte Datenbasis auf der Emissionsseite. Die mit diesen Programmen berechneten Schallverteilungen modellieren die realen Gegebenheiten in der Regel erheblich genauer, da hierbei die Phasenbeziehungen (Laufzeitdifferenzen) untersucht werden, als das mit den im Lärmschutz üblicherweise verwendeten Simulationsprogrammen möglich ist. Aus diesen Gründen wäre der Einsatz solcher Software wie z. B. EASE /1/ bei der Prognose der von musikalischen Freiluftveranstaltungen an schutzbedürftigen Orten verursachten Lärmimmissionen empfehlenswert. Das Problem liegt jedoch darin, dass diese Programme

- a) bei der Ausbreitungsrechnung die Beugung und
- b) den Frequenzbereich kleiner 100 Hz nicht berücksichtigen.

Ausbreitungsrechnungen, die der Norm ISO 9613-2 /4/ gerecht werden, können demnach mit diesen Programmen nicht durchgeführt werden. Wie in den weiteren Ausführungen gezeigt wird, können solche Programme aber im bestimmten Umfang für die Ermittlung der Emissionsdaten einer gegebenen Beschallungsanlage genutzt werden, auf deren Grundlage dann die Ausbreitungsrechnungen entsprechend der Norm ISO 9613-2 vorgenommen werden können.

Ein auf der Auswertung von Messwerten beruhendes Verfahren zur Prognose von Schalldruck- und Schallleistungspegeln für Freiluftveranstaltungen stellte auf der DAGA 02 im März 2002 in Bochum Roy /5/ vor. In dieser Untersuchung zu Beschallungskonzepten für Freiluftveranstaltungen werden aus Messwerten Zusammenhänge zwischen der zu beschallenden Fläche und dem A - bewertete Schallleistungspegel L_{wAeq} abgeleitet. Dieser Zusammenhang ist, wie die von uns durchgeführten Untersuchungen zeigen, Einflussgrößen unterworfen, die in der Untersuchung von Roy /4/ nicht aufgezeigt, deren Kenntnis bezüglich ihrer Auswirkungen für die Wertung dieses Zusammenhanges aber unabdingbar sind.

Bisher liegen keine (zu mindest deutschsprachige) Untersuchungen vor, welche die komplexen Beziehungsstrukturen < Beschallungsanlage – Emissionen – Immissionen > aus lärmschutztechnischer Sicht beschreiben.

Die Aufgabe der vorliegenden Untersuchung ist,

- den im Lärmschutz tätigen Ingenieurbüros Informationsmaterial bzw. eine Anleitung für die Erstellung qualifizierter Prognosen der Lärmimmissionen musikalischer Freiluftveranstaltungen und für die Ableitung von Lärmschutzmaßnahmen zur Verfügung zu stellen,
- des weiteren sollen die Untersuchungsergebnisse den Genehmigungsbehörden für eine eher überschlägige Abschätzung der Lärmimmissionen, die von einer geplanten musikalischen Freiluftveranstaltung ausgehen, und für die Einschätzung von Lärmschutzmaßnahmen, die der Veranstalter geplant hat oder vorschlägt, dienen.

In diesem Rahmen werden besonders die Zusammenhänge zwischen den Geräuschemissionen der elektroakustischen Anlage einer musikalischen Freiluftveranstaltung und den akustisch relevanten Einflussgrößen untersucht. Dies sind vorzugsweise

- die akustischen Leistungsparameter der Lautsprechersysteme,
- die Besonderheiten der Schallausbreitung bei Lautsprechergruppen (z. B. Line – Arrays),
- die Fahrweise (Regelung) der elektroakustischen Anlagen in Abhängigkeit von bestimmten Parametern der Veranstaltung (auditive Forderungen der Zuhörer, Musikart, Anzahl der Besucher usw.),
- und der Einfluss der Schallspektren (Frequenzspektren).

3. Beschallungssysteme bei musikalischen Freiluftveranstaltungen

3.1 Grundlagen, Abhängigkeiten und Einflussgrößen

Die Parameter der von einer Schallquelle bei der Ausbreitung im Freien in einer bestimmten Entfernung von der Quelle verursachten Schallimmissionen sind hauptsächlich abhängig von

- der Schalleistung der Emittenten und deren Richtcharakteristik,
- dem Frequenzspektrum der Schallemissionen,
- den Ausbreitungsverlusten aufgrund der geometrischen Ausbreitung und der Luftabsorption,
- den Ausbreitungsverlusten durch den Bodeneffekt, durch Abschirmungen, Bewuchs und durch Bebauungen.

Reflexionen des Schalls an Gebäuden (z. B. Straßenfronten) können zu einer Verstärkung oder Dämpfung der Schallimmissionen führen. Die Windbedingungen (Mitwind oder Gegenwind) können durchaus erheblich den Immissionspegel beeinflussen.

Bei Lautsprechern als Emittenten ist, wenn diese zu Lautsprechergruppen zusammengestellt sind, deren Konfiguration ein weiterer, die Schallimmissionen beeinflussender Parameter.

Immissionsrelevante Emissionsquellen bei musikalischen open – air Veranstaltungen sind praktisch ausschließlich die Lautsprecher. Die von den Sängern, Moderatoren und Musikinstrumenten direkt (ohne Beschallungssystem) verursachten Emissionen sind in der Regel unbedeutend gegenüber denen, die über das Beschallungssystem mit entsprechender Pegelverstärkung abgestrahlt werden. Sie sind daher vernachlässigbar.

Bei Veranstaltungen vor einer großen Zuschauerkulisse können auch die Lautäußerungen der Zuschauer (Singen, Schreien, Kreischen, Beifallsrufe usw.) eine nicht unerhebliche zusätzliche Lärmquelle sein.

Die Schalleistung der Lautsprecheremissionen wird hauptsächlich davon beeinflusst, welchen Verstärkungsgrad das technische Gesamtsystem „Beschallungsanlage“ zulässt und wie weit der Tontechniker bei der manuellen Steuerung des Systems während der Veranstaltung diese Verstärkungsmöglichkeiten ausnutzt. Ein Einflussfaktor ist innerhalb bestimmter Grenzen auch die Lautstärke, mit der die Eingänge der Verstärkeranlage (Mikrofone) durch z. B. die Moderatoren angeregt werden.

Die Richtcharakteristik der Schallquelle beschreibt die durch die Quelleneigenschaften bedingte unterschiedliche Abstrahlung in verschiedene Richtungen. Sie ist in der Regel frequenzabhängig. Das heißt, das Verhältnis der Abmessung des Strahlers (Seitenlänge bei ebenen Strahlern bzw. Durchmesser bei kreisförmigen Strahlerflächen) zur Wellenlänge bestimmt das Richtwirkungsmaß. Je größer das Verhältnis, desto stärker ist die Richtwirkung (Schallbündelung). Richtcharakteristiken aktueller Lautsprecher und Lautsprecherlinien werden weiter unten beschrieben.

Das Frequenzspektrum der Schallemissionen ist insofern von Bedeutung, da bestimmte Ausbreitungsverluste (Dämpfung durch Luftabsorption, Dämpfung durch den Bodeneffekt) frequenzabhängig sind. Ebenfalls frequenzabhängig ist die Wirkung von Schalldämm – Materialien.

Die geometrischen Ausbreitungsverluste bei einer kugelförmigen Schallausbreitung im Freifeld betragen bei Abstandsverdopplung ca. 6 dB. Ein einzelner Lautsprecher kann in der Regel als Punktschallquelle, die kugelförmige Schallwellen erzeugt, modelliert werden. Die Lautäußerungen der Zuhörer können als eine Gruppe von Punktschallquellen betrachtet werden. Bei Gruppenanordnungen von Lautsprechern (z. B. bei so genannten Line Arrays) ergeben sich komplizierte geometrische Ausbreitungsbedingungen, auf die weiter unten näher eingegangen wird (siehe Kapitel 3.4).

Die geometrischen Ausbreitungsverluste sind nicht frequenzabhängig.

Bei der Dämpfung aufgrund von Luftabsorption besteht eine starke Abhängigkeit von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte. Nach der DIN ISO 9613-2 /4/ beträgt die Dämpfung bei einer Temperatur von 20° C und einer relativen Luftfeuchte von 70% beim 8000 Hz – Oktavband 76,6 dB pro 1000 m Abstandsvergrößerung, beim 63 Hz – Oktavband dagegen nur 0,1 dB pro 1000 m Abstandsvergrößerung.

Die Dämpfung aufgrund des Bodeneffektes ergibt sich hauptsächlich aus der Reflexion von Schall an der Bodenoberfläche (Interferenzen). Vorwiegend die akustischen Eigenschaften des Bodens im Quell- und im Zielbereich bestimmen die Größe der Bodendämpfung. Sie ist frequenzabhängig und kann auch zu einer Schallpegelerhöhung führen.

Bei den zusätzlichen Dämpfungsarten durch Bewuchs (Bäume, Sträucher) und Industriebebauung (Installationen wie zum Beispiel bei Chemieanlagen) besteht ebenfalls eine Frequenzabhängigkeit.

Abschirmung ist nach der DIN ISO 9613-2 /4/ erst zu berücksichtigen, wenn die flächenbezogene Masse des Objektes $\geq 10 \text{ kg/m}^2$ beträgt, das Objekt eine geschlossene Oberfläche ohne Risse oder Lücken hat und die Horizontalabmessungen des Objektes senkrecht zur Verbindungslinie Quelle – Empfänger größer als die akustische Wellenlänge λ bei der Bandmittelfrequenz des interessierenden Oktavbandes ist.

3.2 Lautsprecher für die Außenbeschallung

Die Lautsprecher sind das letzte Glied der elektroakustischen Übertragungskette und gleichzeitig die Emissionsquellen für die an einem Immissionsort durch die Freiluftveranstaltung verursachten Geräuschimmissionen.

Die Prognose der von einem musikalischen Freiluftkonzert verursachten Lärmimmissionen erfordert einige Grundkenntnisse über bestimmte Parameter der bei solchen Veranstaltungen verwendeten Lautsprecher.

Die wichtigsten Aufgaben der Lautsprecheranlage lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Schallverstärkung,
- qualitativ hochwertige Signaltransformation (elektrisch zu akustisch),
- qualitativ hochwertige Beschallung des gesamten Zuschauerbereiches.

Aus physikalischen Gründen übertragen Lautsprecher nur einen bestimmten Frequenzbereich, bei dem die qualitativen Anforderungen an eine hochwertige Signaltransformation (linearer Frequenzgang im Übertragungsbereich) eingehalten werden können.

Bei musikalischen Freiluftveranstaltungen zum Einsatz kommende Lautsprecher (-boxen) können folgendermaßen typisiert werden.

Typisierung der Lautsprecherboxen nach dem Frequenzbereich:

- Subbass oder subwoofer (Tiefsttöner): Übertragen den Frequenzbereich zwischen ca. 25 Hz bis ca. 80 Hz/ 100 Hz mit in der Regel 18“ Lautsprechern.
- Bass oder midbass (Tieftöner): Für den Frequenzbereich zwischen ca. 50 Hz und ca. 120 Hz (15“ und z. T. auch 12“ Lautsprecher).
- Top (Mittel- und Hochtöner): In der Regel in einer Box zusammengefasste Lautsprecher, die den Frequenzbereich zwischen ca. 100 Hz und ca. 16 kHz abdecken. Während die Mitteltöner mit Lautsprechern der Größe 12“ und kleiner die Übertragung des Frequenzbereiche zwischen ca. 100 Hz und bis zu 3 kHz übernehmen, sind die kleinen ca. 1“ bis 2“ großen Hochtöner für die Übertragung der hohen Frequenzen $> 1 \text{ kHz}$ bis ca. 16 kHz geeignet.
- 3 – Wege Lautsprecherboxen: Kombinieren Tieftöner mit Mittel- und Hochtönern und decken als Hauptbeschallung praktisch den gesamten für die Musik und die Moderation relevanten Übertragungsbereich $50 \text{ Hz} \geq f \leq 16 \text{ kHz}$ ab (mehrere Lautsprecher mit Abmessungen von 15“ und kleiner).

Die Kombination zweier oder mehrerer Lautsprecher in einem Gehäuse (Lautsprecherboxen) ist üblich, um entweder einen relativ breiten Frequenzbereich abzudecken (z. B. durch die Kombination Mittel-/Hochtöner), oder um einen hohen Emissionspegel zu erreichen (z. B. durch Kombination zweier Tieftöner in einem Gehäuse). Die Grenzen dieser Kombinationen werden durch die räumlichen Abmessungen der Gehäuse und das Gewicht gesetzt, da diese Lautsprecherboxen handhabbar sein müssen.

Ein Beispiel für die Kombination zweier Mittel- (je 12“) mit einem Hochtöner (1,5“) ist die in der Anlage A 1 dargestellte Lautsprecherbox, die für einen Frequenzbereich (nach Angaben des Herstellers) von 120 Hz bis 18 kHz konzipiert wurde.

Die in der Anlage A 2 abgebildete Mittelbass – Lautsprecherbox ist eine Kombination zweier Mittelbass – Tieftöner (15“ - Lautsprecher), die nach Angaben des Herstellers den Frequenzbereich zwischen 40 Hz und 160 Hz abdecken.

Ein Beispiel für eine Subbass – Lautsprecherbox (subwoofer) ist in der Anlage A 3 abgebildet, die zwei 18“ (ca. 45 cm) große Subbass – Tieftöner enthält und für die Übertragung von Frequenzen zwischen 28 Hz und 100 Hz entwickelt wurde.

Eine als Modul für ein Vertikal – Array entwickelte Lautsprecherbox zeigt die Anlage A 5. In ihr sind zwei 15“ Tief-, zwei 10“ Mittel- und zwei 2“ Hochtöner installiert, die den Frequenzbereich zwischen 50 Hz und 17 kHz abdecken.

(Anmerkung: Die Abmessungen der Lautsprecher nehmen physikalisch bedingt mit abnehmender Frequenz zu. Die Größenangaben der Hersteller sind in der Regel in Zoll bzw. Inch (1 Zoll bzw. Inch = 2,54 cm)).

Unterteilung nach dem Einsatzzweck:

Eine zweite Typisierung ergibt sich aus dem Einsatzzweck der Lautsprecherboxen. Im Bild 1 ist schematisch dargestellt eine Bühne mit einer in der Regel bei größeren Veranstaltungen typischen Anordnung der Lautsprecherboxen.

Das sind jene

- für die Hauptbeschallung als Einzelboxen und/oder als Line Arrays,
- als Delay – Lautsprecher (werden in größerer Entfernung von der Bühne installiert, um den Pegelverlust bei den höheren Frequenzen aufgrund der Dämpfung durch die Luftabsorption auszugleichen),
- für die Nahbereichsbeschallung (nearfill, downfill),
- als Monitore (zur Beschallung der Bühnenakteure).

Die Lautsprecher zur Beschallung des Publikums (PA) werden i. a. auf der Bühne und seitlich im Bereich des vorderen Bühnenrandes aufgestellt (gestapelt oder aufgehängt).

Die Lautsprecherboxen für den Bassbereich (Tieftöner) stehen in der Regel auf oder unter der Bühne, weil in diesem Frequenzbereich der Pegelverlust durch Abschirmungen z. B. auch durch die Zuschauer und durch die Bodendämpfung relativ gering ist. Die für die Hauptbeschallung bestimmten Mittel- und Hochtönerboxen dagegen werden wegen der bei diesen Frequenzen größeren Pegelverluste bei Abschirmungen usw. möglichst hoch über der Publikumsfläche stehend oder hängend installiert. Bei kleineren Bühnen, bei denen die Lautsprecherboxen auf der Bühne übereinander gestapelt werden, stehen sie demnach oben (Top), bei größeren Bühnen werden die für die Hauptbeschallung bestimmten Mittel- und Hochtönerboxen auch „fliegend“ installiert. Das heißt, sie werden seitlich der Bühne in Form einer vertikalen Linie aufgehängt. Dies gilt insbesondere auch für die so genannten ‚Line Arrays‘.

Aus Gründen der Beeinflussung der vertikalen Gesamt - Richtcharakteristik werden einzelne Module gegen die Vertikalachse ausgelenkt aufgehängt (Bananenform der Aufhängung).

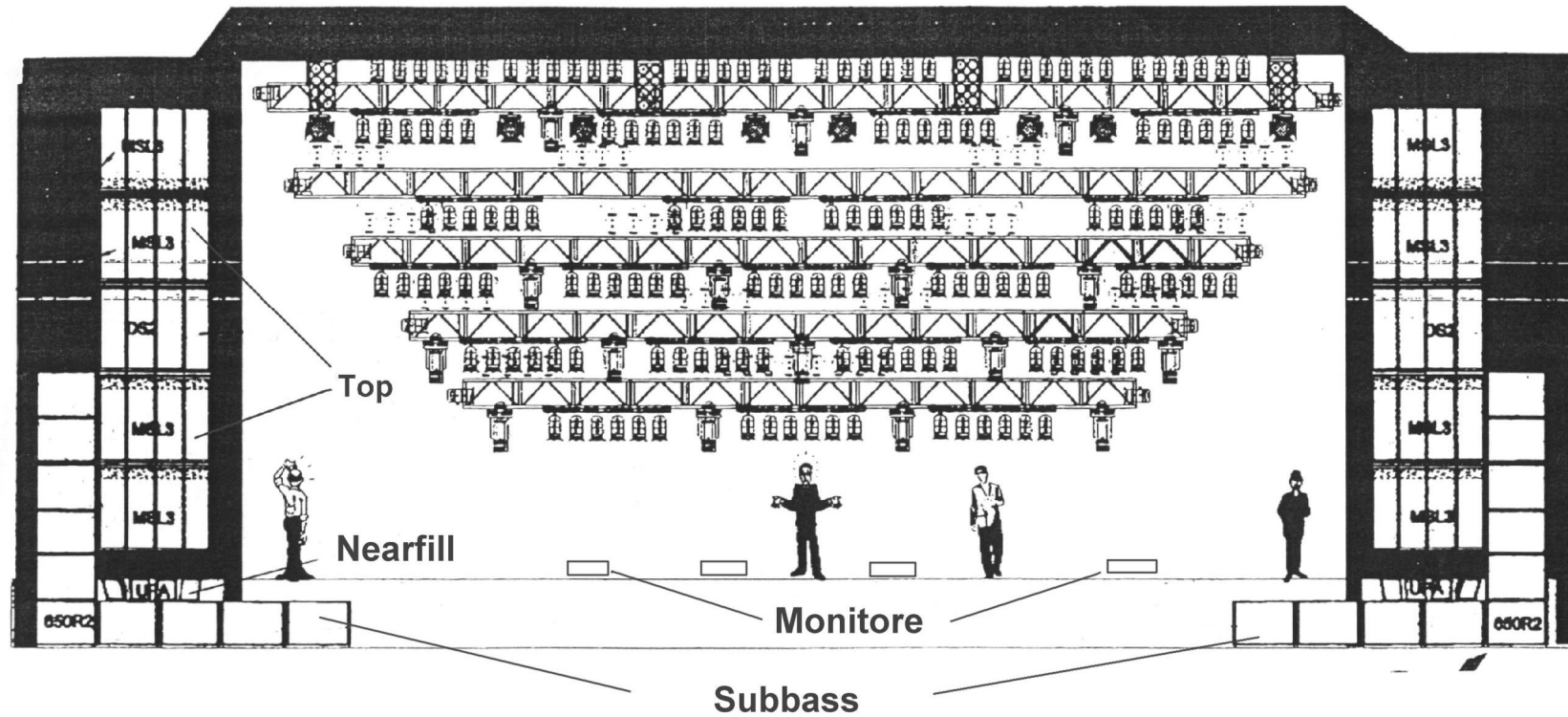


Bild 1: Mobile Bühne mit geflogenen Line Arrays (MF/HF – Boxen), Subwoofer (Tiefbass – Boxen) u. Nearfill- Boxen (Nahbereich)

Bei größeren Anlagen ist es oftmals notwendig, im Nahbereich der Bühne den Raum direkt vor und auch seitlich der Bühne mit zusätzlichen Boxen (für die Mittel- und Hochfrequenzen) zu beschallen, wenn dieser Raum nicht genügend durch die Tops beschallt wird. Der Beitrag dieser (nearfill -, downfill-) Boxen zu der Gesamtemission ist in der Regel klein.

Delay – Lautsprecher sind zusätzliche Lautsprecher, die bei großem Auditorium in größerer Entfernung von der Bühne aufgestellt werden und die in den hinteren Bereich des Publikums strahlen. Sie haben die Aufgabe, die hohen und mittleren Frequenzen zu verstärken, da diese einer erheblich höheren Ausbreitungsdämpfung (Absorption) unterliegen.

Die Bezeichnung ‚Delay‘ (verzögern) kommt von der Zeitverzögerung, mit der sie angesteuert werden, um die Zeitdifferenz zwischen der Schallausbreitung der von der Hauptbeschallung einfallenden Welle mit der von der Delay – Station einfallenden auszugleichen.

Delay – Lautsprecher werden dann eingesetzt, wenn die Hauptbeschallungsanlage die erforderliche Leistung zur Beschallung nicht aufbringen kann oder dadurch die Lautstärke im Nahbereich der Bühne (wegen des das Gehör schädigenden Lärms) oder aber bei der schutzbedürftigen Nachbarschaft zu hoch wäre. Ihr Einsatz ist im letzteren Fall eine Maßnahme zur Minderung der Lärmbelastung der schutzbedürftigen Nachbarschaft.



Bild 2: Ansicht einer Bühne, auf der die Monitore hinter den Akteuren stehen (die im Hintergrund stehenden „normalen“ Lautsprecher sind die Monitore für den Schlagzeuger)

Während die oben erwähnten Lautsprecher der Beschallung der Zuhörer dienen, die Techniker bezeichnen diesen Teil auch als PA (Abkürzung von ‚public address‘ -> Öffentlichkeit), dienen die so genannten Monitore (siehe Anlage A 4) ausschließlich den Bühnenakteuren als Kontrollgerät zum Mithören der Gesamtdarbietung bzw. von Teilbereichen. Überwiegend werden diese Monitore, die auch mit dem englischen Ausdruck ‚wedges‘ wegen ihrer Keilform benannt werden, auf der Bühnenvorderkante aufgestellt, so dass die Hauptabstrahlung in Richtung des hinteren Bühnenraumes erfolgt. Durchaus nicht unüblich ist auch eine Aufstellung der Monitore im Rücken der Bühnenakteure, so dass die Schallausbreitung hauptsächlich in Richtung des Zuschauerraums erfolgt (siehe Bild 2).

Das „in ear“ – Monitoring ist eine andere Variante der akustischen Kontrolle. Es erlaubt dem Musiker, der diese Klein – Lautsprecher (ähnlich einem Hörgerät) im oder am Ohr trägt, die Kontrolle der Musik ohne den Einsatz von Monitor – Lautsprecherboxen. Die Signalübertragung vom Verstärker oder Mischpult zu den „in ear - Monitoren“ geschieht drahtlos per Funk. Da dadurch der Einsatz der sonst notwendigen Lautsprecher – Monitore minimiert wird, kann dies zur Minderung der Lärmbelastung der schutzbedürftigen Nachbarschaft beitragen.

3.3 Lautsprecherkenngrößen

Von Interesse sind die für die Berechnung der Schallimmissionen wichtigen Lautsprecherkenngrößen. Diese sind

- der Kennschallpegel L_K ,
- der maximale axiale Schalldruckpegel,
- der Frequenzgang des Wandlersystems
- die Richtcharakteristik der Schallabstrahlung und
- der Schalleistungspegel L_w .

- Kennschallpegel L_K (engl. Bezeichnungen: Axial Sensitivity) in dB bei 1m,1W

Der Kennschallpegel (auch als (axiales) Empfindlichkeitsmaß bezeichnet) ist der über einem bestimmten Frequenzbereich gemittelte und auf der Bezugsachse (Wirkbereichsachse) in einem Abstand von 1m vom akustischen Zentrum und bei einer elektrischen Anregung des Systems P_{el} von 1 Watt gemessene Schalldruckpegel in dB /6/. Der Frequenzbereich, über den die Mittelung erfolgte, wird (meist) in den Datenblättern angegeben.

Diese Lautsprecherkenngröße wird im Direktfeld (freies Schallfeld ohne Reflexionsanteile) messtechnisch ermittelt. Abweichungen von dieser Vorgehensweise werden in den Datenblättern des jeweiligen Herstellers ausdrücklich vermerkt.

Beispiele für den Kennschallpegel zeigt die Anlage A 1 (Sensitivity 1W/1m = 108 dB), die Anlage A 4 (Empfindlichkeit 1W/1m = 106 dB) und die Anlage A 5 (Axial Sensitivity [dB SPL/1 Watt/1m] LF = 102, MF = 112, HF = 115). Für die in den Anlagen A 2 und A 3 abgebildeten Lautsprecher fehlen die Angaben zum Empfindlichkeitsmaß in den Datenblättern.

Anmerkung: SPL = sound pressure level; LF = low-frequency; MF = mid-frequency, HF = high-frequency

- Maximaler (axialer) Schalldruckpegel in 1m in dB (engl.: calculated maximum output) $SPL_{(0=0^\circ, d=1m)}$ in dB

Er ist die Summe aus dem Kennschallpegel L_K in dB und dem Wert $10 * \lg (P_{el})$ in dB.

$$\begin{aligned} \blacksquare \quad & SPL_{(0=0^\circ, d=1m)} = L_K + 10 * \lg (P_{el}) \text{ in dB.} \quad (3.1) \\ & P_{el} \text{ in Watt ist die (vom Hersteller vorgegebene) elektrische Anschlussleistung.} \end{aligned}$$

Diese Kenngröße beschreibt den auf der Wirkbereichsachse in 1 m Abstand vom akustischen Zentrum kurzzeitig (peak) oder über einen vorgegebenen längeren Zeitraum (long term) maximal erreichbaren Schalldruckpegel.

Der Wert für „peak“ ist der Pegel, der maximal und nur kurzzeitig erreichbar ist. Er ist der Systemgrenzpegel /6/. Beim Überschreiten dieses Pegels (bei einem schmalbandigen Signal ebenso wie bei einem breitbandigen) schaltet in der Regel ein Limiter (Begrenzer), um eine thermisch/mechanische Zerstörung der Anlage zu verhindern.

Die in den Datenblättern verwendeten Begriffe wie ‚long term maximum‘ oder auch ‚Nominalleistung‘ bzw. ‚nominale Belastbarkeit RMS‘ beschreiben die elektrische Belastbarkeit, mit der der Lautsprecher über eine längere Zeit angesteuert werden kann. Der Zeitraum ‚längere Zeit‘ wird von den Herstellern, falls überhaupt, unterschiedlich definiert (mehrere Minuten bzw. Stunden).

Die Differenz zwischen dem ‚peak – Pegel‘ und dem ‚long term – Pegel‘ wird in den Datenblättern der Hersteller in der Regel mit 6 dB ausgewiesen. Bezogen auf die elektrische Anschlussleistungen P_{el} bedeutet dies, dass die elektrische Leistung beim ‚peak – Pegel‘ um den Faktor 4 größer ist als die, welche für den ‚long term – Pegel‘ notwendig ist.

Die Differenz zwischen dem ‚peak – Pegel‘ und dem ‚long term – Pegel‘ kann als Übersteuerungsbereich (Headroom) im Übertragungskanal oder als Teil des Headrooms betrachtet werden. Nach Ahnert u. Steffen /6/ wird ein Headroom von 10 dB angestrebt.

Anmerkung: Im Rahmen unserer Untersuchung durchgeführte Interviews mit Tontechnikern ergaben Übersteuerungsbereiche zwischen 6 dB und 10 dB. Die Fa. Meyersound gibt einen Headroom von 12,5 dB für übliche Musikübertragungen an, ohne dass ein Begrenzer aktiv einwirken muss.

Beispiele für die Angaben der Hersteller zu dem maximalen axialen Schalldruckpegel sind in der Anlage A 1 (peak SPL [1m]: > 138 dB), der Anlage A 2 (maximum SPL: >140 dB SPL peak, 1m), der Anlage A 4 (Maximaler Schalldruck /1m = 132 dB) und der Anlage A 5 (calculated maximum output: LF peak = 141 dB, LF long term 135 dB usw.) aufgeführt.

Anmerkung: Es ist ersichtlich, dass keineswegs jeder Hersteller Angaben zu jeder hier angeführten Kenngröße macht (siehe Anlage 3). Darüber hinaus sollten diese Angaben auch kritisch betrachtet werden, da z. T. auch aus Werbegründen bewusst möglichst die hohen Pegelwerte in den Vordergrund gestellt werden.

Die Abhängigkeit des Empfindlichkeitsmaßes $1W/1m$ von der Frequenz wird durch den

- Frequenzgang des Wandlersystems (engl.: frequency response) beschrieben. Mittels des Frequenzganges kann der Frequenzbereich eines Lautsprechers ermittelt werden, der effektiv für die Signaltransformation nutzbar ist.

Beispiele für den Frequenzgang zeigt die Anlage A 1. Abgebildet sind der Frequenzgang für die im Lautsprecher eingesetzten Mitteltöner, welche den mittleren Frequenzbereich abdecken (Bild ‚GAE Director Top mid – range‘) und für den Hochtöner (Bild ‚GAE Director Top high – range‘). Der Frequenzgang für die Mitteltöner ebenso wie für die Hochtöner zeigt, dass das im Datenblatt angegebene Empfindlichkeitsmaß (108 dB $1W/1m$) ein Mittelwert ist, und dass der Abfall außerhalb des angegebenen Bereiches erheblich ist. Im gegebenen Beispiel fällt das Empfindlichkeitsmaß bei Frequenzen < 200 Hz und >18 kHz steil ab. Auch der Gangverlauf innerhalb des Frequenzbereiches von 200 Hz bis 18 kHz ist nicht linear, sondern Schwankungen von mehreren dB unterworfen. Am Beispiel wird der enge Zusammenhang zwischen dem oben angeführten Emissionspegel (axialer Schalldruckpegel in 1m Abstand $L_{(\theta=0^\circ), r=1m}$) und dem Frequenzgang deutlich, denn dieser Emissionspegel ist direkt proportional dem Empfindlichkeitsmaß $1W/1m$ (Proportionalitätsfaktor ist der Wert $10 * \lg(P_{el})$). Durch die geringer werdende Empfindlichkeit bei Frequenzen unterhalb von 200 Hz und oberhalb von 18 kHz ist deren Anteil am Emissionspegel unbedeutend.

Weitere Beispiele für den Frequenzgang von Lautsprechertypen sind in der Anlage A 6 abgebildet.

- Richtwirkungsmaß in dB (directivity index) DI in dB beschreibt als Verhältnismaß die Verteilung der Sende - Schallenergie im Raum.

Für eine Frequenz oder ein Frequenzband f gibt das Richtwirkungsmaß DI an, um wie viel dB der Schalldruckpegel der Schallquelle in der betrachteten Ausbreitungsrichtung θ von dem einer ungerichteten Punktschallquelle gleicher Schallleistung und gleichem Abstand abweicht /6/, /7/.

Das Richtwirkungsmaß berechnet sich zu $DI(\theta) = 20 \lg(\Gamma(\theta))$ dB, wobei der Richtwirkungsfaktors $\Gamma(\theta)$ für eine bestimmte Frequenz oder ein bestimmtes Frequenzband f das Verhältnis des Schalldrucks p , der unter einem Winkel θ gegen die Bezugsachse abgestrahlt wird, zum Schalldruck p_0 , der auf der Bezugsachse (Wirkbereichsachse) im gleichen Abstand vom akustischem Zentrum erzeugt wird /6/, beschreibt.

$\Gamma(\theta) = p(\theta)/p_0$.

$\Gamma(\theta)$ ist im Allgemeinen ≤ 1 und damit DI in der Regel ≤ 0 dB.

Viele Hersteller der Lautsprecherboxen liefern Angaben zu Richtcharakteristik ihrer Lautsprecherboxen für die Horizontal- und z. T. auch für die Vertikalebene in Form von Polardiagrammen bzw. als Tabellenausdruck.

Beispiele für die Richtwirkung der Lautsprecher und deren Abhängigkeit von der Frequenz zeigen die Anlagen A 6-2 und A 6-3, in denen für die Oktaven von 125 Hz bis 8 kHz das Richtwirkungsmaß DI für die Horizontalebene in Form von Polardiagrammen abgebildet ist. Evident ist, dass mit abnehmender Frequenz die Schallbündelung geringer wird. Generell gilt, dass bei Frequenzen $f \leq 100$ Hz keine Richtwirkung mehr vorhanden ist, d. h. $DI = 0$ dB für $f \leq 100$ Hz. Ausnahmen von dieser Regel sind speziell konstruierte Bass – Lautsprecherboxen z. B. der Firmen Meyersound (siehe Anlage A 7) oder Nexo (GEO CD12).

Als Lautsprecher – Kenngröße wird in den Datenblättern häufig der Abstrahlwinkel Ψ (engl.: nominal coverage angle/ -6dB points) angegeben. Er gibt den Raumwinkelbereich (in Grad) an, in dem in der Betrachtungsebene das Richtungsmaß um höchstens 6 dB gegenüber dem Bezugswert (auf der Wirkungsbereichsachse) abfällt.

In der Beschallungstechnik berechnet sich der Schallleistungspegel L_w zu

$$L_w = L_k + 10 \lg(P_{el}) - C + 11 \text{ dB}, \quad (3.2)$$

mit C ist als Bündelungsmaß in dB.

Bei ungerichteter Schallabstrahlung ist $C = 0$ dB.

Im Allgemeinen liegen von den Herstellern der Lautsprecher bzw. Lautsprecherboxen keine Angaben zum Schallleistungspegel L_w und auch keine zum Bündelungsmaß C vor.

3.4 Lautsprechergruppen (Schallzeilen)

3.4.1 Grundlagen

Im Lärmschutz werden üblicherweise dann, wenn die an einem Immissionsort zu prognostizierenden Lärmimmissionen durch mehrere Schallquellen verursacht werden, deren Immissionsanteile energetisch addiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich die Geräuschspektren der einzelnen Immissionsanteile erheblich unterscheiden. Das heißt, die Signale der unterschiedlichen Quellen haben keine definierte Phasenbeziehungen (inkohärente Signale). Dies ist sicherlich beim Gewerbelärm und Verkehrslärm die Regel.

Es ist bei diesen Bedingung (die energetische Summe)

$$L_{\text{Gesamt}} = 10 \lg (10^{0,1 * L_1} + 10^{0,1 * L_2} + \dots + 10^{0,1 * L_n}). \quad (3.3)$$

Bei Lautsprecheranlagen differieren die Geräuschspektren der einzelnen Lautsprecher dann, wenn die Eingangssignale unterschiedlich sind. Das ist z. B. der Fall, wenn ein Lautsprecher (oder eine Gruppe von Lautsprechern) von einem eingespielten Signal (z. B. CD) gespeist wird, der andere Lautsprecher (oder eine Gruppe) mit einem Signal, das z. B. von einem Mikrofon kommt. Das trifft auch dann zu, wenn bestimmte Lautsprecher oder Lautsprechergruppen unterschiedliche Frequenzbereiche des Gesamtsignals abstrahlen (wenn z. B. bei Lautsprecheranlagen die tiefen Frequenzanteile ausschließlich den Bassboxen zugeführt werden). Der Einsatz von so genannten Low- bzw. Highpässen ermöglicht eine relativ scharfe Frequenztrennung.

Bei diesen oben aufgeführten Gegebenheiten ist bei einer Verknüpfung von zwei oder mehreren Immissions- bzw. Emissionsanteilen von inkohärenten Signalen auszugehen und die Gl. 3.3 zu nutzen (siehe oben).

Bei einer **Lautsprechergruppe** die aus zwei oder mehreren räumlich eng aneinanderpositionierten Lautsprecherboxen besteht und bei der die Boxen

- von einem identischen elektrischen Eingangssignal gespeist werden und
- ein identisches akustisches Ausgangssignal erzeugen (gleicher Frequenzbereich, Phasengleichheit und in der Regel gleiche Amplitude).

unterliegt die Bildung des akustischen Gesamtsignals anderen Bedingungen.

In der Regel werden diese Anforderungen an eine Gruppe von Lautsprecherboxen gleichen Fabrikats und Typs erfüllt, wie sie zum Beispiel bei so genannten Line Arrays verwendet werden. Aber auch simpel übereinander gestapelte (oder nebeneinander gestellte) Lautsprecherboxen sind, bei Einhaltung obiger Randbedingungen, eine Lautsprechergruppe (auch als Schallzeile bezeichnet) im Sinne obiger Definition.

Bei solchen Bedingungen (stationäre Interferenzerscheinungen zwischen den Wellen [Kohärenz]) ist davon auszugehen, dass in einer ausreichend großen Entfernung zu der Lautsprechergruppe und senkrecht zu ihrer Anordnung die Einzelsignale die gleiche Phasenlage aufweisen (Phasenunterschied zwischen den Wellen gleich 0°).

Der Gesamt - Immissionspegel wird dann nicht durch die energetische Addition sondern durch eine Schalldruckaddition ermittelt.

Es ist bei Phasengleichheit der Schallwellen der Immissionspegel

$$L_{\text{Gesamt}} = 20 \lg (10^{0,05 \cdot L_1} + 10^{0,05 \cdot L_2} + \dots + 10^{0,05 \cdot L_n}). \quad (3.4)$$

Das bedeutet, dass bei Einhaltung der oben angeführten Randbedingungen der Immissionspegel zweier als Lautsprechergruppe einzuordnender Lautsprecherboxen mit gleichem Schalleistungspegel um 6 dB höher ist als derjenige, den nur eine der beiden Lautsprecherboxen erzeugt.

Phasengleichheit besteht dann, wenn am Immissionsort die zwischen den Schallwellen der einzelnen Lautsprecherboxen der Gruppe vorhandenen Laufzeitdifferenzen gegen Null gehen. Das ist im so genannten **„Fernfeld“** der Fall, da mit zunehmender Entfernung von der Lautsprechergruppe die Laufzeit- und damit die Phasendifferenzen zwischen den von den einzelnen Lautsprecherboxen emittierten Schallwellen kleiner werden, so dass die Interferenzen (Schallwellenüberlagerungen) ausschließlich eine Amplitudenverstärkung bewirken.

Im Fernfeld gilt:

- Additionsgesetz nach Gl. 3.4 (6 dB – Zunahme bei zwei gleichen Pegeln) und
- bei der geometrischen Ausbreitungsdämpfung die Reduzierung des Schallpegels um 6 dB je Entfernungsverdopplung.
- Beginn des Fernfeldes: siehe weiter unten die Gl. 3.5 bzw. 3.6.

Im so genannten **„Nahfeld“**, das ist der zwischen der Lautsprechergruppe und dem Beginn des Fernfeldes gelegene Ausbreitungsraum, sind die Phasenbeziehungen zwischen den Schallwellen differenzierter. Das heißt, die Phasenbeziehungen zwischen den Schallwellen differieren ortsbezogen zum Teil erheblich, wobei der eher destruktive Charakter der Interferenzen mit zunehmender Annäherung an das Fernfeld abnimmt.

Mark S. Ureda vom Hersteller des Line Arrays VerTec, der Fa. JBL Professional, schreibt im AES Convention Paper, Amsterdam 2001, dass im Nahfeld der Line Arrays die Schalldruckpegel wellenförmig verlaufen („undulates“) und nominal mit 3 dB pro Entfernungsverdopplung abnehmen /9/. Auch im ASE Convention Paper, Los Angeles 2002, in dem er auch die neue Generation der Line Array - Lautsprechersysteme einbezieht, wiederholt er die obige Definition zum Verlauf des Schalldruckpegels im Nahfeld /10/.

D. Scheirmann stellt im AES Convention Paper, St. Petersburg 2002, Untersuchungen über den Einsatz von VerTec – Line Arrays bei drei Veranstaltungen vor, wobei auch für bestimmte

Entfernungsbereiche die Schallpegelverläufe abgebildet sind /21/. Bei allen vier dargestellten Entfernungsbereichen, die das Nahfeld sowie den Übergang zum Fernfeldbereich abbilden, sind die wellenförmigen Schallpegelverläufe im Nahfeldbereich ausgeprägt.

In /24/ u. /25/ wird zu Line Arrays ausgesagt, dass sich der Schall innerhalb des Nahfeldes als zylindrische Welle ausbreitet, die dann im Fernfeld in eine sphärische Welle übergeht. Die physikalisch untermauerte Begründung, woher die Schallenergie kommen soll, die eine zylindrische Welle beim Übergang in das Fernfeld so beeinflusst, dass deren Ausbreitung in eine sphärische ausgelenkt wird, wird jedoch weder in /24/ noch in /25/ gegeben.

Mark Engebretson, JBL Professional, schreibt im AES Convention Paper, New York 2001, /22/ zur Richtwirkung von Line Arrays, dass diese nicht von ‚irgendeinem mysteriösen zylindrischen Abstrahlungsvermögen‘ (‚some mysterious cylindrical radiation properties‘) bestimmt wird.

Im Technischen Report des Fa. Meyersound (Line Arrays: Theorie, Fact and Myth) /23/ wird ‚als verbreitetes Missverständnis die Annahme bezeichnet, dass Line Arrays die magische Fähigkeit besitzen, Schallwellen so zu kombinieren, dass daraus eine einzelne zylindrische Welle mit einer speziellen Ausbreitungscharakteristik wird‘, wobei die rhetorische Frage, ob Line Arrays eine zylindrische Welle formen können, mit einem eindeutigen „nein“ beantwortet wird.

In den Anlagen A 8-1 (Schallpegelverlauf für die Frequenz 10 kHz für drei verschieden lange Linienanordnungen gleicher Lautsprecher. Quelle: UREDA /9/), A 8-2 (normierter Schallpegelverlauf bei drei verschiedenen Frequenzen, Länge der Linienanordnung 4 m, auf der Wirkbereichsachse der Gruppe gemessen, Quelle: UREDA /9/) und A 8-3 (normierter Schallpegelverlauf bei 8 kHz, Länge der Linienanordnung 4 m, auf der Wirkbereichsachse der Gruppe und auf der Endpunktachse gemessen, Quelle: UREDA /10/) sind deutlich die oben erwähnten (wellenförmigen) Unregelmäßigkeiten bei den Ausbreitungsverlusten im so genannten Nahfeld zu erkennen.

Beispielrechnungen zum Nah- und Fernfeldbereich und die Diskussion deren Ergebnisse sind im Abschnitt 3.4.2 aufgeführt.

Im Nahfeld gilt:

- Bei den Schallpegelverläufen in Abhängigkeit von der Entfernung treten erhebliche Schwankungen auf, wobei im Mittel (gemittelt über die Entfernungsdistanz zwischen der Emissionsquelle und dem Beginn des Fernfeldes) etwa eine Reduzierung des Schallpegels um 3 dB je Entfernungsverdopplung zu erwarten ist (ohne Berücksichtigung der Absorption).

Distanz zum Beginn des Fernfeldes:

Die Distanz auf der Wirkbereichsachse r_F einer Liniengruppe (Line Array), bei der das Fernfeld beginnt, ist abhängig von der Frequenz und der Länge der Lautsprechergruppe.

Als Kriterium für den Übergangspunkt F zum Fernfeld (auf der Wirkbereichsachse) wird der Punkt angesehen, bei dem nach /9/ die Distanz $r_F = r' - \lambda/4$ ist

λ ...Wellenlänge.

Dieser Punkt wird auch als ‚kritische Distanz‘ bezeichnet.

Das Bild 3 veranschaulicht dies.

Nach /9/ ist die Distanz r_F , bezogen auf die Wirkbereichsachse der Gruppe, bei der das Fernfeld beginnt

$$r_F \approx L^2 * f/700 \quad (3.5)$$

mit f ... Frequenz in Hz,

L ... Gesamtlänge der Lautsprechergruppe (bzw. des Line Arrays) in m.

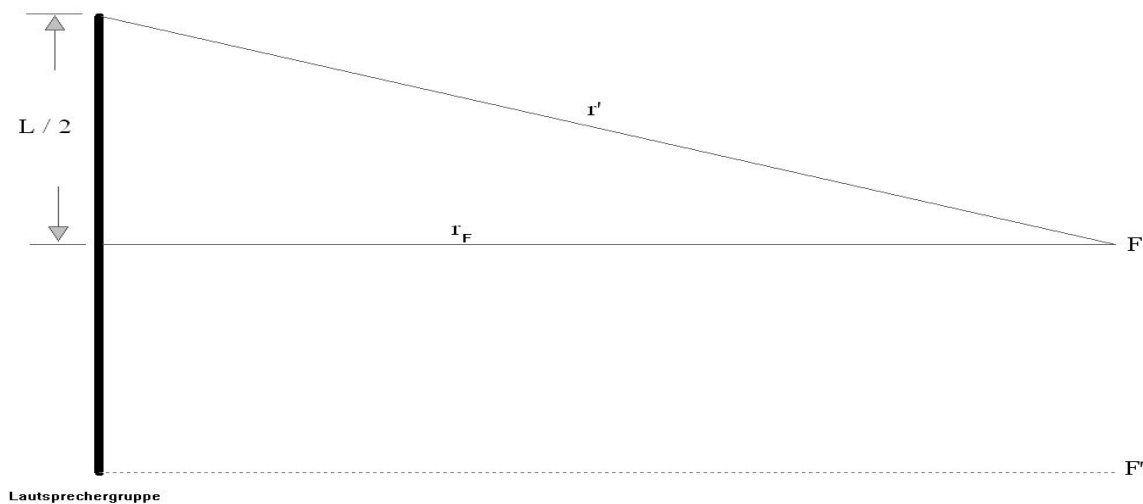


Bild 3: Geometrische Konstruktion der Fernfelddistanz (nach /8/)

Demnach nimmt die Distanz, bei der das Fernfeld beginnt, mit dem Quadrat der Länge der Lautsprechergruppe und mit der Frequenz zu. Das ist ja auch aus den Grafiken in den Anlagen A 8-1 und A 8-2 abzulesen.

Beispielsweise beginnt bei einer Länge eines Arrays von 3m und der Frequenz 4 kHz das Fernfeld (in Höhe der Wirkbereichsachse des Arrays) bei etwa 51 m, bei 500 Hz schon bei ca. 6 m.

Die Distanz des Beginns des Fernfeldes vergrößert sich, wenn die Bezugsachse aus der Mitte in Richtung des Endpunktes der Lautsprechergruppe verlagert wird (siehe Bild 3, Punkt F').

Nach /10/ ist die Distanz $r_{F'}$, bezogen auf die durch den Endpunkt der Lautsprechergruppe führende Achse, bei der das Fernfeld beginnt

$$r_{F'} \approx 0,006 * L^2 * f \quad (3.6)$$

mit f ... Frequenz in Hz,

L ... Gesamtlänge der Lautsprechergruppe (bzw. des Line Arrays) in m.

Für das oben angeführte Beispiel (3 m Array, 4 kHz) beginnt das Fernfeld für einen auf Höhe des unteren Endes des Arrays stehenden Beobachter (Im Bild 3 der Punkt F') erst bei ca. 216 m. Dies ist eine erhebliche Vergrößerung des Nahfeldbereiches. Graphisch ist das in der Anlage A 8-3 ausgewiesen. Dort ist der Schallpegelverlauf eines 4 m langen Arrays bei 8 kHz einmal auf der Mittelachse und zum Vergleich der auf der Endpunkt – Achse aufgezeichnet. Erwartungsgemäß überdecken sich beide Kurven ab einer bestimmten Entfernung. Bei beiden Kurven sind deutlich die relativ großen Schwankungsbreiten auszumachen, die der Schallpegelverlauf im Nahfeld unterliegt.

Richtcharakteristik von Lautsprechergruppen:

Allgemein gilt, dass die Richtwirkung eines Schallwandlers vom Verhältnis zwischen den Abmessungen des Wandlers und der Wellenlänge des Schalls λ abhängt. Je kleiner die Wellenlänge im Vergleich zur Wandlerabmessung, desto größer ist die Richtwirkung. Bei linienförmig angeordneten Lautsprechergruppen (in der Literatur auch als Schallzeilen bezeichnet) wie z. B. Line Arrays kann vereinfacht die Länge der Gruppenanordnung als Wandlerlänge betrachtet werden. Damit vergrößert sich die Richtwirkung (in der Ebene, deren eine Achse die Längsachse der Gruppe ist) einer Lautsprechergruppe mit deren Längenzunahme. Ein senkrecht positioniertes Array, das aus gleichen Modulen besteht, hat demnach eine höhere Richtwirkung (bzw. stärkere Bündelung) in der Ebene der Vertikalachse als die des Einzelmoduls, während die Richtwirkung in der Horizontalebene zu mindest im Fernfeld die gleiche wie die des Einzelmoduls ist.

3.4.2 Beispiele zum Nah- und zum Fernfeldbereich von Lautsprechergruppen (Schallzellen)

Zur besseren Veranschaulichung und zur Untermauerung der Darlegungen im Abschnitt 3.4.1 wurden Beispielrechnungen durchgeführt, deren Ergebnisse die Anlagen A 9 bis A 11 zeigen. Genutzt wurde die Software MAPP – Online™ der Fa. Meyer Sound Laboratories Inc. /11/ (die Berechnungen werden dabei von einem Großrechner der Firma durchgeführt, die Kommunikation Auftraggeber - Großrechner erfolgt online), mit der die Schallausbreitung der Meyersound M1D – und M3D – Arrays (auf der Basis der Phasenbeziehungen) berechnet wurde. Diese Vorgehensweise sichert eine bestmögliche Modellierung. Dazu kommt, dass bei dieser Software der Frequenzbereich 16 Hz – 100 Hz auch berechnet wird (dies ist z. B. bei den Software – Programmen EASE /1/ und Ulysses /2/ nicht der Fall).

Nach Angaben von Meyersound basiert der von der Software für die Terzen ausgewiesene Pegelwert auf dem Emissionspegel „ $L_{Kf} + 10 * \lg (P_{el, f (long\ term)})$ “. Die Lautsprecher werden mit rosa Rauschen angeregt. Nach Firmenangaben liegt wegen der über das Gesamtspektrum erfolgten Anregung der berechnete Peak – Wert (maximaler Schalldruckpegel, der kurzzeitig erreicht werden kann) etwas unter den Werten, die in den Datenblättern angegeben werden. Für die Lautsprecherbox M1D werden im Datenblatt für den Parameter ‚Maximum Peak‘ = 125 dB/1m angegeben, für die Lautsprecherbox M3D 145 dB. Bei den Beispielrechnungen für die Lautsprecherbox M1D liegt der berechnete Spitzenpegel um 3,8 dB unter dem im Datenblatt ausgewiesenen Wert, der für die Lautsprecherbox M3D um 3,2 dB.

Meyersound hat die Differenz zwischen den berechneten Peak – Werten und dem durchschnittlichen Langzeit - Maximum (long term) bei allen Berechnungen auf 12,5 dB (Headroom) festgelegt.

Bei Lautsprechergruppen kann mit dieser Software nur das im Vertikalschnitt gelegene Schallfeld berechnet werden, bei den Einzelboxen auch das im Horizontalschnitt gelegene.

Die Ergebnisse liegen für die einzelnen Terzen als unbewertete Pegel vor.

Bei den Berechnungen für die Terzen wurde nur die geometrische Dämpfung berücksichtigt, Absorption, Reflexionen einschließlich Bodenreflexion und Beugungen jedoch nicht. Dadurch können die Auswirkungen der oben angesprochenen Effekte bezüglich der geometrischen Dämpfung im Nah- und im Fernfeld besser erkannt werden.

Bei den Summenpegeln wurden zusätzlich die Pegel berechnet, die sich bei der Berücksichtigung der Absorption ergeben.

Beispiele für den Schallpegelverlauf auf der Mittelachse (Haupt – Wirkungsbereichsachse) von Lautsprechergruppen:

1. Beispiel Meyersound M1D – Array:

Die in der Anlage A 9 aufgeführte Tabelle zeigt am Beispiel unterschiedlich langer Arrays, die aus den Lautsprecherboxen M1D der Fa. Meyersound zusammengestellt sind, die Auswirkungen dieser oben angeführten Nahfeld - Problematik. Berechnet wurden die Schallpegel auf der Wirkungsbereichsachse (Mittelachse) der jeweiligen Lautsprechergruppe für die Entfernungen von 16m, 32m, 64m, 132 und 256 m. Die drei untersuchten Line Arrays bestehen aus 4, 8 bzw. 16 M1D – Boxen. Die M1D – Boxen sind relativ flach, so dass das 16 – Modul Array eine Gesamtausdehnung von nicht mehr als 3 m hat. Der Neigungswinkel zwischen den einzelnen Boxen beträgt 0° (geradlinig, und senkrecht übereinander). Zum Vergleich sind die Pegel einer einzelnen M1D - Box und von zwei senkrecht übereinander stehenden M1D - Boxen berechnet worden.

Die für die einzelne M1D – Box und die Entfernung 1m ermittelten unbewerteten Terz - Schallpegel sind praktisch identisch mit dem Emissionspegel „ $L_{Kf} + 10 * \lg (P_{el, f (long\ term)})$ “, der den Berechnungen zu Grunde liegt (siehe Tabelle A 9, Spalte 2, Entfernung $s = 1m$). Wobei berücksichtigt werden muss, dass Meyersound den Headroom (Differenz zwischen Spitzenpegel

und der durchschnittlichen maximalen Belastbarkeit) mit 12,5 dB angesetzt hat und zusätzlich der berechnete Spitzenpegel unter dem des Datenblattes liegt. Der Betrag für den unbewerteten Summenpegel `Peak` beträgt 121,2 dB und liegt, wie oben erwähnt, um 3,8 dB unter dem im Datenblatt mit 125 dB angegebenen Betrag für den „Maximum Peak SPL“.

Die in der Tabelle, Anlage A 9, kursiv und rot ausgedruckten Daten bezeichnen die im Nahfeld liegenden Positionen.

Die Auswertung (der Tabelle A 9, Anlage) zeigt folgendes:

- Im Fernfeld erhöhen sich bei Verdopplung der Anzahl der Lautsprecherboxen pro Array die Pegel um 6 dB. Die Zweierboxen – Kombination hat bei der Entfernung 32 m erwartungsgemäß und der GL. 3.4 folgend bei allen Terzen und bei den Summenpegeln einen um 6 dB höheren Pegel als die Einzelbox (Spalten 4 und 5 der Anlage A 9). Beim Array mit 4 Boxen (Länge des Arrays 0,75 m) bedeutet die Entfernung von 32 m schon das Fernfeld, alle Terzenpegel liegen erwartungsgemäß um 12 dB über dem jeweiligen Wert der Einzelbox.
- Bei dem 3 m langen Array (16 Boxen) und der Entfernung 32 m liegen die Frequenzen ab 1,25 kHz und höher noch im Nahfeld, bei dem 1,5 m langen Array (8 Boxen) sind das die ab 5 kHz. Nach der Gleichung 3.9 liegt der berechnete kritische Punkt für diese beiden Frequenzen bei 16 m. Im Nahbereich liegen die Pegeldifferenzen bei Verdopplung der Anzahl der Lautsprecherboxen unter dem Wert von 6 dB.
- Im Fernfeld nehmen die Pegel bei Entfernungsverdopplung um den Wert 6 dB ab (im Nahfeld liegen die Werte bei den betrachteten Beispielen unter diesem Betrag).
- Der im Fernfeld für die jeweilige Terz ermittelte Pegelwert, reduziert um den Betrag der geometrischen Dämpfung ($10 \lg s^2$), ergibt den Emissionspegel „ $L_{Kf} + 10 * \lg (P_{el \text{ (long term)})$ “ für die jeweilige Anlage und den Terzbereich. Diese Werte stimmen überein mit denen, die sich über eine Berechnung nach GL. 3.4 aus den Emissionspegeln der Einzelboxen und der Anzahl der Boxen des Arrays ergeben. Die gleiche Vorgehensweise mit Werten aus dem Nahfeld ergibt unkorrekte Ergebnisse. Das heißt, dass die Werte für die so ermittelten Emissionspegel zu niedrig sind.
- Demnach sind Rückschlüsse, die aus Messungen im Nahfeldbereich auf die Emissionswerte einer Anlage oder auf die Immissionen außerhalb des Nahfeldes gelegener Immissionsorte gezogen werden (eine im Lärmschutz nicht seltene Vorgehensweise), mit mehr oder weniger großen Fehlern behaftet.
- Die Untersuchungsergebnisse bestätigen auch die Aussage, dass die Besonderheiten der Schallausbreitung im Nahfeld keinesfalls auf die (irrtümliche) Annahme zurückzuführen sind, dass diese Arrays Zylinderwellen erzeugen.

2. Beispiel Meyersound M3D – Array:

Die M3D – Arrays sind das gegenwärtig neueste Produkt der Fa. Meyersound zur Beschallung mittlerer und großer Veranstaltungen. Die Boxen sind gegenüber den M1D - Boxen leistungsstärker und in ihren Abmessungen auch größer (Höhe der Box = 508 mm). Die M3D – Lautsprecherboxen decken den Frequenzbereich von 35 Hz bis 16 kHz ab. Als maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]) werden 145 dB angegeben. Bestückt ist die Box mit vier 15“ - und zwei 4“ – Lautsprechern. Zwei der vier 15“ – Lautsprecher strahlen nach hinten ab. Durch Phasenmanipulation wird erreicht, dass die nach hinten abgestrahlte Schallenergie erheblich reduziert, die nach vorn abgestrahlte Energie jedoch verstärkt wird.

Die in der Anlage A 10 aufgeführte Tabelle zeigt am Beispiel unterschiedlich langer Arrays und für verschiedene Entfernungen die Immissionswerte.

Folgendes ist auffallend:

Prognose musikalischer Freiluftveranstaltungen

- Im Fernfeld erhöhen sich auch bei den M3D – Arrays bei Verdopplung der Anzahl der Lautsprecherboxen pro Array die Pegel um 6 dB und die Pegel nehmen bei Entfernungsverdopplung um den Wert 6 dB ab.
- Im Nahfeld, dass bei diesen Arrays wegen ihrer im Vergleich zum M1D Array erheblich größeren Ausdehnung doch erheblich weiter reicht, sind erwartungsgemäß die Pegel bei Verdopplung der Anzahl der Lautsprecherboxen pro Array z. T. erheblich kleiner als 6 dB und die geometrischen Ausbreitungsverluste folgen auch hier erwartungsgemäß nicht der 6 dB – Regel bei Abstandsverdopplung. Als Beispiel sei hier die die 4 kHz – Terz bei dem 8 – Boxen Array angeführt. Bei einem Abstand von 32 m wurde ein Immissionspegel (ohne Dämpfungseinfluss) von 94,5 dB ermittelt und für die Entfernung 64 m ein Pegelwert von 96 dB, d. h., der Pegel ist trotz der Abstandszunahme um 1,5 dB höher.
- Bei der Entfernung von 32 m liegen bei dem 4 Boxen – Array noch die Frequenzen 2 kHz und größer im Nahfeld, beim 8 Boxen – Array die Frequenzen 500 Hz und größer und beim 16 Boxen – Array die Frequenzen 200 Hz und größer. Die unbewerteten Summenpegel der drei Arrays liegen bei der Entfernung 32 m um den Betrag 0,6 dB (4 Boxen – Array), 2,2 dB (8 Boxen – Array) und 4,5 dB (16 Boxen – Array) unter dem Betrag, der bei einer Freifeld – Rückrechnung (theoretisch) hier vermutet würde. Diese Werte sind ein Anhalt für die Fehlerabschätzung bei Extrapolationen aus Messwerten, die im Nahbereich von Freiluftveranstaltungen durchgeführt werden, auf die Immissionsituation an entfernten Orten.
- Erwähnenswert ist, dass auch bei der Einzelbox die geometrischen Ausbreitungsverluste nicht generell dem Kugelwellentheorem folgen. Zwar nehmen die Summenpegeln bei der Einzelbox um jeweils 6 dB bei der Entfernungsverdopplung ab, bei einzelnen Terzen (z. B. bei 25 Hz, 31,5 Hz oder 40 Hz) treten aber Differenzen von bis zu +/- 1 dB auf. Das ist sicherlich dem Umstand geschuldet, dass die Einzelbox auch aus mehreren Schallstrahlern besteht, die im Falle der zwei nach hinten abstrahlenden 15“ – Lautsprecher auch noch einer Phasensteuerung unterliegen.
- Bemerkenswert ist, dass die Immissionspegel der M3D – Arrays auch im Fernfeldbereich nicht exakt der Schalldruckpegel – Addition entsprechend GL. 3.4 folgen (als Summe der Anteile der Einzelboxen). In der Anlage A 10 kann dies am Beispiel der Entfernung 512 m nachvollzogen werden. Der A – bewertete Gesamtpegel (ohne Dämpfung) folgt zwar mit den Werten für 1 Box = 73 dB(A), 2 Boxen = 79 dB(A), 4 – Boxen Array = 85 dB(A) und 8 – Boxen Array = 91dB(A) der 6 dB – Zunahme entsprechend GL. 3.4 (das 16 – Boxen Array liegt bei dieser Entfernung bei den Frequenzen 2 kHz und höher noch im Nahfeld, so dass der Gesamtpegel geringfügig unter dem Wert für eine 6 – dB – Zunahme liegt), die Differenz der unbewerteten Summenpegel der 4- und 8 – Boxen Arrays beträgt bei 86,8 dB und 92,8 dB zwar ebenfalls 6 dB, bei dem Vergleich mit dem Einzelboxwert von 75,2 dB liegt die Differenz jedoch etwas unter dem Wert des Vielfachen von 6 dB. Eine Analyse der Terzenpegel zeigt, dass dem nicht so ist. Die Differenz, die theoretisch 12 dB betragen müsste, ist im Einzelfall niedriger (z. B. bei den Terzen 31,5 Hz mit – 2,3 dB, bei 250 Hz mit –2,4 dB oder bei 100 Hz mit – 1,3 dB) oder höher (z. B. bei den Terzen 125 Hz mit +0,2 dB, bei 500 Hz mit +1,7 dB oder bei 1 kHz mit +0,9 dB), in der Summe jedoch liegt sie beim unbewerteten Pegel mit 0,2 dB niedriger. Das bedeutet letztlich, das Array erzeugt im Mittel keine höheren Immissionspegel als die (theoretische) Summe der entsprechenden Einzelboxen. Die Streubreite in den Terzbereichen liegt zwischen -2,4 dB und +1,7 dB.

Beispiel für den Schallpegelverlauf auf der Endpunkt – Achse eines Arrays:

In der Regel sind die Arrays bei Freiluftveranstaltungen so aufgehängt, dass die unterste Box 2 – 3 m über dem Auditorium hängt. Bei Schallpegelmessungen zur Überwachung der Lautstärke der Veranstaltung wird gern das Mischpult (FOH) als Standort für das Messgerät gewählt. Die Position des Messgerätes an diesem meist erhöht stehenden Standort liegt in etwa in Höhe Unterkante Array, also im Bereich der Endpunkt – Achse des Arrays. Wie aus der Anlage A 8-3 ersichtlich, verstärken sich dabei die Nahbereichseffekte.

In den Anlage A 11 sind die Ergebnisse der Berechnungen mit einem 16 Boxen M1D – Array und in der Anlage A 12 die mit einem 8 Boxen M3D – Array jeweils für die Entfernungen 16m, 32m, 64m, 128m, 256m und 512 (sowie 991m für M3D) aufgelistet. Die Schallpegel wurden hier für die längs der Endpunkt – Achse des Arrays liegenden Positionen ermittelt. Das heißt, das Messmikrofon wurde auf einer senkrecht zum linienförmig angeordneten Lautsprecher verlaufenden Geraden geführt, die den (unteren bzw. oberen) Endpunkt des Arrays tangiert.

Die Randbedingungen der Berechnungen sind die gleichen wie die bei den Berechnungen für die oben angeführten Beispiele.

Die Auswertung (der Tabellen A 11 und A 12, Anlage) ergibt folgendes:

- Das Fernfeld beginnt erwartungsgemäß und damit die GL. 3.6 bestätigend in einer erheblich größeren Entfernung als bei den Messungen auf der Wirkungsbereichsachse des Arrays.
- Im Nahfeld folgt die Pegeländerung bei einer Abstandsverdopplung keineswegs der 3 dB – Regel. So beträgt zum Beispiel beim M1D - Array bei der Frequenz 3,15 kHz die Differenz zwischen dem Messwert bei 16m Entfernung und der bei 512 m 24 dB. Das sind im Mittel 4,8 dB pro Abstandsverdopplung. Werden jedoch die einzelnen Werte betrachtet, so liegt der bei 32m gemessene um ca. 9 dB niedriger als derjenige, der für die Entfernung von 16m ermittelt wurde. Die Differenz zwischen den Werten für $s = 64$ m und $s = 128$ m beträgt dagegen nur 1 dB. Diese Ergebnisse gehen konform mit den Aussagen von UREDA /9/ bezüglich der relativ großen Schwankungsbreite des Schallpegelverlaufes im Nahbereich (siehe dazu auch die Graphik in der Anlage A 8 – 2).
- Die unbewerteten Summenpegel (nur geometrische Dämpfung) des 3 m langen 16 Boxen M1D - Arrays liegen bei der Entfernung 16 m um den Betrag 2,3 dB, bei 32 m um 3,3 dB, bei 64m um 2,3 dB, bei 128m um 1,5, bei 256m um 0,8 dB und bei 512m um 0,2 dB unter dem Betrag, der bei einer Freifeld – Rückrechnung (theoretisch) hier vermutet würde. Beim 4,2 m langen 8 Boxen M3D – Array liegen die Pegel bei der Entfernung 16 m um den Betrag 6,0 dB, bei 32 m um 4,5 dB, bei 64m 3,2 dB, bei 128m um 2,2 bei 256m um 1,4 dB und bei 512m um 0,6 dB unter dem Betrag, der bei einer Freifeld – Rückrechnung (theoretisch) hier berechnet würde.
- Bei den A - bewerteten Summenpegel liegen die Differenzen noch höher, da ja insbesondere die höheren Frequenzanteile im Nahfeld liegen. Beim 8 Boxen M3D - Arrays liegen die Werte bei der Entfernung 16 m um den Betrag 12,5 dB, bei 32 m um 9,0 dB, bei 64m um 5,8 dB, bei 128m um 3,3 bei 256m um 1,6 dB und bei 512m um 0,6 dB unter dem Betrag, der bei einer Freifeld – Rückrechnung (z. B. aus den Werten der Position $s = 991$ m der Anlage 12) hier vermutet würde. Das sind beachtliche Differenzen.
- Diese Werte sind ein Anhalt für die zu erwartenden Fehler, wenn aus Messwerten, deren Erfassung im Nahbereich von Freiluftveranstaltungen erfolgte, auf die Immissionsituation an weiter entfernt liegenden Immissionsorten geschlussfolgert wird. Grundsätzlich werden dann die im Fernfeld zu erwartenden Immissionspegel um den jeweiligen Differenzbetrag zu niedrig geschätzt.

3.5 Schallfeld bei beiderseits der Bühne positionierten Lautsprechergruppen

In der Regel sind bei mittleren und großen Freilichtveranstaltungen die Hauptlautsprecher so aufgestellt, dass an der linken und rechten Bühnenaußenseite jeweils eine Lautsprechergruppe steht und/oder fliegend installiert ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Emissionen beider Lautsprechergruppen identisch sind.

Zu klären ist, welche Auswirkungen diese Anordnung auf das Schallfeld hat.

Zur Beispielrechnung werden in Anknüpfung an die obigen Beispiele zwei M3D – Einzelboxen von Meyersound herangezogen, die in einem Abstand von 20m nebeneinander stehen. Ein Abstand, der dem bei größeren Bühnen entspricht. Die Beschränkung auf zwei Einzelboxen war notwendig, da die Software MAPP – Online™ der Fa. Meyer Sound Laboratories die Berechnung eines Schallfeldes in der Horizontalebene nur für maximal zwei Einzelboxen erlaubt. Die Berechnungen wurden für jeweils drei Immissionspunkte durchgeführt, die auf einer Linie lagen, die zur Verbindungslinie zwischen den beiden Boxen die Winkel 90°, 45° und 0° einnahm. Der Anfangspunkt dieser Linie war genau die Mitte zwischen diesen beiden Boxen. Somit lagen die Immissionspunkte beim Winkel 90° genau mittig vor der Bühne (gleiche Entfernung zu beiden Boxen) und beim Winkel 0° genau querab.

Zusätzlich wurde mit dem Softwareprogramm EASE /1/ eine Vergleichsrechnung durchgeführt, bei der in der Anordnung links/rechts der Bühne jeweils eine Lautsprechergruppe stand (je Gruppe zwei übereinander stehende Meyersound MSL – 4 Lautsprecherboxen mit Abständen zwischen den Gruppen von 20m bzw. 10 m). Die in den Anlagen A 13-7 und A 13-8 dargestellten Schallfelder (Horizontalebene) stellen den Direktschall mit Luftschalldämpfung aber ohne Beugungseffekte für den Frequenzbereich 100 Hz - 10 kHz (Broad Band Average / das ist ein gemittelter Pegelwert!) dar.

Das Bild A 13-1, Anlage, zeigt das Schallfeld (1 kHz – Oktave) in der Horizontalebene der M3D - Einzelbox, die Bilder A 13-2 und A 13-3 der Anlage das der zwei M3D - Boxen für die Oktaven 1 kHz und 125 Hz. Sehr deutlich sind in den Bildern A 13-2 und A 13-3 die Überlagerungseffekte zu erkennen. Z. B. ist bei der Frequenz 1 kHz auf der Mittelsenkrechten zu sehen, dass bis zu einer Entfernung von ca. 50 m konstruktive Interferenzen bei dieser Oktave vorhanden sind (Pegelerhöhung), danach tritt bis zu einer Entfernung von ca. 140 m eine erhebliche Pegelminderung im Vergleich zur Nachbarschaft auf. Erst ab ca. 150 m haben wir hier die zu erwartende deutliche Pegelerhöhung gegenüber den außerhalb dieser Senkrechten liegenden Positionen. Die gut zu sehenden Schallfeldzipfel beim 1 kHz – Schallfeld und insbesondere beim 125 Hz – Schallfeld zeigen die Richtungen an, bei denen die Phasenbeziehungen zwischen den beiden Boxen eine Pegelerhöhung verursachen.

In der Tabelle A 13-4, Anlage, sind die berechneten Immissionspegel für drei Immissionspunkte (Entfernungen 32m, 128 m und 512 m) aufgeführt, die auf einer Linie mittig (90° - Winkel zur Querachse) vor der Bühne liegen. In der Tabelle A 13-5 drei Immissionspunkte, die in einem Winkel von 45° zur Verbindungslinie der beiden Boxen liegen und in der Tabelle A 13-6 drei querab liegende Immissionspunkte.

Die Auswertung der Werte in der Tabelle A 13-4, Anlage, bestätigen, was auch aus den Bildern ersichtlich ist. Die auf den Positionen direkt mittig vor den Boxen zu erwartende Pegeldifferenz von 6 dB tritt auf, jedoch erst ab einer bestimmten Entfernung (im Beispiel bei 128m).

Im Nahbereich ergeben die Modellrechnungen z. T. erstaunliche Abweichungen. So liegen die Pegel bei dem 2 – Boxen - Schallfeld bei der Frequenz 12,5 kHz sogar mit 11,9 dB unter dem Wert, den das 1 – Boxen - Schallfeld verursacht. Möglicherweise ist das auf den komplexen Charakter der Emissionen der einzelnen Boxen zurückzuführen.

Eine Vergleichsrechnung mit dem Softwareprogramm EASE /2/ ergab auch im Nahbereich der Lautsprecher bei allen Frequenzen eine konstante Pegelerhöhung von 6 dB beim Betrieb beider links/rechts der Bühne angeordneter Lautsprecher gegenüber dem Betrieb nur eines Lautsprechers. Das liegt sicherlich daran, dass die komplexe Struktur des Schallfeldes

vereinfacht modelliert wird. Die Ergebnisse dieser Berechnungen zeigen die Bilder A 13-7 und A 13-8, Anlage. Deutlich zeigt der Vergleich dieser beiden Bilder, dass der Bereich beiderseits der Mittelsenkrechten, in dem eine 6 dB – Erhöhung auftritt, sehr schmal ist und dass danach sehr steil der Abfall auf einen Wert von ca. 3 dB übergeht.

Bei den Immissionsorten auf der 45° - Linie (Tabelle A 13-5, Anlage) stabilisieren sich die Differenzen bei den größeren Entfernungen bei den Summenpegeln bei 3 dB, wobei zwischen den einzelnen Terzen erhebliche Unterschiede vorhanden sind.

Bei den Immissionsorten, die querab der Boxen liegen (besser gesagt, die querab der Bühne liegen) ist die Pegeldifferenz nicht konstant (siehe Tabelle A 13-6 der Anlage). Sie erhöhen sich bei den Summenpegeln mit zunehmender Entfernung von 1,2 dB (26m) über 2,4 dB (128m) bis auf 2,9 dB bei 882m. Bei der geeigneten Wahl der Entfernungsdifferenz zwischen den Lautsprechergruppen können gezielt bestimmte Frequenzbereiche minimiert werden (im Beispiel die Terz 35 Hz mit ca. 8 dB Dämpfung / siehe Tabelle A 13-6) mit der Konsequenz, dass andere Frequenzen entsprechend verstärkt werden.

Schlussfolgernd kann für beiderseits der Bühne angeordnete Lautsprechergruppen (Halbseitenanlage), die relativ identische Emissionen abstrahlen, folgendes festgestellt werden:

- Mittig vor und hinter der Bühne (auf einer Geraden, die senkrecht auf der Verbindungslinie beider links/rechts der Bühne angeordneter Lautsprechergruppen steht und durch den Mittelpunkt dieser Linie verläuft) und nur innerhalb eines relativ schmalen Streifens liegen die Immissionspegel des gemeinsamen Schallfeldes wegen der Kohärenzbedingungen (Phasengleichheit) um 6 dB über denen, die durch eine einzelne der beiden Halbseitenanlagen erzeugt werden. Das gilt für den Gesamtschallpegel (Breitband) wie auch für die einzelnen Oktaven/Terzen. Diese Problematik ist beim Schutz der Nachbarschaft vor unerwünschtem Lärm besonders zu beachten.
- Für das gesamte restliche Schallfeld kann eine 3 dB – Differenz für den Gesamtschallpegel (Breitband) angenommen werden. Werden einzelne Terzen betrachtet, so gibt es doch z. T. erhebliche Differenzen zu diesem Wert.
- Eine Veränderung des seitlichen Abstandes der beiden Lautsprechergruppen (z. B. auf 10 m) bringt keine erheblichen Änderungen beim Breitband – Schallfeld.

Anmerkung: Die Modellierung dieser Zusammenhänge ist mit den Software – Programmen, die üblicherweise beim Lärmschutz genutzt werden, nur näherungsweise möglich, da diese nur die energetischen und nicht die Phasenbeziehungen berücksichtigen. Eine näherungsweise Lösung, die auch für die Beispielrechnungen im Abschnitt 6 Variante gewählt wurde, ist die folgende:

- Beide Halbseitenanlagen werden modelliert und der Pegelanstieg für den mittig gelegenen schmalen Streifen wird durch eine dritte Ersatzschallquelle, die in der Mitte zwischen den anderen beiden Quellen stationiert ist, simuliert. Die Vorgehensweise wird ausführlich im Abschnitt 6.1 /Beispiel 1, Unterabschnitt –Simulation der Gesamtanlage-/ erläutert.

Eine genauere Anpassung lässt sich erreichen, wenn die Gesamtanlage mittels eines Software - Programms wie EASE /1/ oder Ulysses /2/, welche die Phasenbeziehungen erfassen, modelliert wird, und dann für eine außerhalb des Nahbereiches liegende Entfernung d und im Halbkreis 0° bis 180° liegende Positionen die Immissionspegel berechnet und ausgegeben werden. Die gewählte Sektorengroße (z. B. 15° oder 30°) bestimmt die Genauigkeit und damit die Anzahl der Immissionspunkte. Die Differenz zwischen den beim Winkel 0° (direkt in Front der Anlage) und dem beim Winkel θ ermittelten Pegelwert ist ein Maß für die Richtwirkung der Gesamtanlage (Richtwirkungsmaß DI). Die Halbkreisabtafung genügt, da in der Regel keine maßgeblichen Differenzen zwischen beiden Schallfeldhälften bestehen.

Praktischerweise sollte diese Berechnung genutzt werden, um den wirksamen Schalleistungspegel der Gesamtanlage (begrenzt auf den bei diesen beiden Programmen

limitierten Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 kHz) zu ermitteln, in dem der Immissionspegel auf der Wirkbereichsachse in der Entfernung $d_0 = 1\text{ m}$ berechnet wird. Sind bei den Berechnungen keine Reflexionen (Bodeneffekte u. a.) berücksichtigt worden, so ergibt sich nach Abzug der geometrischen Dämpfung ($20 \lg(d/d_0)$) und der Luftabsorption (siehe dazu /4/, Abschn. 7.2) der Betrag für L_{df,Ges,d_0} .

Der wirksame Schallleistungspegel der Gesamtanlage, betrachtet als Punktschallquelle, ist dann entsprechend Gl. 3.9 (siehe Abschn. 3.7) $L_{wf,Gesamtanlage} = (L_{df,Gesamtanlage,d_0} + 11 \text{ dB})$ in dB.

3.6 Beispiele zur Auswirkung von Reflexionen

Bei Schallimmissionsprognosen sind entsprechend der TA Lärm /12/ Bodeneffekte ebenso wie Schallreflexionen an anderen Flächen zu berücksichtigen. In der Sächsischen Freizeitlärmstudie (Entwurf) /13/ z. B. wurde für eine eher überschlägige Berechnung dem Raumwinkelmaß K_0 der Wert 3 dB zugeordnet. Das heißt, der Boden in der Nähe der akustischen Anlage wurde als Spiegelschallquelle für inkohärente Schallfelder betrachtet. Zu klären ist, welchen Einfluss im Nahbereich der Schallquelle vorhandene reflektierende Flächen (Boden und Wände) auf die Immissionen haben, bzw. welche Fehlergrößen bei der Annahme eines Festwertes zu erwarten sind.

In den Anlagen A 14-1 bis A 14-5 sind die Ergebnisse einer Modellrechnung aufgeführt.

Quellen: Ein `Line Array` der Fa. Meyersound, bestehend aus 10 M3D – Boxen, gekurvt vertikal aufgehängt, darunter aufgestapelt 6 Subbass - Boxen M3D-Sub (dies ist identisch mit der halbseitigen Hauptbeschallungsanlage eines relativ großen open – air Konzertes für ca. 15 000 Zuschauer).

Reflexionsflächen: Glatte Betonboden und eine Ziegelwand ca. 10 m hinter der Bühne.

Software: MAPP – Online™ der Fa. Meyer Sound Laboratories.

Höhe des Messmikrofons über Boden: 3m (bei den Entfernungen 36 m und 64 m) und 10 m bei der Entfernung 256 m.

Kriterien der Modellrechnungen: Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Bodenreflexion.

In der Tabelle A 14 – 5, Anlage, sind die berechneten Werte und die Differenzen, die sich aus dem Vergleich der Immissionen bei den zwei unterschiedlichen Bedingungen (ohne und mit Reflexionen) aufgeführt. Erwartungsgemäß zeigen sich die Auswirkungen der Interferenzen zwischen dem Direktschall und dem reflektierten Schallfeld. Auch hier bestimmen die Laufzeitdifferenzen und deren Verhältnis zur Wellenlänge der jeweiligen Frequenz die Auswirkungen auf das Gesamtschallfeld. Da die Laufzeitdifferenzen von verschiedenen Einflussgrößen abhängen (Höhe der Boxen über dem Boden, Abstand von der Reflexionswand, Stellung der Boxen im Raum und damit Einfallswinkel des Schallfeldes usw.) beschreibt das Beispiel im Anhang A 14 tatsächlich nur die angenommene akustische Situation. Eine Verallgemeinerung ist daraus nur unter Vorbehalt abzuleiten. Andererseits beschreibt das Modell einen durchaus typischen Anlagenaufbau.

Interessant sind die Bilder der Schallfeldverteilung in der Vertikalebene (Anlagen A 14 – 1 bis A 14 – 4). Insbesondere die Bilder des Schallfeldes des 63 Hz – und des 125 Hz - Oktavbandes (44 Hz bis 89 Hz bzw. 89 Hz bis 177 Hz) bei der Boden- und bei der zusätzlichen Rückwandreflexion zeigen die starke nach oben gerichtete Auszipfelung des Schallfeldes. Diese Bilder zeigen auch die Grenzen der Wirksamkeit von Schallhindernissen wie Erdwälle oder höhere Häuser im Umfeld der Anlage auf die Ausbreitung besonders der tieffrequenten Schallanteile bei Witterungsbedingungen, welche die Schallausbreitung begünstigen (z. B. bei Mitwind).

Die in der Tabelle 14 – 5 ermittelten Differenzen zeigen, dass im tieffrequenten Bereich (20 Hz und 25 Hz – Terzen) bei diesen relativ idealen Reflexionsbedingungen am Boden mit einer Pegelerhöhung von ca. 6 dB gerechnet werden kann. Mit steigender Frequenz verringert sich die Zunahme, wobei in den höherfrequenten Bereichen durch die Bodenreflexion sowohl

Pegelzunahmen als auch Pegelabnahmen zu registrieren. Im Gesamtpegel ergibt das beim unbewerteten Pegel ebenso wie bei der A – Bewertung bei einer Entfernung von 256 m (im Fernfeld) eine Pegelzunahme von ca. 4 dB.

In der Anlage 14-6 ist mit dem Raumakustikprogramm EASE /1/ die Schallausbreitung mit und ohne Bodenreflexion berechnet worden, die eine beiderseits der Bühne installierte Anlage produziert. Dabei wurde die Fläche vor der Bühne als Betonboden mit Publikum auf Holzstühlen sitzend modelliert (200 m Breite, 100 m Länge). Interessant ist, dass die Bodenreflexion weder in der Entfernung von 30 m noch in der von 100m eine Auswirkung auf die A- bewerteten Summenpegel hat. Bei den einzelnen Terzen sind jedoch z. T. erhebliche Differenzen vorhanden. Ersichtlich ist aber auch, dass diese phasenabhängigen Beziehungen zwischen Direktschall und Reflexionsanteil einer einfachen Beschreibung, wie sie für deren Modellierung mit einem Lärmschutz – Softwareprogramm (energetische Verknüpfung der Schallanteile) notwendig ist, nicht zugänglich sind.

Die Auswirkungen einer in 10 m hinter der Anlage stehenden Ziegelmauer auf die Immissionspegel sind in den Spalten 11 und 12 der Tabelle in der Anlage A 14 – 5 ausgewiesen. Es fällt auf, dass nur in den tiefen Frequenzen (bis zur 31,5 Hz – Oktave) eine Pegelerhöhung zu verzeichnen ist. Auf die Pegelwerte der höheren Frequenzen wirkt sich diese zusätzliche Reflexionsfläche nicht aus. Insgesamt erhöhen sich die Gesamtpegel durch diese an der Rückseite der Anlage stehenden Fläche praktisch nicht.

Um zu testen, ob geringe Änderungen der Entfernung zwischen Anlage und Wand eine entscheidende Rolle spielen, wurde bei einer weiteren Testrechnung die Distanz Wand – Anlage auf 15 m erhöht. Diese Maßnahme veränderte die Gesamtpegel überhaupt nicht und bewirkte nur bei den tiefen Frequenzbereichen unbedeutende Änderungen.

Das Ableiten einer Verallgemeinerung unter Berücksichtigung der oben angeführten Vorbehalte ergibt folgendes:

- Durch Reflexion des Schalls am Boden im quellnahen Bereich kann bei außerhalb des Nahfeldes liegenden Immissionsorten und Mitwindbedingungen bei den tiefen Frequenzen ≤ 100 Hz mit einem Anstieg des Schallpegels gerechnet werden. Für den Frequenzbereich $\leq 31,5$ Hz kann von einem 6 dB Anstieg ausgegangen werden. Mit zunehmender Frequenz und damit kleiner werdenden Wellenlängen erhöht sich die Wahrscheinlichkeit, dass der Anteil des destruktiven Überlagerungseffektes am Gesamtschallfeld zunimmt, so dass ab Frequenzen > 100 Hz ein stochastisch erscheinender Effekt zu großen Streubreiten innerhalb des Frequenzbandes führt.
- Die Schallanteile am Gesamtschallpegel, deren Frequenzen die Oktavbereiche 63 Hz und kleiner umfassen, werden durch die Bodenreflexion gegenüber den höherfrequenten Schallanteilen überproportional verstärkt. Da auch der Streueffekt durch die Anwesenheit des Publikums besonders bei den höheren Frequenzen einsetzt, wird der tieffrequente Schallanteil zusätzlich (indirekt) erhöht.
- Reflexionen an Wänden, die in einem relativ geringen Abstand hinter der Lautsprecheranlage stehen, haben dann keinen relevanten Einfluss auf die Höhe des Gesamtschallpegels an Immissionsorten, die vor der Lautsprecheranlage stehen, wenn solche Lautsprechersysteme eingesetzt werden, deren Schallabstrahlung nach hinten auch bei den tiefen Frequenzen stark gedämpft ist. Werden Lautsprecherboxen eingesetzt, die die Schallenergie bei Frequenzen < 100 Hz ungerichtet abstrahlen, werden dadurch auch hier die tieffrequenten Schallanteile am Immissionspegel erhöht.

3.7 Anpassungen an die Anforderungen der auf der Basis der ISO 9613-2 arbeitenden Lärmschutzsoftware

Die Algorithmen der im Lärmschutz für die Berechnung der Lärmimmissionen genutzten Softwareprogramme setzen das in der DIN ISO 9613-2 /4/ festgelegte ‚Verfahren zur Berechnung der Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien‘ um.

Nach der DIN ISO 9613-2 /4/ wird der an einem Aufpunkt bei Mitwind auftretende Dauerschalldruckpegel einer Punktquelle L_T nach folgender Gleichung ermittelt:

$$L_T = L_w + DI + D_\Omega - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{bar} - A_{misc} \quad \text{dB} \quad (3.7)$$

mit L_w Schalleistungspegel der Punktschallquelle,
 DI Richtwirkungsmaß der Punktschallquelle,
 D_Ω Richtwirkungsmaß (Raumwinkelmaß), das die Schallausbreitung in Raumwinkel von weniger als 4 Sterad berücksichtigt,
 $A_{div}, A_{atm}, A_{gr}, A_{bar}, A_{misc}$ Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung, von Luftabsorption, des Bodeneffektes, von Abschirmung und verschiedener anderer Effekte,

$$\text{wobei } A_{div} = [20 \lg(d/d_0) + 11] \text{ in dB} \quad (3.8)$$

mit d Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger in m,
 d_0 Bezugsabstand 1m.

Die Konstante 11 dB im Term A_{div} (Gl. 3.8) ergibt sich aus dem Zusammenhang zwischen dem Schalleistungspegel L_w einer Punktschallquelle und dem in der Entfernung $d_0 = 1\text{m}$ vorhandenen Schalldruckpegel L_{T,d_0} bei angenommener kugelförmiger Schallausbreitung :

$$L_{T,d_0} = L_w - 10 \lg(4\pi d_0^2) \text{ in dB und somit ist}$$

$$L_{T,d_0} = L_w - 11 \text{ dB und}$$

$$L_w = L_{T,d_0} + 11 \text{ dB} \quad (3.9).$$

Bei mehreren Punktschallquellen ist der Gesamt – Dauerschalldruckpegel in dB bei Mitwind

$$L_{T,ges} = 10 \lg((10^{0,1 * L_{T=1}} + 10^{0,1 * L_{T=2}} + \dots + 10^{0,1 * L_{T=n}})) \quad (3.10).$$

Schalleistungspegel einer einzelnen Lautsprecherbox, berechnet aus dem Kennschallpegel L_k :

Wenn der Schalleistungspegel L_w einer Schallquelle unbekannt ist, kann dafür entsprechend Gl. 3.9 der Term ‚Schalldruckpegel $L_{T,d_0} + 11 \text{ dB}$ ‘ eingesetzt werden.

Für Lautsprecherboxen sind in den technischen Datenblättern in der Regel keine Angaben zum Schalleistungspegel vorhanden, sondern nur die zum Kennschallpegel L_k . Das ist der über einem bestimmten Frequenzbereich gemittelte und auf der Bezugsachse (Wirkbereichsachse) in einem Abstand von 1m vom akustischen Zentrum und bei einer elektrischen Anregung des Systems P_{el} von 1 Watt gemessene Schalldruckpegel in dB bei 1m, 1W.

Der maximale axiale Schalldruckpegel nach Gl. 3.1 mit $SPL_{(d=1m)} = L_K + 10 * \lg(P_{el})$ in dB, der auf der Wirkbereichsachse der Lautsprecherbox in $d_0 = 1 \text{ m}$ Abstand vom akustischen Zentrum auftritt, ist adäquat dem L_{T,d_0} in Gl. 3.9.

Aus der Gl. 3.2 in Verbindung mit Gl. 3.9 leitet sich ab, dass der Term ‚ $L_K + 10 * \lg(P_{el}) + 11 \text{ dB}$ ‘ den Zusammenhang zwischen dem um das Bündelungsmaß C erhöhten Schalleistungspegel L_w der Punktschallquelle ‚Lautsprecherbox‘ und dem in der Entfernung $d_0 = 1\text{m}$ vorhandenen Schalldruckpegel bei angenommener kugelförmiger Schallausbreitung beschreibt.

In Verbindung mit dem Richtwirkungsmaß DI ist somit eine exakte Beschreibung der Emissionsquelle ‚Lautsprecherbox‘ gegeben.

Einsetzen dieses Terms in die Gl. 3.7 für den dort definierten Schallleistungspegel der Punktschallquelle L_w ergibt, wenn die Emissionsquelle eine Lautsprecherbox ist, für den an einem Aufpunkt auftretenden Dauerschalldruckpegel L_T :

$$L_T = L_K + 10 \cdot \lg(P_{el}) + 11 \text{ dB} + DI + D_\Omega - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{bar} - A_{misc} \quad \text{dB} \quad (3.11)$$

mit

$$L_w = L_K + 10 \cdot \lg(P_{el}) + 11 \text{ dB} \quad (3.11a)$$

dem Schallleistungspegel der Schallquelle ‚Lautsprecherbox‘ in dB und

L_k Kennschallpegel bzw. axiales Empfindlichkeitsmaß in dB, bezogen auf 1W/1m,

P_{el} elektrische Anschlussleistung in Watt.

DI Richtwirkungsmaß der Punktschallquelle (Bezugsachse mit $DI = 0$ dB ist die Wirkungsbereichsachse der Lautsprecherbox),

D_Ω Richtwirkungsmaß (Raumwinkelmaß), das die Schallausbreitung in Raumwinkel von weniger als 4 Sterad berücksichtigt (Reflexionsanteile im Nahbereich der Quelle, die zu einem scheinbaren Anstieg des Schalleistungspegels führt),

$A_{div}, A_{atm}, A_{gr}, A_{bar}, A_{misc}$ Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung, von Luftabsorption, des Bodeneffektes, von Abschirmung und verschiedener anderer Effekte,

wobei $A_{div} = [20 \lg(d/d_0) + 11]$ in dB

mit d Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger in m,

d_0 Bezugsabstand 1m.

Anmerkungen:

- Wird für die elektrische Anschlussleistung P_{el} der Wert für die Dauerbelastung (long term, siehe Abschn. 3.3) eingesetzt, so kann das entsprechend den Ausführungen der TA Lärm als „bestimmungsgemäßer Betrieb“ interpretiert werden. Der Maximalpegel (Spitzenpegel) wird ermittelt, wenn für P_{el} der Wert für die maximale und nur kurzzeitige erreichbare Belastung (peak) eingesetzt wird.
- Für die Schallimmissionsprognose im Rahmen des Lärmschutzes genügt es in den überwiegenden Fällen, für das Richtwirkungsmaß DI nur die Schallverteilung in der Horizontalebene ($0^\circ \leq \theta \leq 360^\circ$) zu berücksichtigen, wobei das Richtwirkungsmaß eines senkrecht positionierten Line Arrays in der Horizontalebene zu mindest im Fernfeld gleich dem des Einzelmoduls ist.

Virtueller (scheinbarer) Schallleistungspegel einer Lautsprechergruppe:

Eine entsprechend Abschnitt 3.4.1 definierte Lautsprechergruppe verursacht im Fernfeld Immissionen, die nicht mittels energetischer Addition der Immissionspegel der Einzelmodule (Lautsprecherboxen) der Lautsprechergruppe entsprechend Gl. 3.10 berechnet werden können.

Es ist im Fernfeld der Gesamt – Immissionspegel $L_{T,gesamt}$ einer Lautsprechergruppe (Definition siehe Abschn. 3.4.1), die aus $i = 2, \dots, n$ Lautsprecherboxen besteht, nach Gl. 3.4 folgender:

$$L_{T,gesamt} = 20 \lg (10^{0,05 \cdot L_1} + 10^{0,05 \cdot L_2} + \dots + 10^{0,05 \cdot L_n}) \quad (3.12).$$

Das bedeutet, dass bei Einhaltung der bei der Definition der Lautsprechergruppe festgelegten Randbedingungen (Kohärenz) der Immissionspegel $L_{T,gesamt}$ zweier als Lautsprechergruppe einzuordnender Lautsprecherboxen, welche den gleichen Leistungspegel aufweisen, um 6 dB höher ist als derjenige, den nur eine der beiden Lautsprecherboxen erzeugt.

Diese Addition der Immissionsanteile nach Gl. 3.12 kann mit der im Lärmschutz für die Immissionsprognose eingesetzten Software nicht durchgeführt werden, da diese Programme entsprechend der DIN ISO 9613-2 bei der Addition von Immissionspegeln der Gl. 3.10 folgen.

Um sowohl die im Lärmschutz für Immissionsprognosen verwendete Software nutzen zu können wie auch den Anforderungen entsprechend Gl. 3.12 gerecht zu werden, wird der folgende Lösungsansatz, mit dem bestimmte Vorgänge auf der Immissionsseite auf die Emissionsseite

transformiert werden, favorisiert und bei den Beispielrechnungen (siehe Abschn. 6) auch umgesetzt.

- Der an einem im Fernfeld liegenden Immissionsort von einer Lautsprechergruppe verursachte und nach Gl. 3.12 ermittelte Gesamt – Immissionspegel $L_{T,ges}$ wird einer virtuellen (scheinbaren) Einzelschallquelle zugeordnet.
- Der Schalleistungspegel dieser virtuellen Einzelschallquelle wird, der DIN ISO 9613-2 folgend, durch entsprechende Umstellung der Gl. 3.7 berechnet mit $L_{W,ges} = L_{T,ges} - D_I - D_{\Omega} + A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc}$.
- Das gleiche Ergebnis erhält man für den Schalleistungspegel dieser virtuellen Einzelschallquelle, wenn dieser über die Schalleistungspegel der einzelnen Lautsprecherboxen (Einzelmodule) der Gruppe analog Gl. 3.12 berechnet wird:

$$L_{W,virtuelle\ Quelle} = 20 \lg (n * 10^{0,05 * L_{W,Einzelmodul}}) \quad n > 1 \quad (3.13)$$

n ... Anzahl der Lautsprecherboxen der Lautsprechergruppe

Da wie oben angeführt bei Lautsprecherboxen der Schalleistungspegel in der Regel nicht ausgewiesen wird, muss der über den maximalen axialen Schalldruckpegel des Einzelmoduls $SPL = L_K + 10 * \lg (P_{el})$ berechnet werden.

Unter Berücksichtigung von Gl. 3.11a ist dann

$$L_{W,virtuelle\ Quelle} = 20 \lg (n * 10^{0,05 * (SPL_{Einzelmodul} + 11dB)}) \quad n > 1 \quad (3.13a)$$

n ... Anzahl der Lautsprecherboxen der Lautsprechergruppe

Wie die Beispielrechnungen im Abschnitt 6 zeigen, ist es für die Berechnungen zum Aufbau des Übersteuerungsbereiches und anderer Parameter der Lautsprechergruppe erforderlich, zuerst deren virtuellen maximalen axialen Schalldruckpegel $SPL_{virtuelle\ Quelle}$ zu ermitteln und danach mit diesem Parameter den virtuellen Schalleistungspegel $L_{W,virtuelle\ Quelle}$ zu berechnen.

Es ist der virtuelle maximale axiale Schalldruckpegel der Lautsprechergruppe

$$SPL_{virtuelle\ Quelle} = 20 \lg (n * 10^{0,05 * (SPL_{Einzelmodul})}) \quad n > 1 \quad (3.14)$$

und deren virtueller Schalleistungspegel

$$L_{W,virtuelle\ Quelle} = SPL_{virtuelle\ Quelle} + 11dB \quad (3.14a)$$

Anmerkungen:

- Die nach dieser Vorgehensweise für Lautsprechergruppen berechneten Immissionspegel beschreiben die Situation im Fernfeld und sind im so genannten Nahfeld (siehe Abschn. 3.4.2) im Allgemeinen zu hoch.
- Es wird davon ausgegangen, dass die Einzelmodule (Lautsprecherboxen) der Gruppe (Schallzeile) entsprechend der Definition im Abschn. 3.4.1 von einem identischen elektrischen Eingangssignal gespeist werden und ein identisches akustisches Ausgangssignal erzeugen (gleicher Frequenzbereich, Phasengleichheit und in der Regel gleiche Amplitude) und somit auf Grund der Kohärenz in der Phasenbeziehung der von der Lautsprechergruppe erzeugte Gesamt – Immissionspegel entsprechend Gl. 3.12 und folgende modelliert wird. Die Software MAPP – Online™ der Fa. Meyer Sound Laboratories Inc. /11/, deren Algorithmen aus theoretischen und messtechnischen Untersuchungen abgeleitet wurden, stützt diese Annahme.
Inwieweit jedoch im Einzelfall Abweichungen von der Kohärenz z. B. durch Differenzen bei den Amplituden oder Phasenbeziehungen zwischen den Einzelmodulen der Lautsprechergruppe vorliegen und somit bei der Beschreibung der Prognosesicherheit eine gewisse Streubreite zu berücksichtigen ist, bedarf einer messtechnischen Überprüfung.
- Für die Modellierung von beiderseits der Bühne angeordneten akustisch identischen Lautsprechergruppen wird die im Abschnitt 3.5 angeführte und bei den Beispielrechnungen im Abschnitt 6 genutzte und ausführlich beschriebene Variante als ein geeignetes Näherungsverfahren angesehen.
- Hinweise zur Berücksichtigung des Raumwinkelmaßes D_{Ω} gibt der Abschnitt 3.6.

4. Analyse der Frequenzspektren der Schallemissionen von musikalischen Freiluftveranstaltungen

4.1 Einfluss des Frequenzspektrums auf die Immissionen

Bekanntermaßen besteht bei den Ausbreitungsverlusten des Schalls aufgrund der Luftabsorption eine starke Frequenzabhängigkeit der Art, dass die tiefen Frequenzen einer erheblich geringeren Dämpfung unterliegen als die höheren. Das führt bei musikalischen Freiluftveranstaltungen dazu, dass mit zunehmender Entfernung von der Schallquelle die tiefen Frequenzen das Frequenzspektrum der Immissionen bestimmen. Bei entsprechend großen Entfernungen sind dann praktisch nur noch die meist tieffrequenten Rhythmen (das „bum ... bum“ bei Pop- und Rockmusik) zu hören. Das wird von der schutzbedürftige Nachbarschaft in der Regel als äußerst lästig empfunden. Da es bei diesen tiefen Frequenzen darüber hinaus schwierig ist, die Richtung zu orten, aus der die Immissionen einfallen, und damit auch die Problematik verbunden ist, den Lärmimmissionen einen eindeutigen Verursacher zuzuordnen, erhöht sich die Negativwirkung für den unfreiwillig diesen Geräuschen ausgesetzten Hörer.

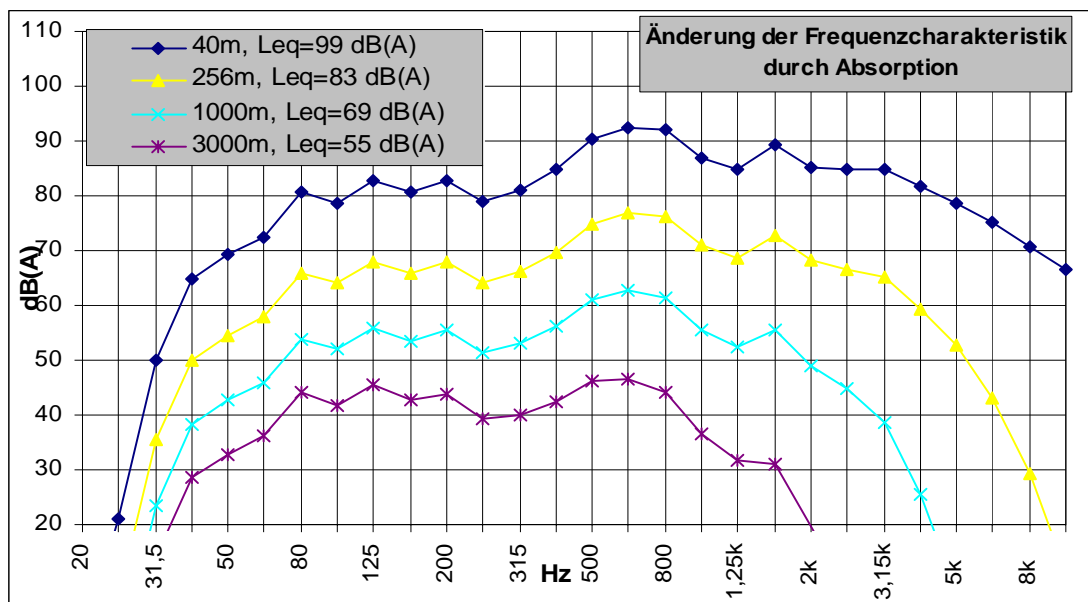


Bild 4: Frequenzspektrum in Abhängigkeit von der Entfernung (Schallquelle: Peter Maffay – Open Air – Konzert in Rostock, 2002. Messposition: im FOH, 40 m mittig vor der Bühne. (20 Minuten – Ausschnitt). Spektren für die Entfernungen 256m, 1000m u. 3000m für Mitwind - Bedingungen berechnet)

Die Graphik im Bild 4 zeigt sehr deutlich die Verschiebung des Spektrums mit der Zunahme der Entfernung von der Quelle. Das Spektrum basiert auf Messungen während eines Peter – Maffay – Open Air – Konzertes in Jahre 2002 in Rostock vor mehr als 15.000 Zuschauern (20 Minuten langer Ausschnitt aus dem Musikprogramm, enthält keine Moderationsanteile). Die Messposition war das Mischpult (FOH), das mittig vor der Bühne in ca. 40m Entfernung stand. (Beschallungssystem: 10 M3D (Meyersound) pro Seite als Line Array, 6 M3D-Sub (Meyersound) pro Seite als Subbass und 4 MSL4 (Meyersound) pro Seite zur Nahbereichsbeschallung).

Das Immissionsspektrum für die Entfernung 3000m verdeutlicht die Problematik. Die Immissionen sind mit einem äquivalenten Mittelungspegel von $Leq = 55 \text{ dB(A)}$ besonders für eine späte Abendstunde relativ laut. War jedoch im Nahbereich der Frequenzbereich zwischen 400 Hz und 4 kHz bestimmend, so sind bei der Entfernung 3000 m die Frequenzen 80 Hz bis 800 Hz diejenigen, welche das Geräusch dominieren. Der für die Sprachübertragung wichtige

Frequenzbereich von 400 Hz bis 4 kHz ist so stark gedämpft, dass der Sprach- bzw.-Gesangsanteil keine dominierende Rolle spielt.

4.2 Einflussfaktoren

Im Rahmen einer Grundlagenuntersuchung zur Thematik ‚Musikalische Freiluftveranstaltungen‘ /14/ wurden n. a. auch die Frequenzspektren deren Schallimmissionen einer mathematisch – statistischen Analyse unterzogen. Basis der Analyse waren eigene Messungen bei entsprechenden Veranstaltungen. Die Analysen zeigten, dass die Frequenzspektren der Geräuschimmissionen, die von einem einzelnen Unterhaltungsbeitrag oder vom Gesamtprogramm einer Veranstaltung verursacht werden,

- vom Musikstil,
- von der Interpretation,
- von der Konfiguration des Lautsprechersystems
- und von der Steuerung bzw. Fahrweise des Übertragungssystems durch den Tontechniker und
- bei der Betrachtung einer Gesamtveranstaltung vom Verhältnis Moderation/Musikbeitrag beeinflusst werden.

Erwartungsgemäß und durch eigene Untersuchungen belegt ergab sich, dass die Spektren unterschiedlicher Musikstile (z. B. Blues und Rockmusik, Pop), signifikante Differenzen aufweisen. Als Beispiel sei die Graphik in Bild 5 mit den mittleren Frequenzspektren einer Blues- und einer Hardrock – Reihe.

Abgeleitet wurden sie von Messungen, die während einer Freiluftveranstaltung, bei der eine Band mehrere Blues – Titel und eine andere Band mehrere Hardrock – Titel spielte, vorgenommen wurden. Die mathematisch – statistische Analyse ergab signifikante Differenzen zwischen den mittleren Frequenzspektren beider Musikrichtungen, deren Ursache ausschließlich im Musikstil, dem Instrumentarium und der Interpretation lag.

Ebenfalls untersucht wurden der Einfluss der elektroakustischen Konfiguration des Übertragungssystems und der des Tontechnikers.

Für die Abschätzung des Einflusses des Tontechnikers wurde eine wissenschaftliche Arbeit (Dissertation) von Maempel /15/ herangezogen, in der experimentell die Wirkung der Klanggestaltung eines Musikstückes auf die Hörerurteile untersucht wurde. Dabei wurden Hörversuche mit „verschiedenen, in Bezug auf die Klanggestaltung veränderten Versionen derselben Musikstücke“ /15/ durchgeführt. Diese veränderten Versionen unterschieden sich so voneinander, dass deren Frequenzspektren signifikante Differenzen aufwiesen /14/.

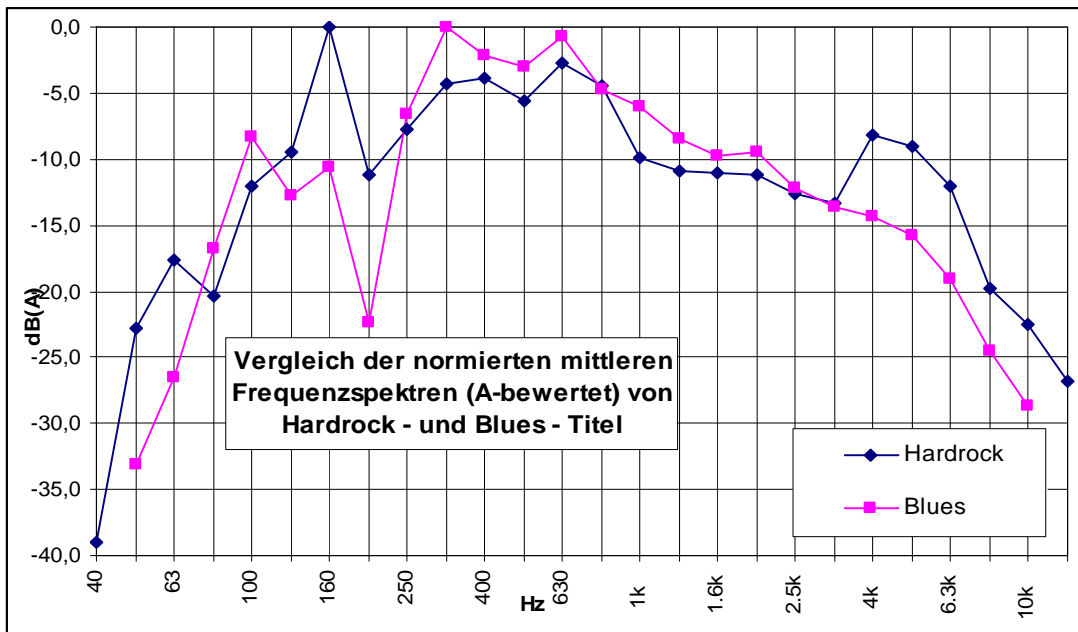


Bild 5: Normierte mittlere Frequenzspektren aus jeweils vier Hardrock – und Blues – Titeln (Aufgenommen während einer Veranstaltung).

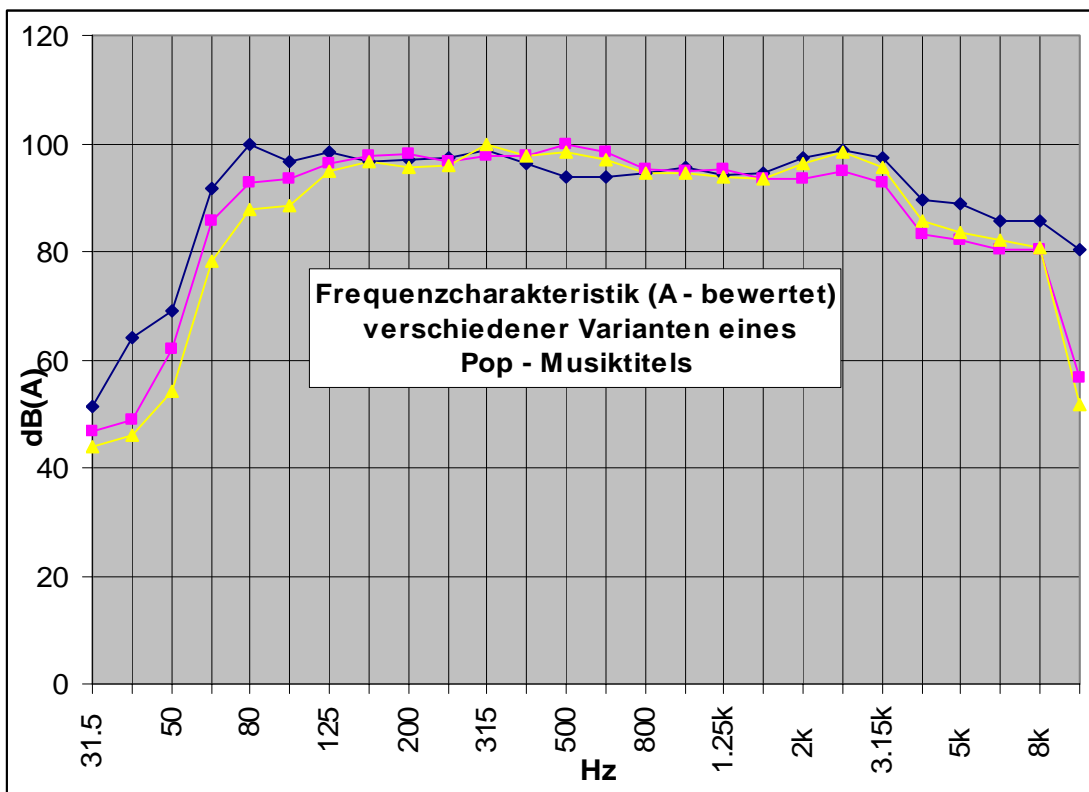


Bild 6: Vergleich der Frequenzcharakteristiken verschiedener Varianten eines Pop – Musiktitels (nach Maempel/15/)

Im Bild 6 sind die Frequenzcharakteristiken dreier Varianten eines Pop – Titels aufgezeigt. Beachtlich sind die Differenzen bei den Frequenzen <160 Hz. Aber auch im höheren Frequenzbereich sind, wie zu sehen, durchaus beachtliche Unterschiede vorhanden. Das zeigt, dass die Tontechniker erheblich die Klanggestaltung und damit die Frequenzcharakteristik eines Musiktitels beeinflussen können. Deshalb ist es auch durchaus gängige Praxis, dass größere

Bands bzw. bekannte Interpreten bei Konzerten ihren eigenen Tontechniker mitbringen, die somit auch die typische Klanggestaltung (Sound) ihrer Titel realisieren können. Untersucht wurde auch, welche Auswirkungen auf die Frequenzcharakteristik die Variation der Verstärkungsregelung (Lautstärke) hat. Dazu wurde beim Soundcheck für eine Open – Air - Großveranstaltung (für ca. 15.000 Zuschauer) ein Pop – Titel einmal mit der für die Veranstaltung vorgesehenen mittleren Lautstärke abgespielt (CD – Einspielung) und danach der gleiche Titel mit einer für die Anlage und deren Einstellung (Headroom usw.) maximalen Lautstärke.

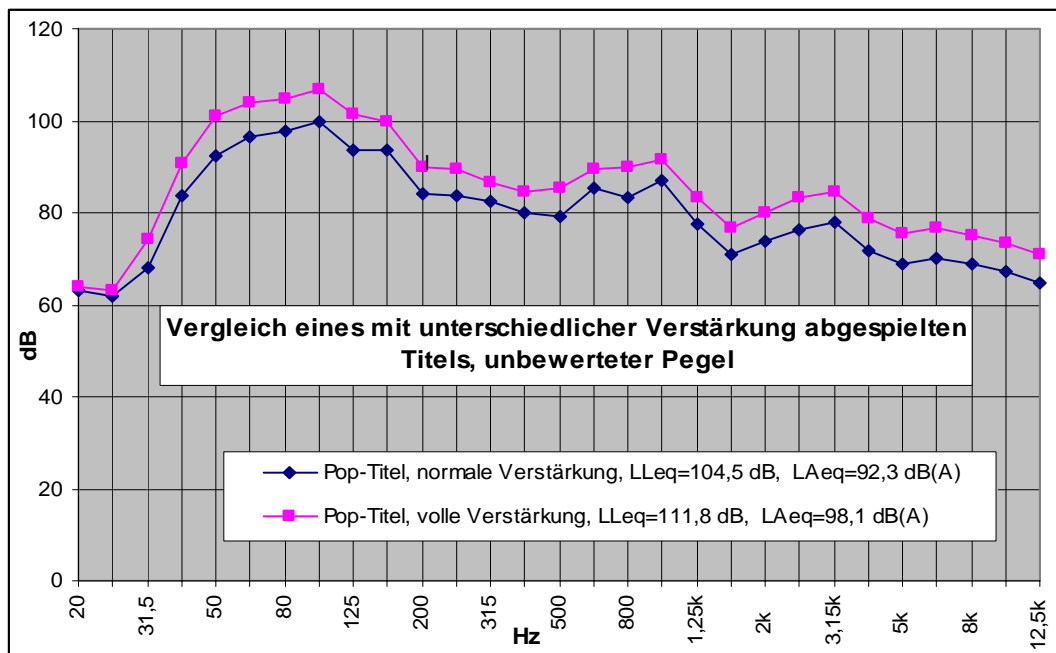


Bild 7: Vergleich der Frequenzspektren eines mit unterschiedlicher Verstärkung abgespielten Pop-Titels. Messposition: Mischpult, mittig vor der Bühne in 30m Abstand. Open – Air -Veranstaltung für ca. 15.000 Zuschauer.

Das Bild 7 zeigt die Frequenzcharakteristiken beider Varianten, die Tabelle A 15-1, Anlage, die Immissionspegel (Terzen) und deren Differenzen. Messposition war das mittig vor der Bühne in 30m Abstand stehende Mischpult. Der mittlere A –bewertete Summenpegel betrug bei der Variante „Normallautstärke“ 92,3 dB(A), bei der Variante „Maximale Lautstärke“ 98,1 dB(A). Die Differenz bei dem unbewerteten Summenpegel betrug 7,2 dB. Aus der Tabelle und auch aus der Graphik ist ersichtlich, dass nicht alle Terzen um den gleichen Betrag angehoben wurden. Während bei der „Maximalen Lautstärke“ die 20 Hz – und 25 Hz – Terzen nur um ca. 1 dB und die 1000 Hz – Terz um 4,6 dB über der der „Normallautstärke“ lagen, wurde die 50 Hz –Terz um 8,7 dB angehoben. Demnach beeinflussen also auch Änderungen bei der Verstärkereinstellung die Frequenzcharakteristik.

Den Einfluss der Lautsprecherkonfiguration in Verbindung mit dem des Tontechnikers zeigt die Graphik in Bild 8. Dazu wurden auf drei verschiedenen relativ großen (ca. 5000 bis 8000 Zuschauer) Freiluftkonzerten, deren Beschallungsanlage differierten und bei denen jeweils ein anderer Tontechniker am Mischpult stand, die Pop – Musiktitel (Mainstream) analysiert. Messort war jeweils die Position Mischpult. Bei allen drei Veranstaltungen traten jeweils mehrere Bands bzw. Interpreten auf, wobei einige der Bands bzw. Interpreten bei zwei bzw. allen drei Veranstaltungen mitwirkten. Die mittleren Frequenzspektren der jeweiligen Veranstaltung besitzen signifikante Ähnlichkeiten mit denen der Einzelkurven (pro Messreihe bis zu 19 Titel), sie unterscheiden sich aber signifikant voneinander. Besonders im Frequenzbereich kleiner als

800 Hz treten diese Abweichungen, wie Bild 8 zeigt, auf. Innerhalb dieses Frequenzbereiches liegen die Übergänge zwischen den Mittel- und den Hochtönern, die je nach Lautsprecherfabrikat und nach der Fahrweise des Systems durch den Tontechniker mehr oder weniger große Unebenheiten im Frequenzgang aufweisen (siehe dazu auch Anlage A 6-1). Die Differenzen bei den Frequenzen <80 Hz sind darauf zurückzuführen, dass beim Leistungspotential der eingesetzten Superbass – Boxen (eigentlich deren Anzahl) zwischen den drei Anlagen deutliche Differenzen vorhanden waren.

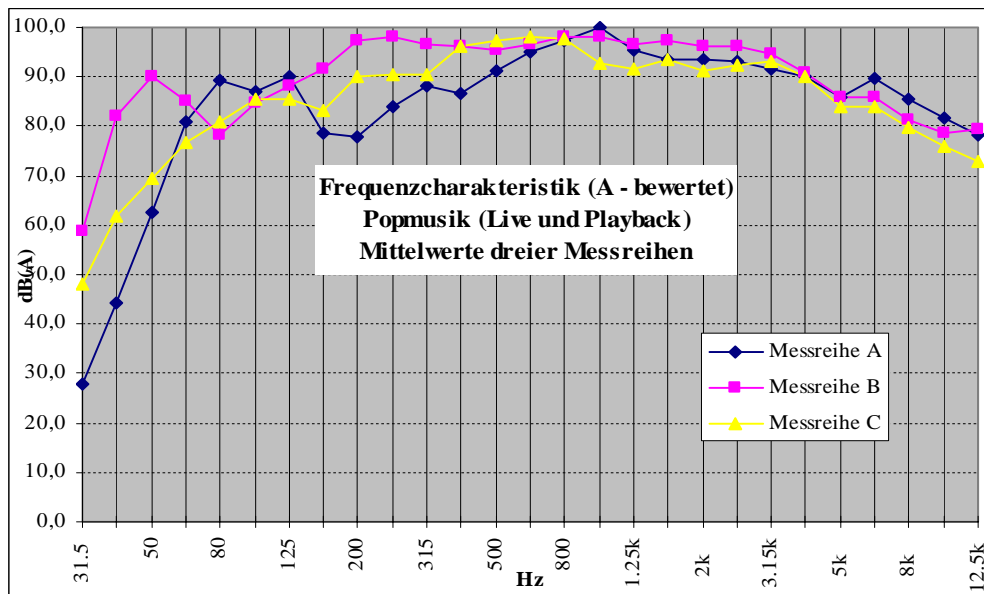


Bild 8: Normierte mittlere Frequenzspektren dreier Messreihen (jede Messreihe von einer anderen Anlage). Popmusik (Mainstream)

Die durchgeführten Untersuchungen lassen folgende Schlussfolgerung zu:

- Es ist mit ziemlicher Sicherheit nicht sinnvoll, aus einer Reihe von Messungen bei verschiedenen Veranstaltungen für jede Musikrichtung (z. B. Pop, Rock u. a.) ein mittleres Frequenzspektrum zu ermitteln, um damit Prognosen zu erstellen. Durch den bestimmenden Einfluss, den die Komponenten „Lautsprecherkonfiguration“ und „Tontechniker“ ausüben, wird deren Streubreite so groß, dass deren Eindeutigkeit (im Vergleich zu denen der anderen Musikrichtungen) nicht mehr gegeben ist.
- Sinnvoller ist es, die Messreihen einzelner Veranstaltungen zu nehmen und diese zu werten.

4.3 Frequenzspektren von Veranstaltungen

Bild 9 zeigt die Frequenzspektren von fünf Veranstaltungen. Messposition waren jeweils die mittig im Abstand zwischen 32 m und maximal 40 m vor der Bühne stehenden Mischpulte (FOH). Die Aufnahmen umfassen jeweils die gesamte Veranstaltungsdauer. Die der Kurve A in Bild 9 zu Grunde liegende Veranstaltung war ein Konzert vor ca. 15.000 Zuschauern eines mehr einen rockigen Musikstil repräsentierenden Interpreten, die Kurve B eine Veranstaltung einer bekannten Sängergruppe vor ca. 5.000 Zuschauern, die einen eher rockigen Popgesang pflegen. Die Kurven C, D und E ergaben sich aus größeren Veranstaltungen für ca. 3000 bis 15.000 Zuschauer, bei denen verschiedene Interpreten (Musikstil hauptsächlich Pop, aber auch andere) auftraten. Bei diesen drei Veranstaltungen hatte die Moderation (einschließlich Spieleinlagen mit dem Publikum) einen beträchtlichen Anteil (ca. 20% ... 30%).

Die Besonderheit der zur Kurve C gehörenden Veranstaltung war, dass eine Delay – Anlage (in ca. 70m Abstand von der Bühne zusätzliche Mittel-/Hochtöner - Lautsprecherboxen installiert)

die mittleren und hohen Frequenzen verstärkte. Dies wahrscheinlich die Erklärung dafür, dass im Gegensatz zu den anderen Kurven die 100 Hz – und die 125 Hz – Terz deutlich angehoben ist. Die Kurve C zeigt die Einflüsse auf, denen solche Messungen unterworfen sind, und, wenn diese Messungen die Basis für empirische Untersuchungen sind, deren Fehleranfälligkeit. Nur aus diesem Grunde wurde die Kurve C in das Bild 9 aufgenommen.

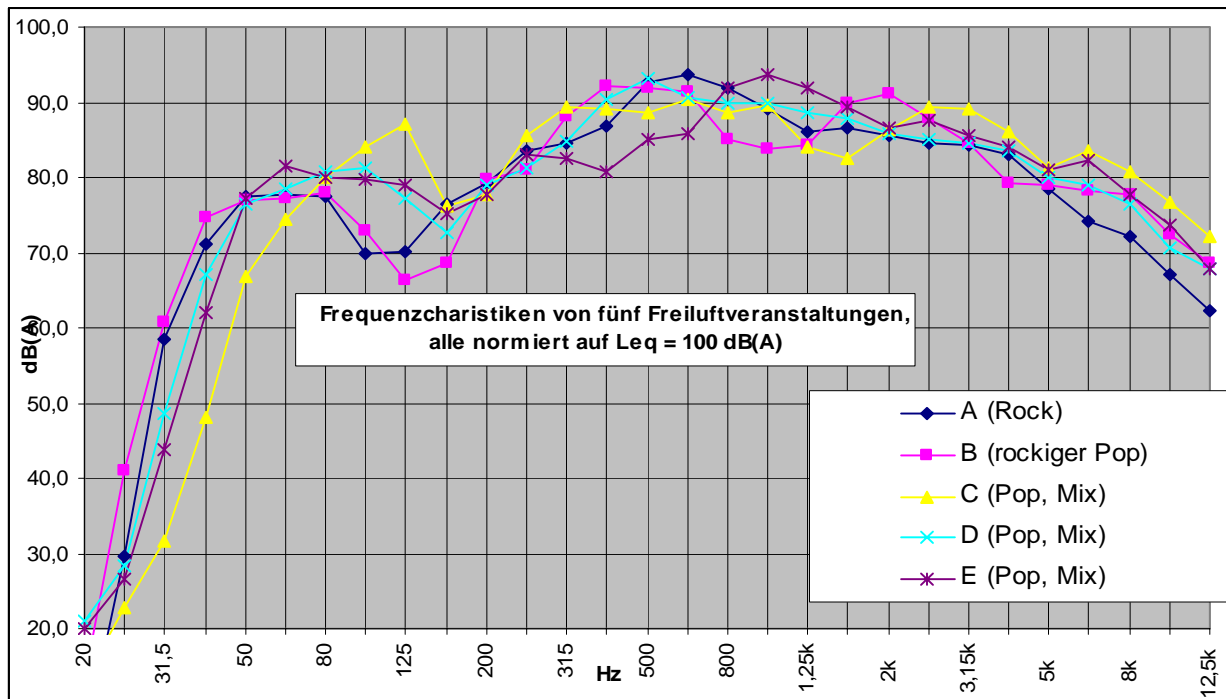


Bild 9: Normierte A – bewertete Frequenzspektren von fünf Freiluftveranstaltungen (gesamte Veranstaltungsdauer). Messposition: Mischpult, mittig vor der Bühne.

Eine mathematisch - statistische Analyse ergab signifikante Differenzen zwischen den einzelnen Frequenzspektren. Unabhängig davon könnte natürlich aus den Kurven A, B, D und E problemlos ein mittleres Spektrum berechnet werden, mit dem dann bei Prognosen gearbeitet werden kann. Diese Vorgehensweise wird in der Sächsischen Freizeitlärmstudie /13/ mit einem aus 38 eigenen Messungen ermittelten mittleren Spektrum für Popmusik – Bühnen angeboten. Wie die im folgenden Abschnitt durchgeführten Untersuchungen zeigen, treten erhebliche Differenzen von bis zu 6 dB bei prognostizierten Immissionspegeln in Abhängigkeit von den verwendeten Frequenzspektren auf. Es ist deshalb wahrscheinlich sinnvoller, aus einer Anzahl von Frequenzspektren die geeignete auszusuchen. Die Eignungskriterien können dabei durchaus unterschiedliche sein. Das können sowohl das eingesetzte Lautsprechersystem, der Veranstaltungsstil bzw. -typ wie auch das Kriterium „maximaler Immissionspegel“ sein. Die in den Bildern 9 und 10 aufgeführten Frequenzcharakteristiken A, B, D und E repräsentieren mittlere (1.000 bis 10.000 Zuschauer) und größere (10.000 Zuschauer und mehr) open air – Veranstaltungen. Im Bild 10 wurden diese vier (unbewerteten) Frequenzcharakteristiken A, B, D und E in der Art normiert, dass jeweils die Terz mit dem Maximalpegel auf 0 dB gesetzt wurde, und die anderen Terzen entsprechend korrigiert wurden. Die Tabellenwerte der vier Kurven sind in den Tabellen A 15-2 (für die Terzen) und A 15-3 (für die Oktaven) der Anlage aufgelistet.

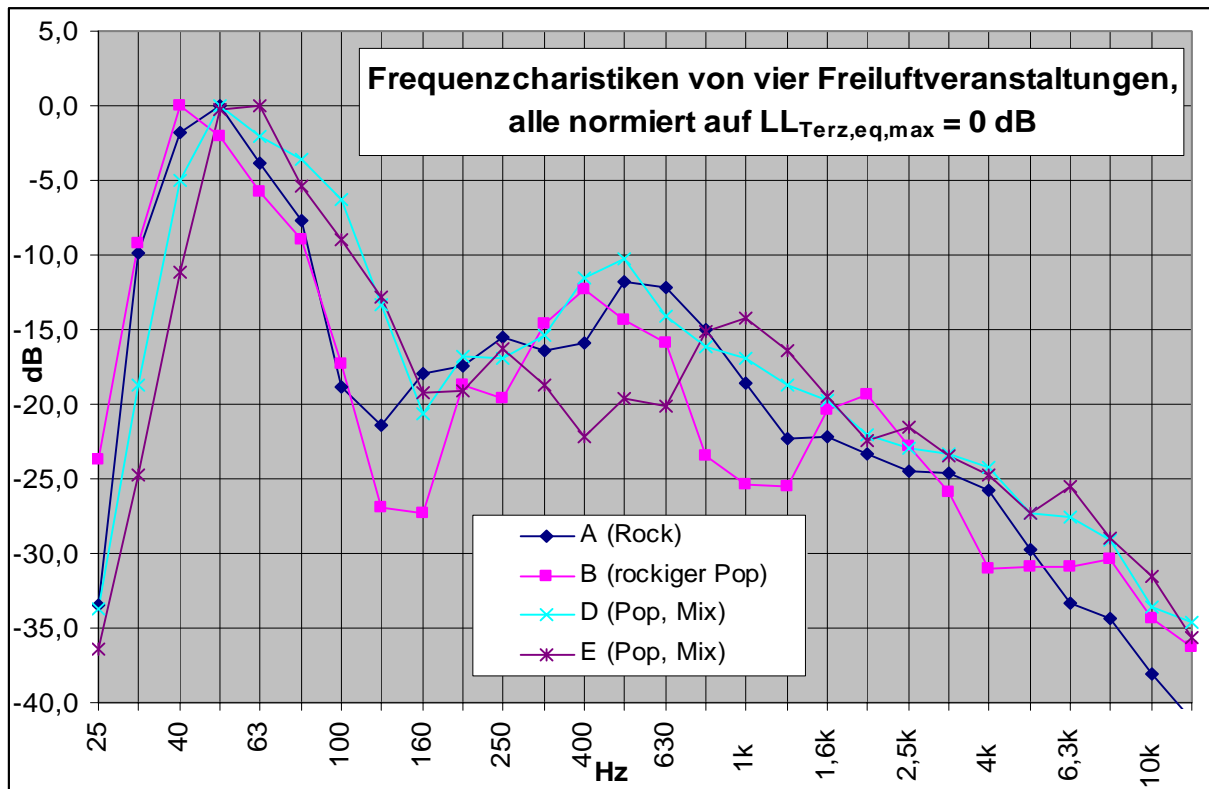


Bild 10: Normierte unbewertete Frequenzspektren von vier Freiluftveranstaltungen
Normierung: Der (unbewertete) Terzpegel mit dem höchsten Betrag wurde auf 0 dB gesetzt und die anderen Terzen dementsprechend korrigiert.

In der unbewerteten Darstellung in Bild 10 wird sichtbar, dass der tieffrequente Bereich des Beschallungssystems unter der Voraussetzung, dass der Frequenzgang des Systems annähernd linear verläuft, letztendlich die Grenzen für die Verstärkungsregelung setzt.

- Hinweis: Die Veranstaltungsmessreihen sind mittig vor der Bühne auf der Position „Mischpult“ durchgeführt worden. Die Entfernung Mischpult – Bühne lag zwischen 30 m und 40 m. In den Messreihen sind sowohl Reflexionsanteile (siehe Abschn. 3.5.2.3) wie auch die Anteile enthalten, die durch die Anordnung der Lautsprechergruppen beiderseits der Bühne (siehe Abschn. 3.5.2.2) entstehen.

5. Beurteilung

5.1 Beurteilungsvorschriften

Anlagen, die der Freizeitgestaltung dienen, sind nicht genehmigungsbedürftige Anlagen im Sinne des BImSchG. Richtlinien zur Ermittlung und Beurteilung der von Freizeitanlagen verursachten Geräusche sind von den Bundesländern herausgegeben worden. In Mecklenburg – Vorpommern ist dies die Freizeitlärm – Richtlinie /18/. Nach /18/ fallen in ihren Anwendungsbereich neben anderen „Grundstücke, auf denen in Zelten oder im Freien Diskothekenveranstaltungen, Live - Musik - Darbietungen, Rockmusikdarbietungen, Platzkonzerte, regelmäßige Feuerwerke, Volksfeste o. ä. stattfinden“ und Freilichtbühnen.

5.2 Impulszuschlag bei Immissionsprognosen

In der Richtlinie zur Beurteilung der von Freizeitanlagen verursachten Geräusche (Freizeitrichtlinie) in Mecklenburg – Vorpommern /18/ steht im Abschnitt 4.1 (2), “ für die von Freizeitanlagen hervorgerufenen Geräusche (z. B. Musik) ist im allgemeinen ein Impulszuschlag erforderlich“ und “wird bei einer Prognoserechnung von Schallleistungspegeln ausgegangen, ist der Zuschlag für die Impulshaltigkeit und/oder auffällige Pegeländerungen nach Erfahrungswerten zu bestimmen“. Bei Messungen ist der Impulszuschlag K_I über die Beziehung $K_I = L_{AFTeq} - L_{Aeq}$ zu bestimmen.

Bei den im Rahmen dieser Untersuchung durchgeführten Messungen auf der Position ‚Mischpult‘ lagen die Impulszuschläge ($K_I = L_{AFTeq} - L_{Aeq}$) zwischen ca. 4 dB(A) und 5,5 dB(A), bezogen auf die gesamte Veranstaltungsdauer bzw. längere Abschnitte einer Veranstaltung (Musik und Moderation).

Der Zeitanteil der Moderation an der Gesamtdauer der Veranstaltung beeinflusst die Höhe des Impulszuschlages, da in der Regel bei Moderationen/Spieleinlagen die Differenz zwischen L_{AFTeq} und L_{Aeq} höher als bei Musikwiedergaben ist.

So wurden beispielsweise bei verschiedenen Veranstaltungen folgende Werte an der Position ‚Mischpult‘ gemessen:

- Moderation/Spieleinlagen:
 - Dauer zwischen 4 und 9 Minuten: K_I zwischen 6,6 dB(A) und 7,5 dB(A),
 - Dauer zwischen 20 und 30 Minuten: K_I zwischen 5,8 dB(A) und 6,6 dB(A).
- Musik (ohne bzw. nur geringer Anteil Moderation):
 - CD – Musik (Einlassmusik, ca. 1,5 h, keine Moderation): $K_I = 4,0$ dB(A),
 - Popgruppe (zwei Auftritte von je 4 Min. Dauer): $K_I = 4,7$ dB(A) bzw. 5,5 dB(A),
 - Popgruppe (mehrere Auftritte zwischen 3 und 15 Min. Dauer): K_I zwischen 3,4 dB(A) und 4,6 dB(A), im arithmetischen Mittel bei 4,0 dB(A).
- Veranstaltungen bzw. längere Veranstaltungsabschnitte mit entsprechendem Moderationsanteil:
 - Pop der 70er (ca. 30 Minuten): 4,0 dB(A),
 - HipHop (ca. 30 Minuten): 4,1 dB(A),
 - „Die Prinzen“ (ca. 1,5 h) 4,5 dB(A),
 - „Peter Maffay“ (ca. 3h) 5,3 dB(A).

Die beispielhaft aufgelisteten Messwerte bestätigen die oben angesprochenen höheren K_I - Werte für Moderation/Spieleinlagen, sie zeigen aber auch die relativ großen Streubreiten.

Die hier angeführten Messwerte wurden auf der Position „Mischpult“ ermittelt. Diese Messungen enthalten demnach auch Geräuschanteile, die durch in der Nähe des Mischpultes stehende Zuschauer verursacht wurden. Der Einfluss dieser Geräuschanteile ist jedoch nicht oder nur näherungsweise quantifizierbar.

Auch hier beispielhaft Messergebnisse eines Veranstaltungsabschnittes (Messdauer: 1,4 h, Interpreten: Kelly Family, ca. 10.000 Zuschauer)

- Messposition Mischpult (ca. 30 m Abstand mittig vor der Bühne, ca. 2,5 m über Gelände):
 $L_{Aeq} = 88,8$ dB(A), $L_{AFTeq} = 94,1$ dB(A), $K_I = 5,3$ dB(A).
- Messposition IP, ca. 40 m Abstand, schräg hinter der Bühne (Winkel ca. 135°), 4 m ü. GOK:
 $L_{Aeq} = 72,6$ dB(A), $L_{AFTeq} = 76,5$ dB(A), $K_I = 3,9$ dB(A).

Die Differenz zwischen den beiden Impulszuschlägen von 1,4 dB(A) ist hier nahezu ausschließlich auf die Geräuscheinwirkungen der bis dicht an das Mischpult stehenden Zuschauer (Mindestabstand zum Messmikrofon ca. 2,5 m) zurückzuführen.

Verallgemeinernd kann angenommen werden, dass die an der Position „Mischpult“ ermittelten Impulszuschläge (siehe oben) um einen Betrag von 1 dB(A) bei einer Streubreite von +/- 0,5 dB(A) gemindert werden müssen, um diese unmittelbaren Zuschauereinwirkungen zu eliminieren.

Ausgehend von den Ergebnissen unserer Untersuchungen können mit folgenden Werten die Impulsbelastungen an den Immissionsorten quantifiziert werden, wobei eine zusätzliche Differenzierung bezüglich der Entfernung Immissionsort – Bühne erfolgen sollte. Mit dieser Differenzierung wird der Tatsache Rechnung getragen, dass mit zunehmender Entfernung die tieffrequenten Geräuschanteile die Geräuschimmissionen bestimmen, da die höheren Frequenzen mit ihrem stark impulshaltigen Sprachanteil (Frequenzen > 200 Hz) stärker gedämpft werden.

Impulszuschlag K_I für Entfernungsbereiche bis ca. 1000 m Abstand von der Bühne:

- Für längere Zeitabschnitte, in denen ausschließlich die Moderation z. B. auch in Verbindung mit Spieleinlagen dominiert: $K_I = 6$ dB(A).
- Für längere Zeitabschnitte, in denen ausschließlich (Hintergrund-) Musik dominiert (z. B. Musik vom CD – Player während der Einlassphase vor Beginn der eigentlichen Veranstaltung, keine Live - Musik) : $K_I = 3,5$ dB(A).
- Veranstaltung mit Moderationsanteilen: Je nach Anteil der Moderation $K_I = 4$ dB(A), 4,5 dB(A) bzw. 5 dB(A).

Impulszuschlag K_I für Entfernungsbereiche > 1000 m Abstand von der Bühne:

Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss der Entfernung auf die Veränderung des Impulszuschlages bei musikalischen Veranstaltungen waren weder Bestandteil der Aufgabenstellung für die Studie noch lagen dem Autor dieser Studie solche Ergebnisse vor. Von den oben angeführten Begründungen ausgehend ist es jedoch sinnvoll, für große Entfernungen Abschläge auf die oben empfohlenen Impulszuschläge anzubringen. Der Verweis darauf, beim Anbringen eines zu hohen Impulszuschlags „auf der sicheren Seite zu Gunsten des Belästigten“ zu sein, ist auch nur in gewissen Grenzen zu akzeptieren.

Als Lösungsansatz würden wir empfehlen, pro 1000 m Entfernungszunahme den Impulszuschlag um 0,5 dB(A) zu senken, wobei der Betrag $K_I = 3$ dB(A) nicht unterschritten werden sollte.

Literaturhinweis:

In der Sächsischen Freizeitlärmstudie /13/ wird jedoch entfernungsunabhängig ein Impulszuschlag $K_I = 4,1$ dB(A) für Konzerte und Bühnen allgemein und von $K_I = 5,9$ dB(A) für Moderation mit Musik, Spielshows und ähnliches empfohlen.

5.3 Zuschläge für Ton- und Informationshaltigkeit

Zuschlag k_T für Tonhaltigkeit und Informationshaltigkeit:

In der oben angeführten Freizeitrichtlinie M – V /18/ ist festgelegt, dass der Gesamtbetrag aus Tonzuschlag K_{Ton} und Informationszuschlag K_{Inf} auf maximal 6 dB(A) begrenzt bleibt. Als Zwischenwert wird 3 dB(A) angegeben.

In der Regel wird bei open air – Musikveranstaltungen kein Einzelton bestimmend sein, so dass ein Zuschlag für Tonhaltigkeit nicht gegeben werden muss.

Geräusche sind informationshaltig, wenn sie in besonderer Weise die Aufmerksamkeit einer Person wecken und sie zum Mithören unerwünschter Informationen anregen. Das ist z. B. dann der Fall, wenn die Sprachanteile und Musikwiedergaben der Veranstaltung hörbar sind.

Nach /18/ ist wegen der erhöhten Belästigung beim Mithören ungewünschter Informationen je nach Auffälligkeit ein Informationszuschlag K_{Inf} von 3 dB(A) oder 6 dB(A) zu berücksichtigen. Dieser ist als Zuschlag auf den Mittelungspegel hinzuzurechnen, der für den Zeitraum ermittelt wird, in dem das informationshaltige Geräusch auftritt.

Nach der Freizeitlärm – Richtlinie M – V /18/ ist „der Zuschlag von 6 dB(A) nur bei besonders hohem Informationsgehalt (z. B. laute und gut verständliche Lautsprecherdurchsagen, deutlich hörbare Musikwiedergabe) zu wählen“.

Literaturhinweis:

In der Literatur (Guski /19/) wird zwar die Berücksichtigung so genannter „statistischer“ Informationen gefordert, als solche bezeichnet Guski /19/ die „zeitliche Aufeinanderfolge des < Plopp ... Plopp > beim Tennis“. Ähnlich einzuordnen sind auch die tieffrequenten Rhythmen der Popmusik, die vor allem in größeren Entfernungen die Immissionen prägen und durch ihr fortwährendes „bum ... bum“ sehr belästigend wirken. Diese Forderung hat sich aber bisher nicht durchgesetzt.

5.4 Lautstärke im Zuhörerbereich

Die Lautstärke im Zuschauerbereich wird hauptsächlich bestimmt

- vom Musikstil und der Erwartungshaltung der Publikumszielgruppe,
- dem Störgeräuschpegel und
- der Ausdehnung des Zuhörerraums (und damit von der Anzahl der Zuhörer).

Die Erwartungshaltung der Zuschauer (eigentlich der Zuhörer) ist das bestimmende Element. Insbesondere bei Rock- und Popkonzerten wird von den Zuschauern ein hoher Schallpegel ‚zur Steigerung des emotionalen Effektes‘/15/ gefordert. Mit zunehmender Dauer der Veranstaltungen und damit der Anpassung des Gehörs an diese Schallpegel (Gewöhnungseffekt) muss die Lautstärke zwangsläufig erhöht werden, um diesen emotionalen Effekt zu erhalten. Der Veranstalter solcher Freiluftkonzerte wird in der Regel diesen indirekt aber auch direkt gestellten Forderungen nach hohen Lautstärken nachkommen, da er ja mit dieser Veranstaltung eine Werbung (für einen Sponsor, ein Produkt oder für den Interpreten) zu den Besuchern herüber bringen möchte.

Eine zweite Komponente ist der Störgeräuschpegel. Zu den Störgeräuschen müssen auch die Publikumsgeräusche gerechnet werden. Die erforderliche Differenz zwischen Nutzgeräuschpegel (Musik, Sprache) und Störgeräuschpegel (Störabstand) ist u. a. auch wegen eines Mindestanspruchs der Zuhörer an die Empfangsqualität in der Regel >10 dB.

Die dritte Komponente ist die der zu beschallenden Fläche. Bei dem Einsatz von Line – Arrays als Beschallungsanlage sind die Pegeldifferenzen zwischen den Zuschauerpositionen im Nahbereich der Bühne und denen in einer Entfernung von ca. 100m relativ gering (3 – 4 dB(A) Pegeldifferenz pro Abstandsverdopplung z. B. bei einer Meyersoundanlage mit 112 dB(A) bei 10 m Entfernung und 100 dB(A) bei 100 m Entfernung).

Beispielhaft seien aus Planungsvorgaben und Messungen folgende Werte (Mittelungspegel L_{eq} in dB(A)) angeführt:

- Planung der Beschallungsanlage für eine Festspielarena (10.000 Zuschauer) in Mecklenburg - Vorpommern:

Beschallung (Sprache der Akteure des Festspiels und Musikeinspielungen) ist so auszulegen, dass an allen Zuschauerplätzen ein Schalldruckpegel von ca. 95 dB(A) erzeugt wird.

- Planung der Beschallungsanlage für ein Sportstadion (Olympiastadion Berlin) /20/: Unter dem Aspekt der Notfalldurchsage als wichtigstes Kriterium und bei einem angenommenen mittleren Störpegel von $L_{eq} = 92$ dB(A) wird für die Sprachwiedergabe der mindeste zu erreichende Pegel für 90 % der Publikumsfläche mit 102 dB(A) angegeben.
- Messwert mittig vor einer Bühne in ca. 30 m Abstand (ca. 1000 Zuschauer) bei einem Volksfest am frühen Nachmittag, Rockband: $L_{eq} = 100$ dB(A).
- Nach /2/ werden bei Rockmusik - Veranstaltungen Dauerschallpegel von über 90 dB(A) bis 115 dB(A) in der Nähe der Darbietung realisiert.

Für die Abschätzung der Immissionsbelastung in der Nachbarschaft von Standorten für mittlere und große musikalische Freiluftveranstaltungen kann von folgenden mittleren Schalldruckpegeln (L_{eq} in dB(A) für die gesamte Veranstaltungsdauer) im Nahbereich der Bühne (30 bis 40 m mittig vor der Bühne) ausgegangen werden:

- $L_{eq} > 90$ dB(A), vornehmlich um die 95 dB(A) und vor allem beim Auftreten der Stargäste 100 dB(A) und mehr.

Das Leistungspotential der Beschallungsanlagen ist in der Regel so dimensioniert, dass die oben definierten Anforderungen problemlos erfüllt werden können (siehe dazu auch Abschnitt 6). Vor allem auch unter dem Aspekt, dass bei Notfällen und panikartigem Geschrei Notfalldurchsagen die erforderliche Lautstärke haben.

Werden im Rahmen der Genehmigung solcher Veranstaltung für eine Zuhörerkulisse von 1000 und mehr durch die Behörden Emissionsbegrenzungen gefordert, so werden von den Zuhörern

- Mittelungspegel $L_{eq} = > 90$ dB(A) akzeptiert (u. gefordert!),
- Mittelungspegel $L_{eq} > 85$ dB(A) und < 90 dB(A) eventuell noch akzeptiert,
- Mittelungspegel $L_{eq} < 85$ dB(A) in der Regel nicht akzeptiert.

Bei störenden Wetterbedingungen (starker Wind, Regen) und mit zunehmender Veranstaltungsdauer verringert sich die Akzeptanz.

Es ist illusorisch zu glauben, dass der Veranstalter Behördenvorgaben einhalten kann bzw. wird, wenn die Erwartungshaltung der Zuhörer bezüglich der Lautstärke in erheblichem Maße nicht erfüllt wird.

Die Behörden sollten, falls die Genehmigung solcher Veranstaltungen mit Vorgaben bezüglich der Einhaltung bestimmter Immissionsrichtwerte verbunden ist, deren Realisierungsmöglichkeiten berücksichtigen.

6. Beispielrechnung zur Schallimmissionsprognose von großen musikalischen Freiluftveranstaltungen

Vorgehensweise:

- Ausgehend von den Emissionskennwerten der einzelnen Lautsprecherbox der Lautsprechergruppe werden entsprechend den Gl. 3.12 bis 3.14a die Emissionsdaten der virtuellen (scheinbaren) Einzelschallquelle berechnet ($SPL_{\text{virtuelle Quelle}}$ und $L_{w,\text{virtuelle Quelle}}$), wobei nur die an einer Bühnenseite hängenden bzw. stehenden Lautsprechergruppen bewertet werden.
Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass mit der Konstruktion einer „virtuellen Quelle“ bestimmte Vorgänge auf der Immissionsseite (Kohärenz der Schallwellen bei Lautsprechergruppen) auf die Emissionsseite transformiert werden konnten.
- Unter Einbeziehung des den Veranstaltungstyp repräsentierenden ‚normierten linearen Frequenzspektrums‘ („A“, „B“, „D“ oder „E“) wird der (virtuelle) Übersteuerungsbereich (Headroom) ermittelt. Der (virtuelle) wirksame axiale Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz,virtuelle Quelle}}$ kann dann von dem an die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches angelegten ‚normierten linearen Frequenzspektrums‘ abgegriffen und mit diesem Wert der wirksame Schalleistungspegel $L_{w,\text{Terz,virtuelle Quelle}}$ der jeweiligen Terz berechnet werden.
- Es wird das Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene aus der Richtcharakteristik (Horizontalebene) einer Einzellautsprecherbox der jeweiligen, den entsprechenden Frequenzbereich abdeckenden Lautsprechergruppe abgeleitet.
- Hinweis: Alle Pegel sind linear (unbewertet) und demnach in dB angegeben.
- Für die Schallimmissionsprognose wird im Simulationsmodell auf jeder der zwei Außenseiten der Bühne eine Schallquelle positioniert. Beide haben jeweils die oben abgeleiteten Emissionsparameter. Der Beitrag der zweiten Schallquelle führt dazu, da diese Software – Programme entsprechend der ISO 9613-2 die Schallanteile energetisch addieren, dass der Immissionspegel auf der Gesamtfläche um 3 dB ansteigt.
- Der Beitrag der zweiten Halbseitenanlage führt aber auch dazu, dass mittig vor und hinter der Bühne (auf einer Geraden, die senkrecht auf der Verbindungslinie beider links/rechts der Bühne angeordneter Lautsprechergruppen steht und durch den Mittelpunkt dieser Linie verläuft) und nur innerhalb eines relativ schmalen Streifens der Immissionspegel wegen der Kohärenzbedingungen um insgesamt 6 dB ansteigt (siehe Abschn. 3.5). Dieser zusätzliche 3 dB – Anstieg für den mittig gelegenen schmalen Streifen wird durch eine Ersatzschallquelle modelliert, die in der Mitte zwischen den anderen beiden Quellen positioniert wird. Deren Schalleistungspegel muss 3 dB höher sein als der, den die Halbseitenanlage besitzt. Das Richtwirkungsmaß der Ersatzschallquelle ist unten im Teilabschnitt ‚Simulation der Gesamtanlage‘ der Abschn. 6.1 bis 6.4 aufgeführt.

6.1 Beispiel 1

- **Veranstaltungstyp:**

Open – Air – Veranstaltung für ca. 3. 000 Zuschauer

Typ: gesponserte Veranstaltung mit Einzelinterpreten und Gruppen, Pop, Rock u. a., dazu Moderation (Spiele unter Einbeziehung der Zuschauer usw.) mit einem Anteil von ca. 30 % an der Gesamtveranstaltungszeit.

Geräuschtyp: Kurve „E“.

- **Beschallungsanlage:**

Hauptbeschallung : 12 Lautsprecherboxen RT 112F plus 24 Lautsprecherboxen RL 118.

Hersteller: HK AUDIO (www.hkaudio.com).

Aufgestellt in folgender Anordnung:

6 RT 112F pro Seite (geflogen) als Top, 12 RL 118 pro Seite unter der Bühne als Bass (3* 4).

Mittlerer maximaler axialer Langzeitbelastungs -Schalldruckpegel
(long term bzw. RMS SPL[1m]):

Da aus den Datenblättern der Fa. HKAUDIO /16/ nicht eindeutig hervorgeht, wie groß der Systemgrenzpegel für die Langzeitbelastung ist, wurden die Daten des Softwareprogrammes Ulysses /2/ genutzt.

RT 112F:

- Abmessungen der Box: Höhe 0,65 m,
- Kenschallpegel L_K (Axial Sensitivity) in dB bei 1m, 1W:
106 dB (Frequenz 250 Hz bis 10 kHz),
- Elektr. Anschlussleistung P_{el} (RMS).
300 W,
- maximaler axialer Schalldruckpegel (Langzeitbelastung) SPL (RMS):
130,8 dB.

RL 118: Die Softwareprogramm EASE /1/ und Ulysses /2/ führen diese Lautsprecherbox nicht in ihren Programmen. Aus den Einzelangaben in /16/ wurde folgendes abgeleitet:

- Kenschallpegel L_K (Axial Sensitivity) in dB bei 1m, 1W:
98 dB (Frequenz 40 Hz bis 250 Hz),
- Elektr. Anschlussleistung P_{el} (RMS).
600 W,
- maximaler axialer Schalldruckpegel (Langzeitbelastung) SPL (RMS):
125,8 dB.

Fahrweise der Anlage (Frequenzen) durch den Tontechniker:

RL 118: Frequenzbereich von 40 Hz bis 200 Hz,

RT 112F: Frequenzbereich von 250 bis > 12 kHz.

Hinweis: Nahbereichsbeschallung und Monitoranlagen werden vernachlässigt, da sie keinen relevanten Beitrag für die Immissionen erbringen.

• **Emissionspegel der virtuellen (scheinbaren) Quelle :**

Hinweis: Es werden nur für die an einer Bühnenseite hängenden bzw. stehenden Lautsprecherboxen (6 Stück RT 112F plus 12 Stück RL 118) die Emissionen ermittelt (siehe dazu auch Abschnitt 3.5).

Da beide Boxentypen getrennte Frequenzbereiche bedienen, also keine Überlagerungen vorhanden sind, kann die Berechnung der (virtuellen) Emissionspegel für die zwei Frequenzbereiche mit den Terzen 40 Hz – 200 Hz und 250 Hz – 10 KHz erfolgen.

Der virtuelle maximale axiale Schalldruckpegel der jeweiligen Lautsprechergruppe wird entsprechend Gl. 3.14 berechnet zu

$$SPL_{\text{virtuelle Quelle}} = 20 \lg (n * 10^{0,05 * (SPL_{\text{Einzelmodul}})}) \quad n > 1$$

n ... Anzahl der Lautsprecherboxen der Lautsprechergruppe.

Frequenzbereich mit den Terzen 40 Hz bis 200 Hz:

- 12 RL 118 – Boxen mit jeweils einem $SPL_{\text{max, Langzeit, 1m}} = 125,8 \text{ dB}$.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – Schalldruckpegel der Gruppe in 1m Entfernung:

$$SPL_{\text{max Langzeit, virtuelle Quelle}} = 20 \lg(12 * 10^{0,05*125,8 \text{ dB}}) = 147,4 \text{ dB.}$$

Frequenzbereich mit den Terzen 250 Hz bis 10 kHz:

(Hinweis: Die üblichen Softwareprogramme für die Immissionsberechnung berücksichtigen nicht die Frequenzen > 10 kHz.)

- 6 RT 112F – Boxen mit jeweils einem $SPL_{\text{max Langzeit, 1m}} = 130,8 \text{ dB}$.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – Schalldruckpegel der Gruppe in 1m Entfernung:

$$SPL_{\text{max Langzeit, virtuelle Quelle}} = 20 \lg(6 * 10^{0,05*130,8 \text{ dB}}) = 146,4 \text{ dB.}$$

• **Frequenzspektrum:**

Es wird das normierte lineare Frequenzspektrum „E“ aus der Anlage A 15-2, Spalte 5, für die Immissionsprognose genutzt

(Open – Air – Veranstaltung für ca. 3. 000 Zuschauer. Typ: gesponserte Veranstaltung mit Einzelinterpreten und Gruppen mit Pop, Rock u. a. Dazu mit einem Anteil von ca. 30 % Moderation (Ansagen und Spiele unter Einbeziehung der Zuschauer usw.)).

• **Headroom (Übersteuerungsbereich):**

Der maximale axiale Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]) ist, wie im Abschnitt 3.3 schon erläutert, der Systemgrenzpegel, bei dessen Überschreitung durch ein schmalbandiges oder breitbandiges Signal in der Regel ein Begrenzer (Limiter) schaltet und der die Signalspitze entweder kappt oder herunterregelt. Diese Regelung ist mit unerwünschten Nebeneffekten verbunden (kurzzeitiges Absenken der Verstärkung).

Der maximale axiale Schalldruckpegel definiert praktisch das maximale Leistungspotential des Systems (der einzelnen Lautsprecherbox).

Zur Vermeidung des Überschreitens des Systemgrenzpegels wird ein Übersteuerungsbereich (der so genannte Headroom) gewählt (siehe dazu auch die Ausführungen im Abschnitt 3.3). Er sollte mindestens so groß sein, dass der mittlere Schallpegel nicht den axialen Langzeit – Schalldruckpegel (long term SPL[1m]) überschreitet.

Aus dem Frequenzspektrum der Kurve „E“ (siehe Anlage A 15-2, Spalte 5) ist ersichtlich, dass der Maximalwert bei der Terz 63 Hz liegt. Bei allen anderen Terzen liegt der Pegelwert zwar unter diesem Maximalwert, die Summe aller relativen Pegelwerte liegt aber bei +4,3 dB.

Dementsprechend ist auch der Übersteuerungsbereich (Headroom) um diesen Betrag zu erweitern (d. h., 6 dB + 4,3 dB).

Bei der Terz 63 Hz beträgt für die Anlage (nur eine Bühnenseite!) der virtuelle maximale axiale Langzeit – $SPL_{\text{max Langzeit, virtuelle Quelle, 63Hz}} = 147,4 \text{ dB}$ (siehe oben, Frequenzbereich mit den Terzen 40 Hz bis 200 Hz).

Die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches der virtuellen Quelle, die bei der 63 Hz – Terz liegt, beträgt somit:

$$147,4 \text{ dB} - 4,3 \text{ dB} = 143,1 \text{ dB.}$$

Der (virtuelle) wirksame axiale Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ ist dann jener Wert, der von dem an die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches angelegten ‚normierten linearen Frequenzspektrums‘ abgegriffen werden kann.

Mit diesem Wert wird der wirksame Schalleistungspegel $L_{w, \text{Terz, virtuelle Quelle}}$ der jeweiligen Terz berechnet werden.

Das Bild 11 zeigt den Aufbau des für die gegebene Anlage relevanten Übersteuerungsbereiches (Headroom) der virtuellen Quelle.

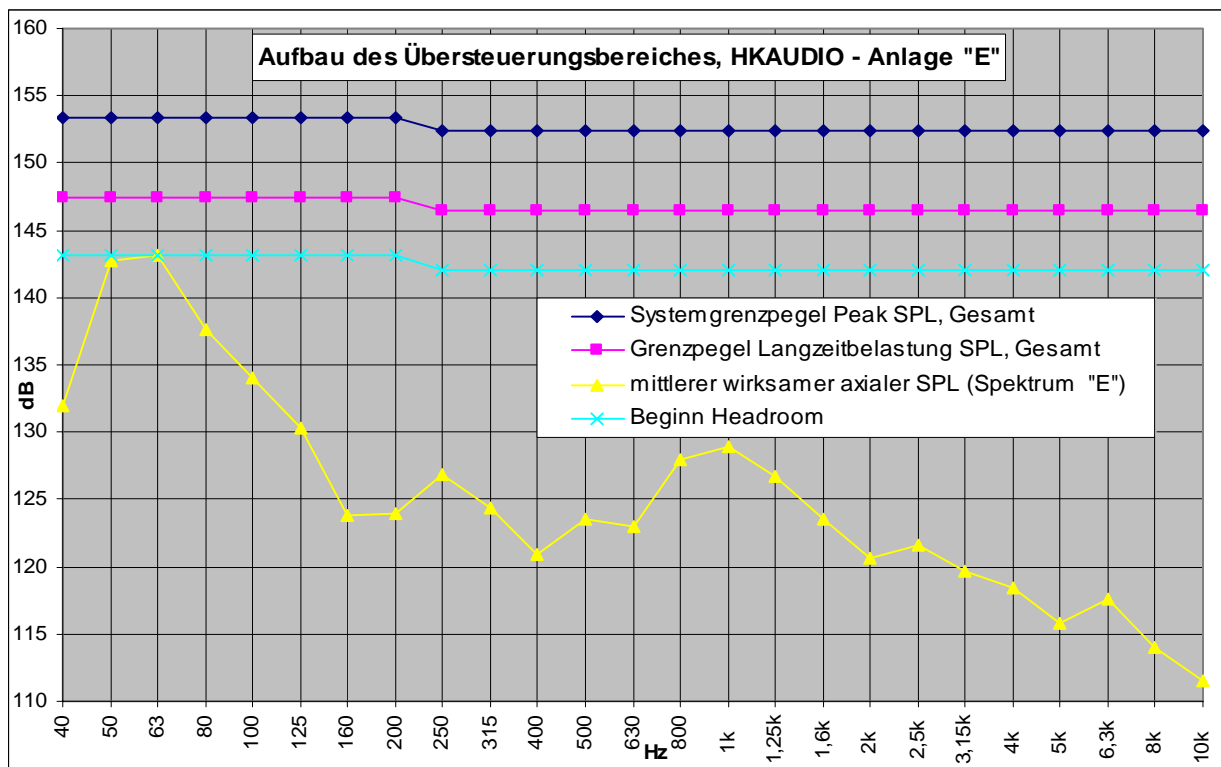


Bild 11: Aufbau des Übersteuerungsbereiches (Headroom) für die virtuelle Quelle (Halbseitenanlage) (die Differenz zwischen den Systemgrenzpegeln „Peak“ und „Langzeit“ beträgt 6 dB, die zwischen dem Pegelwert für die Terz 63 Hz der Kurve „E“ und dem Systemgrenzpegel „Langzeit“ 4,3 dB)

Der Übersteuerungsbereich selbst beträgt bei der 63 Hz – Terz 10,3 dB. Bei allen anderen Terzen ist der Abstand zwischen dem (mittleren) wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ und der unteren Grenze des Übersteuerungsbereiches z. T. erheblich.

Aus Bild 11 ist ersichtlich, dass die von einer Anlage zu erzielende maximale Lautstärke von der Leistungsfähigkeit der Anlage bei den tiefen Frequenzen bestimmt wird.

Bei einer mit dieser Anlage veranstalteten musikalischen Freiluftveranstaltung, deren Veranstaltungsgeräusch im Mittel ein Spektrum aufweist, das der Kurve „E“ folgt (siehe Bild 11), werden die mittleren wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ der die Anlage (nur eine Bühnenseite!) charakterisierenden virtuellen Quelle die in der Tabelle 1 aufgeführten Werte aufweisen.

Diese werden berechnet, indem zum wirksamen axialen Schalldruckpegel der 63 Hz – Terz (143,1 dB, das ist gleichzeitig der untere Grenzbereich des Headrooms) der Differenzwert entsprechend Anlage A 15-2, Spalte 5, addiert wird.

Beispiel für die Terz 400 Hz: wirksamer axialer $SPL_{\text{Terz 400Hz, virtuelle Quelle}} = 143,1 - 22,2 = 120,9$ dB. In der Tabelle sind die Werte für alle Terzen aufgeführt.

Terz in Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250
SPL _{Terz} dB	132,0	142,8	143,1	137,7	134,1	130,3	123,9	124,0	126,8
Terz in Hz	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
SPL _{Terz} in dB	124,4	120,9	123,5	123,0	128,0	128,9	126,7	123,6	120,6
Terz in Hz	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe	
SPL _{Terz} in dB	121,6	119,7	118,4	115,8	117,6	114,1	111,6	147,4	

Tabelle 1: Wirksamer mittlerer axiale Schalldruckpegel SPL_{Terz,virtuelle Quelle} für die Terzen 40 Hz bis 10 kHz in dB/1m (alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „E“) der virtuellen Quelle

Der Summenpegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle beträgt (siehe Tabelle 1) SPL_{gesamt, virtuelle Quelle} = 147,4 dB.

• **Schalleistungspegel:**

Der wirksame maximale Schalleistungspegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle ist entsprechend Gl. 3.14a

$$L_{w,gesamt, virtuelle Quelle} = SPL_{gesamt, virtuelle Quelle} + 11\text{dB}$$

und somit

$$L_{w,gesamt, virtuelle Quelle} = 147,4 + 11 = 158,4\text{ dB.}$$

Die Tabelle 2 zeigt die Werte für die Terzen.

Terz in Hz	40	50	63	80	100	125	160	200	250
L _{w, Terz} in dB	143,0	153,8	154,1	148,7	145,1	141,3	134,9	135,0	137,8
Terz in Hz	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000
L _{w, Terz} in dB	135,4	131,9	134,5	134,0	139,0	139,9	137,7	134,6	131,6
Terz in Hz	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe	
L _{w, Terz} in dB	132,6	130,7	129,4	126,8	128,6	125,1	122,6	158,4	

Tabelle 2: Wirksamer Schalleistungspegel L_{w, Terz, virtuelle Quelle} für die Terzen 40 Hz bis 10 kHz (alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „E“) der virtuellen Quelle

• **Richtcharakteristik:**

Die Richtcharakteristik in der Horizontalebene einer aufeinander gestapelten oder untereinander aufgehängter Anzahl identischer Lautsprecherboxen wird durch die horizontale Richtcharakteristik der einzelnen Lautsprecherbox bestimmt (siehe dazu Abschn. 3.4.1).

Das Richtwirkungsmaß für das aus den Lautsprecherboxen RT 112F und RL 118 bestehende Anlagenteil ist in der Tabelle 3 ausgewiesen. Die Angaben für die Lautsprecherbox RT 112F lagen in graphischer Form (Ulysses – Daten /2/) wie auch tabellarisch (EASE /1/) für die Oktaven bzw. Terzen >= 100 Hz vor (siehe auch Anlage A 16-1).

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz							
	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	-0,7	-2,1	-2,0	-7,8	-6,5	-8,7	-7,8
60	0	-2,6	-6,1	-10,7	-17	-17,3	-19,3	-21,6
90	0	-6,5	-7,9	-16,9	-22,9	-25,8	-29	-33,3
120	0	-9,1	-10,7	-22,1	-32,3	-31	-36,8	-40,9
150	0	-7,7	-10,6	-20,8	-29,7	-28,5	-33,4	-46,5
180	0	-7,2	-9,4	-14,1	-20,8	-36,8	-33,5	-48,5

Tabelle 3: Richtwirkungsmaß D(θ) in dB für die Horizontalebene der Halbseitenanlage
Quelle: Lautsprecherbox RT 112F nach /1/ u. /2/. Die Werte für die Oktave 63 Hz sind abgeleitete Werte.

• **Simulation der Gesamtanlage:**

Im Abschnitt 3.5 wurden die Schallfelder von beiderseits der Bühne angeordneter Lautsprechergruppen untersucht. Die Untersuchungen ergaben, dass der Beitrag der zweiten Lautsprechergruppe dazu führt, dass der Immissionspegel wegen der Kohärenzbedingungen mittig vor und hinter der Bühne (auf einer Geraden, die senkrecht auf der Verbindungslinie beider links/rechts der Bühne angeordneter Lautsprechergruppen und im Mittelpunkt dieser Linie steht) und nur innerhalb eines relativ schmalen Streifens um 6 dB ansteigt. Für das gesamte restliche Schallfeld kann ein 3 dB – Anstieg für den Immissionspegel (Breitband) näherungsweise angenommen werden.

Für die Simulation dieser Problematik mit Software - Programmen, die üblicherweise beim Lärmschutz genutzt werden, wird folgendes Vorgehen favorisiert:

- Es wird auf jeder der zwei Außenseiten der Bühne eine Schallquelle positioniert. Beide haben jeweils die oben abgeleiteten Emissionsparameter. Da diese Software – Programme die Schallanteile energetisch addieren, wird damit der 3 dB – Anstieg auf der Gesamtfläche erreicht. Im hier untersuchten Beispiel hat demnach jede der beiden Schallquellen einen Schallleistungspegel $L_{w,gesamt,virtuelle\ Quelle} = 158,4\text{ dB}$ (Terzen siehe Tabelle 2) und weist die in der Tabelle 3 aufgeführte Richtcharakteristik auf.
- Der zusätzliche 3 dB – Anstieg für den mittig gelegenen schmalen Streifen wird durch eine dritte Quelle (Ersatzschallquelle) erreicht, die in der Mitte zwischen den anderen beiden Quellen positioniert ist. Deren Schallleistungspegel muss 3 dB höher sein als der, den die Halbseitenanlage besitzt. Im gegebenen Beispiel beträgt der Schallleistungspegel dieser Ersatzschallquelle demnach $L_{w,gesamt,Ersatzschallquelle} = 158,4 + 3\text{dB} = 161,4\text{ dB}$.

Das Richtwirkungsmaß der Ersatzschallquelle zeigt die Tabelle 4. Die Werte für die beiden Winkelbereiche 0° bis 2° sowie 178° bis 180° müssen denen entsprechen, die für die anderen beiden Quellen gültig sind (Tabelle 3!). Für den Winkelbereich $5^\circ - 175^\circ$ darf die Ersatzschallquelle keinen Immissionsbeitrag leisten, deshalb $DI = -60\text{ dB(A)}$.

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz							
	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0 -2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
2 -5	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60
5 – 175	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60
175 – 178	-60/0	-60/-7,2	-60/-9,4	-60/-14,1	-60/-20,8	-60/-36,8	-60/-33,5	-60/-48,5
178 – 180	0/0	-7,2/-7,2	-9,4/-9,4	-14,1/ -14,1	-20,8/ -20,8	-36,8/ -36,8	-33,5/ -33,5	-48,5/ -48,5

Tabelle 4: Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene der Ersatzschallquelle

Bodeneffekte:

Die im Abschnitt 3.6 durchgeführten Untersuchungen zum Bodeneffekt zeigten, dass für die Bodenreflexionen durch positive wie auch negative Aspekte der Interferenz keine eindeutige Aussage zu deren Beitrag zum Gesamt – Immissionspegel möglich ist, wobei im Frequenzbereich $\geq 100\text{ Hz}$ eher die destruktiven Wirkungen vorherrschen, im Bereich $< 100\text{ Hz}$ dagegen eher die konstruktiven.

Da die Ausbreitungsrechnungen für Schall – Immissionsprognosen nach der ISO 9613-2 /4/ durchzuführen sind, sind die diesbezüglichen Eingriffsmöglichkeiten des Gutachters bei der Modellierung der Bodeneffekte begrenzt.

Wird nach Abschnitt 7.3.1 der ISO 9613-2 /4/ vorgegangen, so besteht nur über die Wahl eines geeigneten Wertes für den Bodenfaktor G ($0 \leq G \leq 1$) eine Eingriffsmöglichkeit.

Eine Alternative ist das Vorgehen nach Abschnitt 7.3.2 der ISO 9613-2 /4/, in dem ein frequenzunabhängiges Verfahren für die Berechnung A – bewerteter Schalldruckpegel beschrieben ist.

Für die nachfolgenden Berechnungen wurden sowohl das Verfahren nach Abschnitt 7.3.1 der ISO 9613-2 /4/ (bei Variation des Bodenfaktors G) wie auch das nach Abschnitt 7.3.2 der ISO 9613-2 /4/ genutzt, um deren Auswirkungen aufzuzeigen und um daraus das geeignete auszuwählen.

Die Ausbreitungsrechnung wurde mit dem Software – Programm IMMI /17/ entsprechend den Vorgaben der TA Lärm /12/ durchgeführt.

Zur Verifizierung dieser Berechnungen wurde das Beispiel für das Raumakustik - Programm EASE /1/ modelliert, mit dem im Entfernungsbereich bis zu ca. 100m durch den speziellen, phasenbezogenen Rechenalgorithmus des Programms die der Realität näher kommenden Ergebnisse zu erwarten sind. Für die Bodenreflexion wurde folgendes simuliert: Publikum auf Holzstühlen, die auf einer Betonfläche stehen /1/.

• **Simulationsergebnisse:**

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen die Bilder 12 und 13, die Bilder in den Anlagen A 16-2 und A 16-3 und die Tabelle 5.

Folgendes kann aus diesen Bildern abgeleitet werden:

- Das Spektrum des mit dem Programm IMMI berechneten Immissionspegels folgt dem Spektrum der Emissionen (siehe obere Graphik der Anlage A 16-2, in dem zum Vergleich das im Pegelwert angepasste Emissionsspektrum eingezeichnet ist). Das heißt, die Vorgehensweise bei der Modellierung ist formal richtig.
- Aus dem Bild 12 ist abzulesen, dass die mit dem Lärmschutzprogramm IMMI für außerhalb des Nahfeldes liegende Immissionsorte berechneten Immissionspegel (A – bewertete Summenpegel) praktisch identisch mit denen sind, die mit dem Raumakustikprogramm EASE berechnet wurden. Das bestätigt das angewandte Modell mit den zwei neben der Bühne angeordneten Schallquellen (um den 3 dB - Anstieg auf der Gesamtfläche zu simulieren) und der dritten (Ersatz -) Schallquelle, mit der die Pegelerhöhung in dem Streifen mittig vor und hinter der Bühne bewirkt wird.
- Auch die Differenzen bei Immissionsorten seitlich der Bühne (Anlage A 16-2, untere Graphik) sind beim A –bewerteten Summenpegel mit weniger als 2 dB(A) gegenüber dem mit EASE berechneten Pegel (mit Reflexionsanteil) gering. Demnach auch hier eine Bestätigung des Modells.
- Im Nahbereich (Entfernung 30 m, siehe Anlage 16-2, obere Graphik) sind die mit dem Programm IMMI berechneten A – bewerteten Summenpegel erwartungsgemäß erheblich höher als die Pegel, die mit EASE berechnet wurden. Im gegebenen Beispiel beträgt die Differenz ca. 5 dB(A). Bei dieser Entfernung liegen die Frequenzen > 500 Hz offensichtlich noch im Nahfeld des Arrays (siehe Abschn. 3.4.1, GL. 3.6). Der destruktive, die Immissionen mindernde Charakter im Nahfeld der Anlage wird durch die Phasenbeziehungen beachtende Softwareprogramm EASE erfasst, während das auf der energetischen Verknüpfung basierende Rechenmodell von IMMI notwendigerweise diese nicht erfassen kann.
- Da Immissionsprognosen in der Regel nicht für den Nahbereich berechnet werden, spielt diese Problematik auch keine größere Rolle. Falls jedoch zum Schutz der im Fernfeldbereich liegenden Immissionsorte zur Anlagenüberwachung an der Position Mischpult (FOH) Grenzwerte für die Immissionspegel definiert werden sollen, ist natürlich diese Differenz zu beachten, da in der Regel der FOH – Platz im Nahfeld liegt.

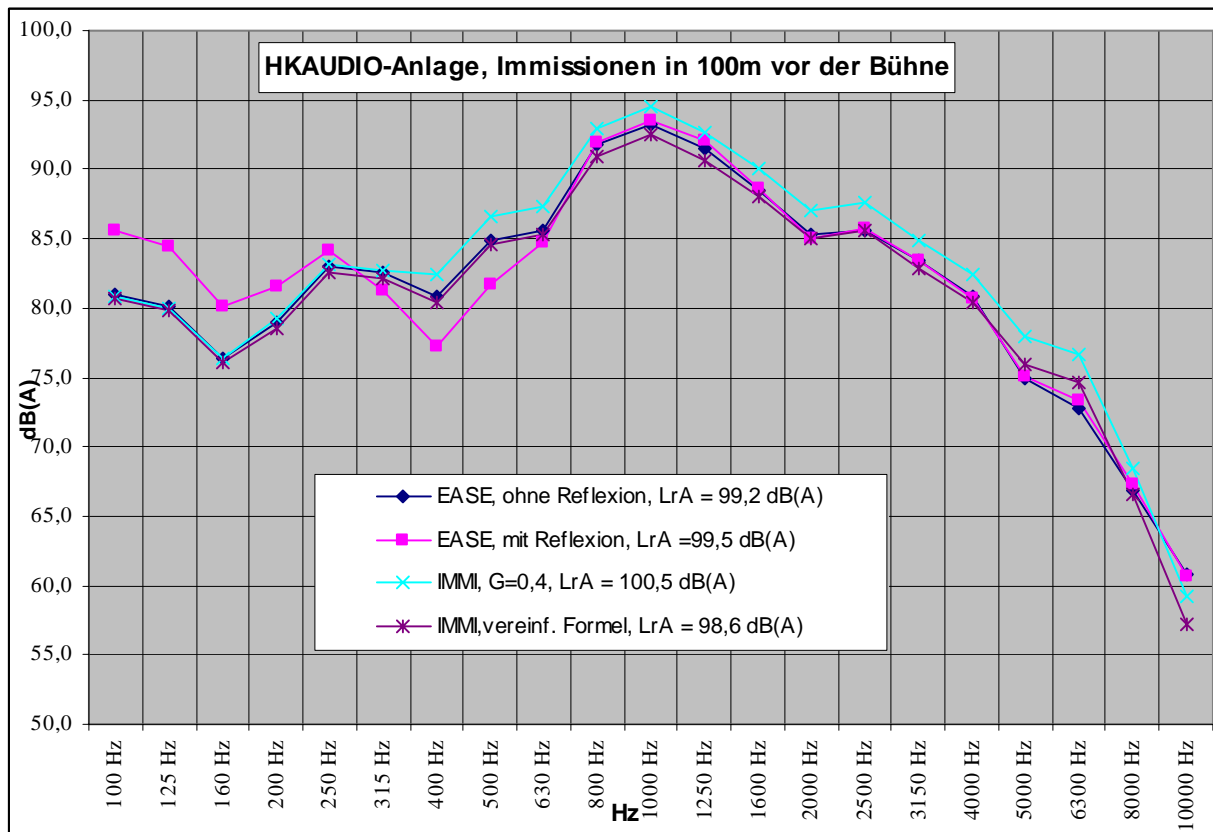


Bild 12: Zu erwartender maximaler Wert des Mittelungspegels der HKAUDIO – Anlage an einem mittig vor der Bühne in 100m Entfernung in 4m Höhe über Boden gelegenen Immissionspunkt. Berechnet mit dem Programm IMMI (Bodeneffekte nach zwei Varianten) und dem Programm EASE (ohne und mit Reflexion)
Hinweis: Alle Angaben nur für den Frequenzbereich von 100 Hz bis 10 kHz!

- Bei der Auswahl des Verfahrens zur Berücksichtigung des Bodeneffektes nach der ISO 9613-2 /4/ wird die Variante nach Abschnitt 7.3.1 mit einem Wert für den Bodenfaktor $G = 0,4$ favorisiert, da die damit berechneten Pegel etwas höher als die nach Abschnitt 7.3.2 der ISO 9613-2 berechneten sind und somit auf der „sicheren Seite“ liegen.
- Die für dieses Beispiel mit der Emissionsvariante „Mittlerer Maximalpegel“ ermittelten Immissionspegel mit Werten für den Nahbereich (30m Abstand von der Bühne) von 105,2 dB(A) (berechnet mit EASE /1/) und für die Entfernung von 100 m Abstand vor der Bühne mit ca. 101,8 dB(A) zeigen das Leistungspotential solcher Anlagen.

Entfernung zur Bühne	Immissionspegel in dB(A) 4 m ü. Gelände an Immissionspunkten		
	mittig vor der Bühne	Querab der Bühne	mittig hinter der Bühne
30 m	105*/111,2	-	-
100 m	101,8	87,2	90,0
500 m	87,1	74,3	77,3
1000m	79,6	68,7	71,7
2000 m	70,7	62,8	65,7
4000 m	61,4	56,5	59,5
8000 m	53,6	50,0	52,9

Tabelle 5: Immissionspegel für verschiedene Positionen (Schallquelle: HKAUDIO – Anlage), berechnet mit Programm IMMI /17/. Anmerkung*: Mit EASE /1/ berechneter Wert

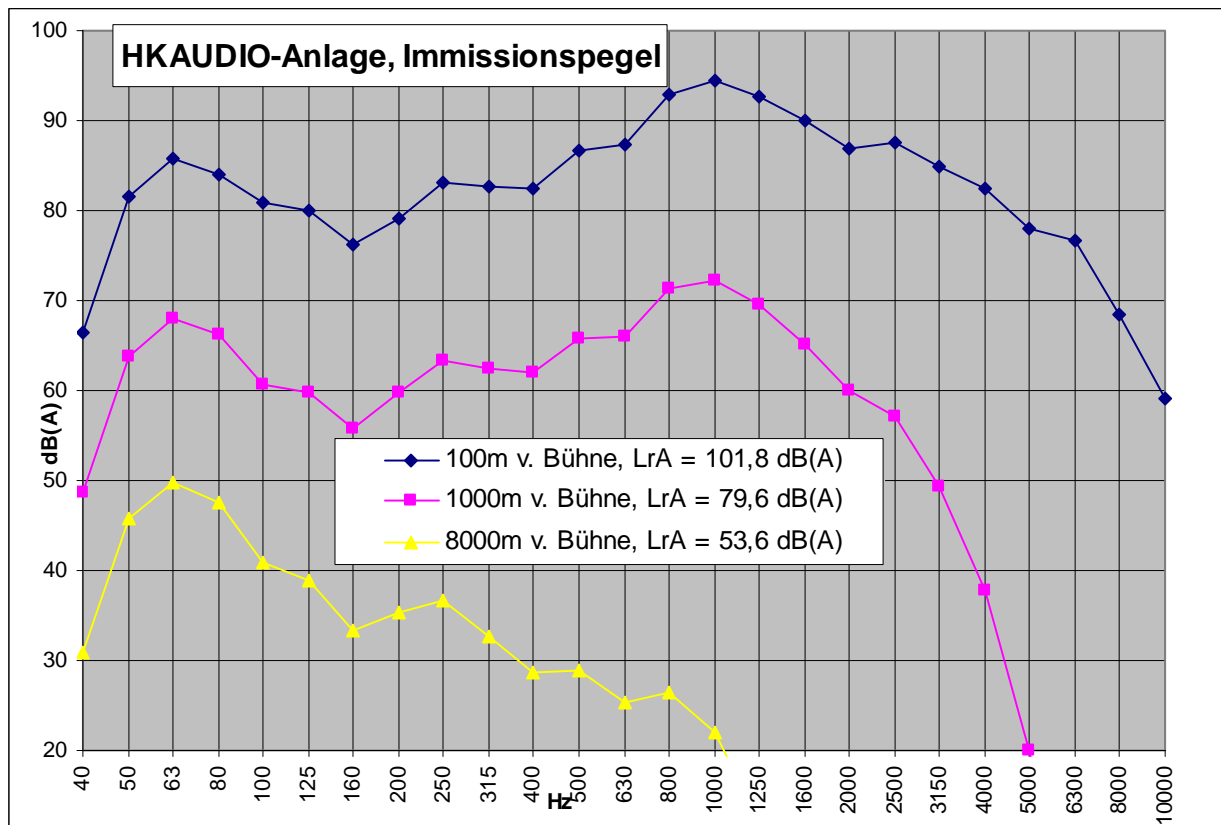


Bild 13: Veränderung der Frequenzspektren der berechneten Immissionspegel in Abhängigkeit von der Entfernung

- Aus den Angaben in Tabelle 4 wird deutlich, wie groß das Umfeld ist, das von solchen Veranstaltungen belastet wird. Die Verschiebung der Frequenzspektren mit zunehmender Entfernung in den Bereich der tiefen Frequenzen (siehe Bild 13) weist auf ein weiteres Problem hin. In größeren Entfernungen wird der ja doch beachtliche Gesamtpegel von den tiefen Frequenzen (< 100 Hz) dominiert, das sind in der Regel die als „Bum ... Bum“ wahrnehmbaren und für die nicht an der Veranstaltung interessierte Nachbarschaft äußerst störenden Geräusche.

6.2 Beispiel 2

Veranstaltungstyp:

Open – Air – Konzert einer bekannten Gesangsgruppe für ca. 7. 000 Zuschauer

Musiktyp: Rockiger Pop, Anteil der Moderation gering.

Geräuschttyp: Kurve „B“.

• Beschallungsanlage:

Hauptbeschallung: 8 Lautsprecherboxen EAW – KF 750F plus 12 Lautsprecherboxen EAW – SB 750.

Hersteller: EAW Eastern Acoustic Works (www.eaw.com)

Aufgestellt in folgender Anordnung:

Pro Bühnenseite 4 Stück EAW – KF 750F (geflogen) in quadratischer Aufhängung (2 Zeilen, 2 Spalten), 6 EAW – SB 750 pro Seite unter der Bühne als Subbass.

Mittlerer maximaler axialer Kurzzeitbelastung –Schalldruckpegel (peak SPL[1m]) für die Terzen:

KF 750:	139,8 dB (50 – 315 Hz), 141,0 dB (400 – 1,25 kHz), 145,0 dB (1,6 – >10 kHz),
SB 750P:	139,0 dB (32 Hz – 100 Hz).

Mittlerer maximaler axialer Langzeitbelastung - Schalldruckpegel (long term bzw. RMS SPL in dB, 1m) und elektrische Anschlussleistung P_{el} (RMS in W) für die Terzen:

KF 750:	133,8 dB / 1200 W (50 – 315 Hz), 135,0 dB / 400 W (400 – 1,25 kHz), 139,0 dB / 200 W (1,6 – >10 kHz),
SB 750P:	133,0 dB / 1600 W (32 Hz – 100 Hz).

Abmessungen (Hohe):

KF 750:	0,79 m,
SB 750P:	1,20 m.

Fahrweise der Anlage (Frequenzen) durch den Tontechniker:

SB 750P:	Frequenzbereich von 32 Hz bis 100 Hz,
KF 750:	Frequenzbereich von 50 Hz bis > 12 kHz.

Hinweis: Nahbereichsbeschallung und Monitoranlagen werden vernachlässigt, da sie keinen relevanten Beitrag für die Immissionen erbringen.

• **Emissionspegel der virtuellen (scheinbaren) Quelle:**

Hinweis: Es werden nur für die an einer Bühnenseite hängenden bzw. stehenden Lautsprecherboxen (4 Stück KF 750 plus 6 Stück SB 750P) die Emissionen ermittelt (siehe dazu auch Abschnitt 3.5).

Der Frequenzbereich 50 Hz bis 100 Hz wird von beiden Boxentypen übertragen, in diesem Bereich sind demnach Überlagerungen zu berücksichtigen.

Frequenzbereich mit den Terzen 31,5 Hz bis 40 Hz:

- 6 SB 750P – Boxen mit jeweils einem $SPL_{max, Langzeit, 1m} = 133,0$ dB.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – Schalldruckpegel der Gruppe in 1 m Entfernung:

$$SPL_{max\ Langzeit, virtuelle\ Quelle} = 20 \lg(6 * 10^{0,05*133,0\ dB}) = 148,6\ dB.$$

Frequenzbereich mit den Terzen 50 Hz bis 100 Hz:

- 6 SB 750P – Boxen mit jeweils einem $SPL_{max, Langzeit, 1m} = 133,0$ dB.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – Schalldruckpegel der Gruppe ‚SB 750P‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{max\ Langzeit, virtuelle\ Quelle, SB\ 750P} = 20 \lg(6 * 10^{0,05*133,0\ dB}) = 148,6\ dB.$$

- 4 KF 750 – Boxen mit jeweils einem $SPL_{max, Langzeit, 1m} = 133,8$ dB.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – SPL der Gruppe ‚KF 750‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{max\ Langzeit, virtuelle\ Quelle, KF\ 750} = 20 \lg(4 * 10^{0,05*133,8\ dB(A)}) = 145,8\ dB.$$

Gesamt virtueller max. axial. SPL ‚KF 750 + SB 750P‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{max\ Langzeit, virtuelle\ Quelle, KF750+SB750P} = 20 \lg(10^{0,05*148,6\ dB(A)} + 10^{0,05*145,8\ dB}) = 153,3\ dB$$

Frequenzbereich mit den Terzen 125 Hz bis 315 Hz:

- 4 KF 750 – Boxen mit jeweils einem $SPL_{\max, \text{Langzeit}, 1\text{m}} = 133,8 \text{ dB}$

Virtueller maximaler axialer Langzeit – SPL der Gruppe ‚KF 750‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle}} = 20 \lg(4 * 10^{0,05 * 133,8 \text{ dB}}) = 145,8 \text{ dB.}$$

Frequenzbereich mit den Terzen 400 Hz bis 1,25 kHz:

- 4 KF 750 – Boxen mit jeweils einem $SPL_{\max, \text{Langzeit}, 1\text{m}} = 135,0 \text{ dB}$.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – SPL der Gruppe ‚KF 750‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle}} = 20 \lg(4 * 10^{0,05 * 135,0 \text{ dB}}) = 147,0 \text{ dB.}$$

Frequenzbereich mit den Terzen 1,6 kHz bis 10 kHz:

- 4 KF 750 – Boxen mit jeweils einem $SPL_{\max, \text{Langzeit}, 1\text{m}} = 139,0 \text{ dB}$.

Virtueller maximaler axialer Langzeit – SPL der Gruppe ‚KF 750‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle}} = 20 \lg(4 * 10^{0,05 * 139,0 \text{ dB}}) = 151,0 \text{ dB.}$$

• **Frequenzspektrum:**

Es wird das normierte lineare Frequenzspektrum „B“ aus der Anlage A 15-2, Spalte 3, für die Immissionsprognose genutzt

(Open – Air – Konzert für ca. 7. 000 Zuschauer, rockiger Pop, relativ wenig Moderation)

• **Headroom (Übersteuerungsbereich):**

Aus dem Frequenzspektrum der Kurve „B“ (siehe Anlage A 15-2, Spalte 3) ist ersichtlich, dass der Maximalwert bei der Terz 40 Hz liegt. Bei allen anderen Terzen liegt der Pegelwert zwar unter diesem Maximalwert, die Summe aller relativen Pegelwerte liegt aber bei +3,8 dB.

Der Übersteuerungsbereich (Headroom) wird um diesen Betrag erweitert (d. h., 6 dB + 3,8 dB).

Bei der 40 Hz – Terz ist der virtuelle maximale axiale Langzeit – $SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle}, 40\text{Hz}} = 148,6 \text{ dB}$ (siehe oben, Frequenzbereich 31,5 – 40 Hz).

Demnach hat bei dieser 40 Hz – Terz die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches den Betrag: $148,6 \text{ dB} - 3,8 \text{ dB} = 144,8 \text{ dB}$.

Der Übersteuerungsbereich selbst beträgt bei der 40 Hz – Terz 9,8 dB, bei allen anderen Terzen ist der Abstand zwischen dem (mittleren) wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ und der unteren Grenze des Übersteuerungsbereiches z. T. erheblich (siehe Bild 14).

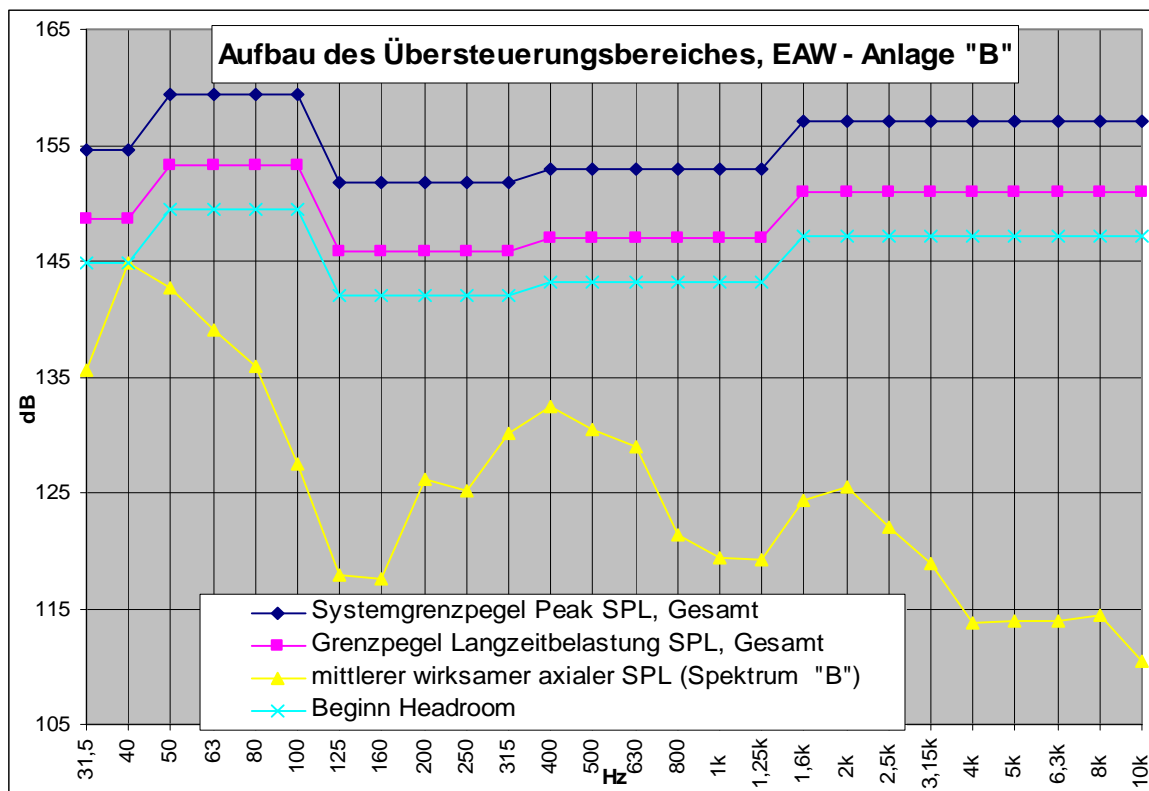


Bild 14: Aufbau des Übersteuerungsbereiches (Headroom) für die virtuelle Quelle (Halbseitenanlage) (die Differenz zwischen den Systemgrenzpegeln „Peak“ und „Langzeit“ beträgt 6 dB, die zwischen dem Pegelwert für die Terz 40 Hz der Kurve „B“ und dem Systemgrenzpegel „Langzeit“ 3,8 dB)
Hinweis: Der Anstieg der Systemgrenzpegel bei den Terzen 50 Hz bis 100 Hz beeinflusst beim Geräuschtyp „B“ nicht die Werte für den mittleren wirksamen axialen SPL!

Bei einer mit dieser Anlage veranstalteten musikalischen Freiluftveranstaltung, deren Veranstaltungsgeräusch im Mittel ein Spektrum aufweist, das der Kurve „B“ folgt (siehe Bild 14), werden die mittleren wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{Terz, virtuelle\ Quelle}$ der die Anlage (nur eine Bühnenseite!) charakterisierenden virtuellen Quelle (nur eine Bühnenseite!) die in der Tabelle 5a aufgeführten Werte aufweisen.

Der mittlere wirksame axiale Schalldruckpegel SPL für die Terzen wurde ermittelt, indem zum wirksamen axialen Schalldruckpegel der 40 Hz – Terz (= 144,8 dB, das ist gleichzeitig der untere Grenzbereich des Headrooms) der Differenzwert entsprechend Anlage A 15-2, Spalte 3, addiert wurde.

Beispiel für die Terz 400 Hz: wirksamer axialer $SPL_{Terz\ 400Hz, virtuelle\ Quelle} = 144,8 - 12,3 = 132,5$ dB.
In der Tabelle 5a sind die Werte für alle Terzen aufgeführt.

Terz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
SPL_{Terz} in dB	135,6	144,8	142,7	139,0	135,9	127,5	117,9	117,5	126,1
Terz in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
SPL_{Terz} in dB	125,2	130,2	132,5	130,5	128,9	121,4	119,4	119,3	124,4
Terz in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
SPL_{Terz} in dB	125,5	122,0	118,9	113,8	113,9	113,9	114,4	110,4	148,5

Tabelle 5a: Wirksamer mittlerer axiale Schalldruckpegel $SPL_{Terz, virtuelle\ Quelle}$ für die Terzen 31,5 Hz bis 10 kHz in dB/1m (alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „B“) der virtuellen Quelle

Der Summenpegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle beträgt (siehe Tabelle 5a) $SPL_{gesamt, virtuelle\ Quelle} = 148,5$ dB.

• **Schalleistungspegel:**

Der wirksame maximale Schalleistungspegel der Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle ist entsprechend Gl. 3.14a

$$L_{w,gesamt, virtuelle Quelle} = SPL_{gesamt, virtuelle Quelle} + 11\text{dB}$$

und somit

$$L_{w,gesamt, virtuelle Quelle} = 148,5 + 11 = 159,5 \text{ dB.}$$

Die Tabelle 6 zeigt die Werte für die Terzen.

Terz	in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{w, Terz}$	in dB	146,6	155,8	153,7	150,0	146,9	138,5	128,9	128,5	137,1
Terz	in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
$L_{w, Terz}$	in dB	136,2	141,2	143,5	141,5	139,9	132,4	130,4	130,3	135,4
Terz	in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
$L_{w, Terz}$	in dB	136,5	133,0	129,9	124,8	124,9	124,9	125,4	121,4	159,5

Tabelle 6: Wirksamer Schalleistungspegel $L_{w, Terz, virtuelle Quelle}$ für die Terzen 31.5 Hz bis 10 kHz (alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „B“) der virtuellen Quelle

• **Richtcharakteristik:**

Das Richtwirkungsmaß für das aus den Lautsprecherboxen KF 750 und SB 750P bestehende Anlagenteil ist in der Tabelle 7 ausgewiesen. Die Angaben für die Lautsprecherbox KF 750 lagen in graphischer Form (Ulysses – Daten /2/) wie auch tabellarisch (EASE /1/) für die Oktaven bzw. Terzen ≥ 100 Hz vor (siehe Anlage A 16-5). Die Werte für die Oktave 63 Hz sind abgeleitete Werte.

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz							
	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	-1	-1,75	-4,75	-9,75	-10,75	-11,75	-14,25
60	0	-2,50	-5,50	-14,5	-16,25	-16,00	-21,25	-25,50
90	0	-4,50	-8,25	-19,50	-22,0	-24,75	-31,50	-37,00
120	0	-6,20	-10,75	-20,50	-24,75	-31,50	-42,75	-48,25
150	0	-7,50	-10,75	-22,00	-26,50	-35,00	-47,00	-52,75
180	0	-8,00	-9,50	-15,75	-20,00	-37,50	-46,25	-51,50

Tabelle 7: Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene der Halbseitenanlage des Beispiels 2

• **Simulation der Gesamtanlage:**

Die Simulation folgt dem im Abschnitt 6.1 beschriebenen Vorgehen.

- Auf jeder der zwei Außenseiten der Bühne wird eine Schallquelle positioniert.
Schalleistungspegel jeder der beiden Quellen $L_{w,gesamt, virtuelle Quelle} = 159,5 \text{ dB}$ (Terzen siehe Tabelle 6).
Richtwirkungsmaß jeder der beiden Quellen: Tabelle 7.
- Ersatzschallquelle (in der Mitte zwischen den anderen beiden Quellen positioniert):
Schalleistungspegel $L_{w,gesamt, Ersatzschallquelle} = 159,5 + 3\text{dB} = 162,5 \text{ dB}$.
Richtwirkungsmaß: Tabelle 8 (die Werte für den Winkelbereich 0° bis 2° und 178° bis 180° müssen denen entsprechen, die für die anderen beiden Quellen gültig sind, siehe Tabelle 7).

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz							
	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0 -2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
2 -5	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60
5 - 175	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60
175 - 178	-60/0	-60/-8	-60/-9,5	-60/-15,8	-60/-20	-60/-37,5	-60/-46,3	-60/-51,5
178 - 180	0/0	-8/-8	-9,5/-9,5	-15,8/ -15,8	-20/-20	-37,5/ -37,5	-46,3/ -46,3	-51,5/ -51,5

Tabelle 8: Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene der Ersatzschallquelle

Bodeneffekte:

Siehe Abschnitt 6.1.

• **Simulationsergebnisse:**

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen die Bilder 15 und 16, die Tabelle 9 und die Bilder in den Anlagen A 16-4 und A 16-5.

Ergebnisdiskussion:

- Die Bilder 15 und A 16-6 zeigen auch bei diesem Beispiel, dass mit dem genutzten Modell die Immissionssituationen musikalischer Freiluftveranstaltung mit den im Lärmschutz zur Zeit genutzten Softwareprogrammen außerhalb des Nahbereiches relativ gut simuliert werden können. Diese Aussage bezieht sich besonders auf den A – bewerteten Summenpegel. Bei der Entfernung von 100m liegen z. B. die Differenzen zwischen den mit EASE /1/ (mit Reflexion) und denen mit IMMI /1/ berechneten Pegelwerten im Bereich 2 dB(A) und weniger.
- Ein Vergleich bei größeren Entfernungen ist problematisch, da das Programm EASE /1/ keine Beugung berücksichtigt und auch die Dämpfung auf Grund der Luftabsorption nicht nach der DIN ISO 9613-2 /4/ berechnet wird.
- Im Nahbereich (Entfernung 30 m, siehe Anlage A 16-6, obere Graphik) liegen die mit dem Programm IMMI berechneten A – bewerteten Summenpegel ca. 3 dB (A) höher als die Pegel, die mit EASE /1/ berechnet wurden. Der Vergleich mit Beispiel 1 (5 dB(A) – Differenz) zeigt erwartungsgemäß, dass für diese Differenzen im Nahfeld keine feste Größe definiert werden kann.
- Beim gegebenen Beispiel ist der Einfluss der Bodenreflexion auf den A – bewerteten Immissionspegel gering (siehe Bilder 15 und A 16-6, Kurven für EASE ohne und EASE mit Reflexion). Unabhängig davon führen bei den tiefen Frequenzen (< 125 Hz) wie auch beim Beispiel 1 die Reflexionseffekte konstant zu einem Anstieg der Pegelwerte. Das ist vor allem bei den Werten < 100 Hz zu erwarten, die mit dem Programm EASE /1/ nicht erfasst werden können. Die Simulationsergebnisse mit MAPP – Online /11/ der Fa. Meyersound (siehe Anlage A 14- 1 bis 14-5) bestätigen dies. Höhere Pegelwerte bei den tiefen Terzen bewirken praktisch nur bei großen Entfernungen einen Pegelanstieg des A - bewerteten Summenpegels. Um diesen Effekt in das Simulationsmodell einzubringen, wird folgendes Vorgehen favorisiert:
 - Die wirksamen Terz - Schalleistungspegel (Tabelle 6) werden für die Terzen 31,5 Hz bis 100 Hz bzw. 125 Hz um den Betrag angehoben, der vom Gutachter als zusätzlicher Reflexionsanteil (der sonst nicht über das Softwareprogramm berechnet wird) angesehen wird. Für die Terzen 31,5 Hz bis 100 Hz ist der Betrag 3 dB wahrscheinlich angemessen. Die anderen Terzen – Schalleistungspegel behalten ihren Wert.
 - Diese mit dem zusätzlichen Reflexionsanteil berichtigten Werte werden sowohl den beiderseits der Bühne positionierten Einzel - Schallquellen wie auch – um 3 dB

angehoben – der in der Mitte zwischen diesen beiden Quellen positionierten dritten (Ersatzschall -) Quelle zugeordnet.

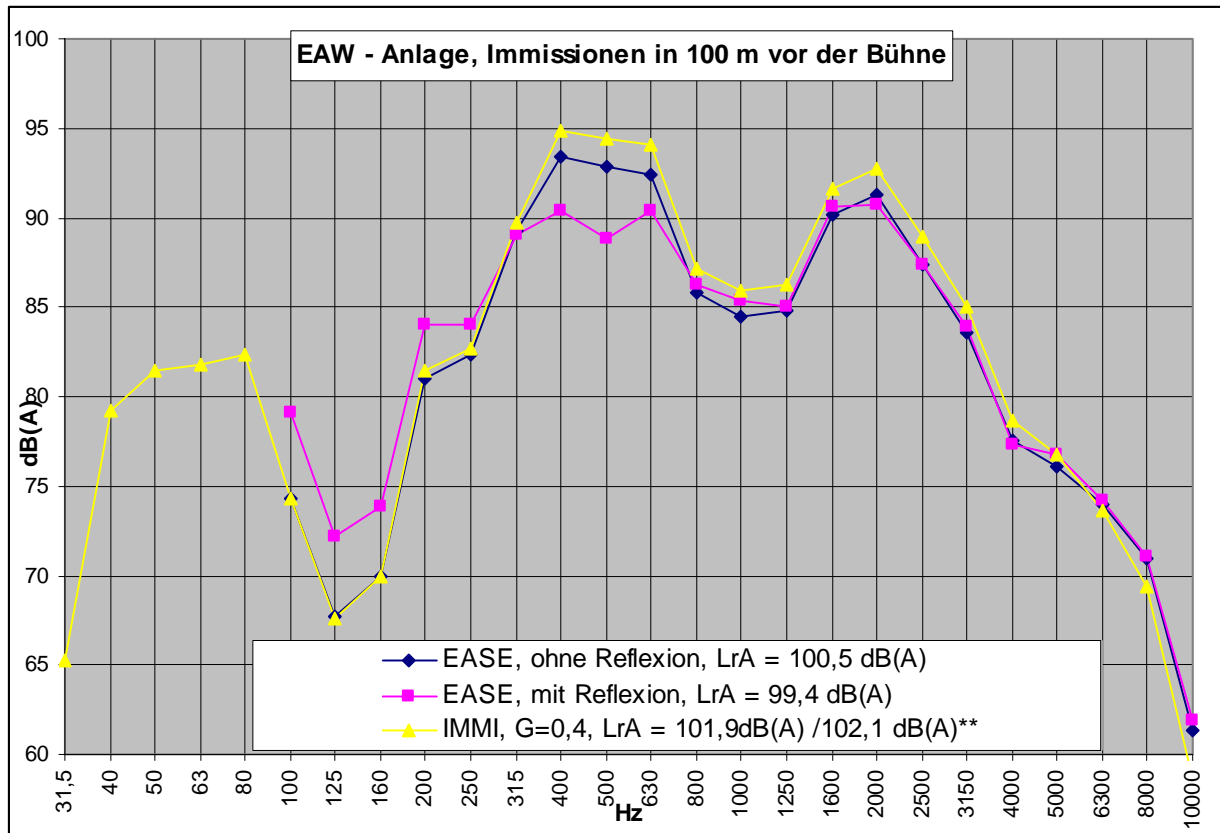


Bild 15: Zu erwartender maximaler Wert des Mittelungspegels der EAW – Anlage (Geräuschtyp „B“) an einem mittig vor der Bühne in 100m Entfernung in 4m Höhe über Boden gelegenen Immissionspunkt. Berechnet mit dem Programm IMMI und dem Programm EASE (ohne und mit Reflexion)
Anmerkung **: Immissionspegel für Frequenzbereich von 31,5 Hz bis 10 kHz

- Der Vergleich der Beispiele 1 und 2 zeigt folgendes:
 - Die Immissionspegel liegen bei der EAW – Anlage (Beispiel 2, Tabelle 9) mittig vor der Bühne bis zu einer Entfernung von ca. 100m geringfügig über denen, die von der HKAUDIO – Anlage (Beispiel 1, Tabelle 5) verursacht werden. Querab der Bühne und hinter der Bühne liegen die Pegel der EAW – Anlage unter denen der HKAUDIO – Anlage. Der Vergleich der beiden Bilder A 16-3 und A 16-4 zeigt das relativ deutlich. Aus Lärmschutzgründen ist die EAW – Anlage mit ihrer stärkeren Dämpfung bei der Abstrahlung nach der Seite und nach Hinten (Richtcharakteristik!) der HKAUDIO – Anlage vorzuziehen.
 - Obwohl die elektrische Anschlussleistung P_{el} (RMS) beider Anlagen erheblich differieren, die der EAW – Anlage beträgt 33,6 kW, die der HKAUDIO – Anlage 18 kW, ist der zu erwartende maximale Wert des Mittelungspegels (Immissionspegel) bei beiden Anlagen nahezu gleich. Das zeigt, dass eine prognostische Abschätzung der Immissionen über die elektrische Anschlussleistung P_{el} , wie sie z. B. in /13/ vorgeschlagen wird, einer erheblichen Streubreite unterworfen ist.

Entfernung zur Bühne	Immissionspegel in dB(A) 4 m ü. Gelände an Immissionspunkten		
	mittig vor der Bühne	querab der Bühne	mittig hinter der Bühne
30 m	108**/111,5	-	-
100 m	102,1	86,7	89,7
500 m	87,7	73,5	76,8
1000m	80,5	67,8	71,0
2000 m	72,1	61,7	64,8
4000 m	62,4	55,2	58,2
8000 m	52,6	48,5	51,5

Tabelle 9: Immissionspegel für verschiedene Positionen, berechnet mit Programm IMMI /17/ (Schallquelle: EAW – Anlage, Geräuschtyp „B“) Anmerkung**: Mit EASE /1/ berechneter Wert

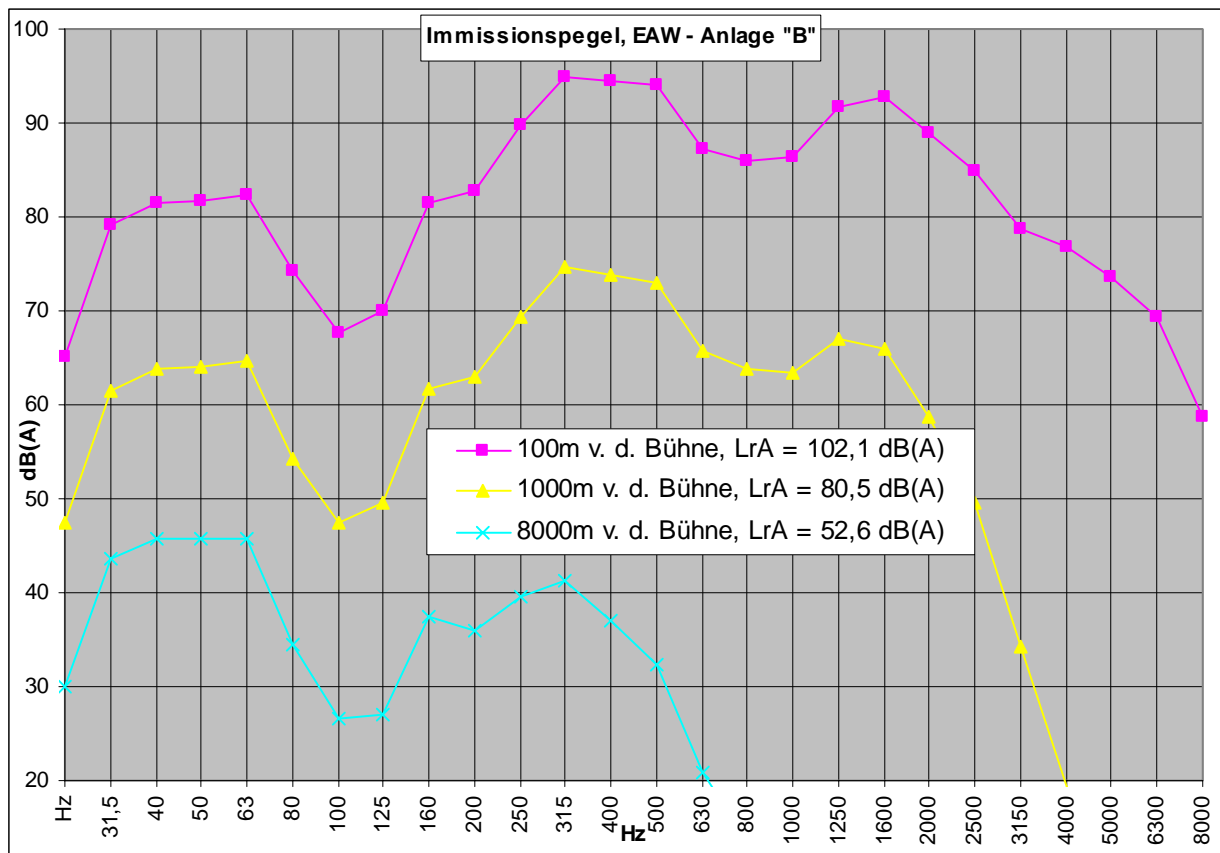


Bild 16: Veränderung der Frequenzspektren der berechneten Immissionspegel in Abhängigkeit von der Entfernung (EAW – Anlage, Geräuschtyp „B“)

6.3 Beispiel 3

Veranstaltungstyp:

Open – Air – Veranstaltung für ca. 5. 000 Zuschauer

Musiktyp: Gesponserte Veranstaltung mit Einzelinterpreten und Gruppen, hauptsächlich Pop, dazu mit einem Anteil von ca. 20 % Moderation (Spiele unter Einbeziehung der Zuschauer usw.)

Geräuschtyp: Kurve „D“.

- **Beschallungsanlage:**

Die Beschallungsanlage ist die gleiche wie beim Beispiel 2!

Hauptbeschallung: 8 Lautsprecherboxen EAW – KF 750F plus 12 Lautsprecherboxen EAW – SB 750.

Hersteller: EAW Eastern Acoustic Works (www.eaw.com)

Aufgestellt in folgender Anordnung:

Pro Bühnenseite 4 Stück EAW – KF 750F (geflogen) in quadratischer Aufhängung (2 Zeilen, 2 Spalten), 6 EAW – SB 750 pro Seite unter der Bühne als Subbass.

- **Emissionspegel der virtuellen (scheinbaren) Quelle**

Die gleichen Werte wie im Beispiel 2!

- **Frequenzspektrum:**

Es wird das normierte lineare Frequenzspektrum „D“ aus der Anlage A 15-2, Spalte 4, für die Immissionsprognose genutzt

- **Headroom (Übersteuerungsbereich):**

Aus dem Frequenzspektrum der Kurve „D“ (siehe Anlage A 15-2, Spalte 4) ist ersichtlich, dass der Maximalwert bei der 50 Hz - Terz liegt. Bei allen anderen Terzen liegt der Pegelwert zwar unter diesem Maximalwert, die Summe aller relativen Pegelwerte liegt aber bei +4,8 dB.

Der Übersteuerungsbereich (Headroom) wird um diesen Betrag erweitert (d. h., 6 dB + 4,8 dB).

Bei der 50 Hz - Terz ist der virtuelle maximale axiale Langzeit – SPL_{max Langzeit, virtuelle Quelle, 50Hz} = 153,3 dB (siehe Beispiel 2, Frequenzbereich 50 Hz – 100 Hz).

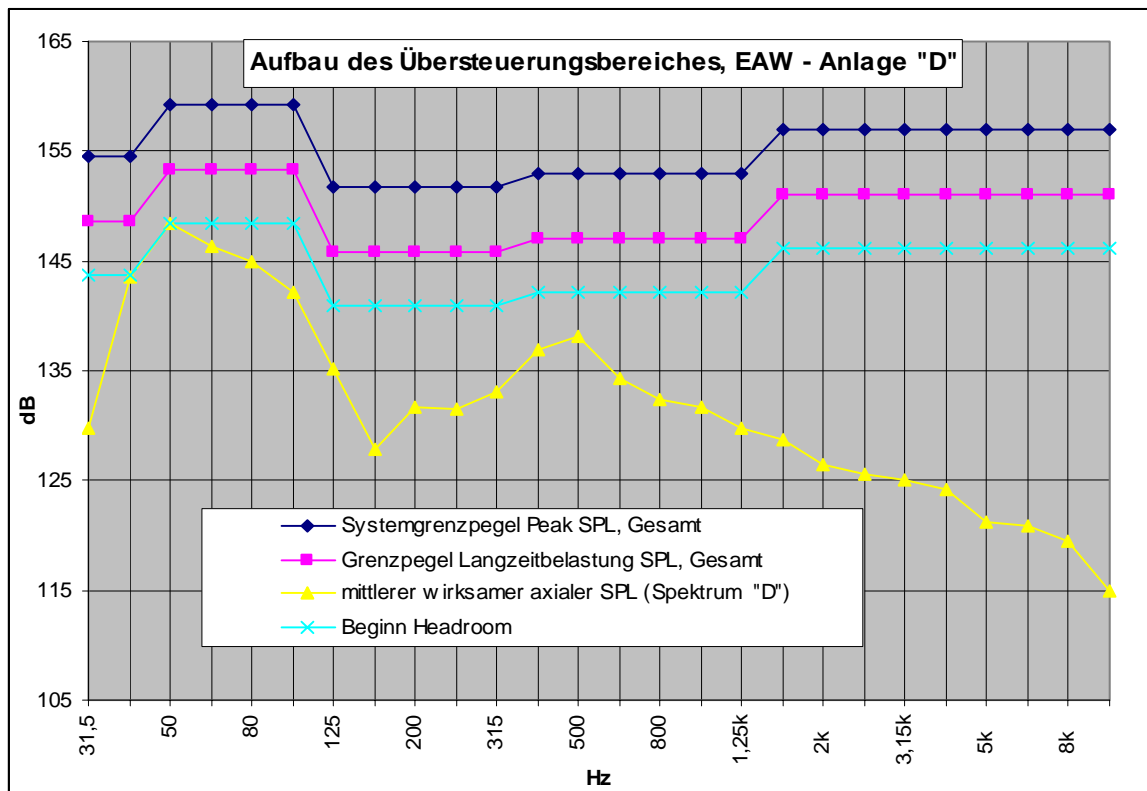


Bild 17: Aufbau des Übersteuerungsbereiches (Headroom) für die virtuelle Quelle (Halbseitenanlage) (die Differenz zwischen den Systemgrenzpegeln „Peak“ und „Langzeit“ beträgt 6 dB, die zwischen dem Pegelwert für die Terz 50 Hz der Kurve „D“ und dem Systemgrenzpegel „Langzeit“ 4,8 dB)

Demnach hat bei dieser 50 Hz – Terz die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches den Betrag: 153,3 dB – 4,8 dB = 148,5 dB.

Zusätzlich musste überprüft werden, ob der Wert für die 40 Hz – Terz den gewählten Wert für den unteren Grenzbereich des Headrooms nicht überschritten hat.

Bei der 40 Hz - Terz ist der virtuelle maximale axiale Langzeit – $SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle, 40Hz}} = 148,6 \text{ dB}$ (siehe Beispiel 2, Frequenzbereich 31,5 Hz – 40 Hz).

Demnach hat bei der 40 Hz – Terz die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches den Betrag: 148,6 dB – 4,8 dB = 143,8 dB. Da bei der 40 Hz – Terz lt. Tabelle 10 der wirksame axiale $SPL_{\text{Terz } 40\text{Hz, virtuelle Quelle}} = 143,5 \text{ dB}$ beträgt (siehe Tabelle 10), wird der untere Grenzbereich des Übersteuerungsbereiches nicht überschritten.

Hinweis: Der Anstieg des Systemgrenzpegels bei den Terzen 50 Hz – 100 Hz beruht darauf, dass beide Lautsprechertypen (KF 750F und SB 750) diesen Frequenzbereich überdecken.

Wäre dem nicht so, würde der Systemgrenzpegel und damit auch der mittlere wirksame Emissionspegel niedriger liegen.

Der Übersteuerungsbereich selbst beträgt bei der 50 Hz – Terz 10,8 dB, bei allen anderen Terzen ist der Abstand zwischen dem (mittleren) wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ und der unteren Grenze des Übersteuerungsbereiches z. T. erheblich (siehe Bild 17).

Bei einer mit dieser Anlage veranstalteten musikalischen Freiluftveranstaltung, deren Veranstaltungsgeräusch im Mittel ein Spektrum aufweist, das der Kurve „D“ folgt (siehe Bild 17), werden die mittleren wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ der die Anlage (nur eine Bühnenseite!) charakterisierenden virtuellen Quelle die in der Tabelle 10 aufgeführten Werte aufweisen.

Der mittlere wirksame axiale Schalldruckpegel SPL für die Terzen wurde ermittelt, indem zum wirksamen axialen Schalldruckpegel der 50 Hz – Terz = 148,5 dB, das ist gleichzeitig der untere Grenzbereich des Headrooms, der Differenzwert entsprechend Anlage A 15-2, Spalte 4, addiert wurde.

Beispiel für die Terz 400 Hz: wirksamer axialer $SPL_{\text{Terz } 400\text{Hz, virtuelle Quelle}} = 148,5 - 11,5 = 137,0 \text{ dB}$.

Terz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
SPL_{Terz} in dB	129,8	143,5	148,5	146,4	144,9	142,2	135,1	127,9	131,7
Terz in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
SPL_{Terz} in dB	131,6	133,1	137,0	138,2	134,4	132,4	131,6	129,8	128,8
Terz in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
SPL_{Terz} in dB	126,4	125,6	125,1	124,2	121,2	120,9	119,5	114,9	153,3

Tabelle 10: Wirksamer mittlerer axiale Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ für die Terzen 31,5 Hz bis 10 kHz in dB/1m (EAW – Anlage, alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „D“) der virtuellen Quelle

Der Summenpegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle beträgt (siehe Tabelle 10) $SPL_{\text{gesamt, virtuelle Quelle}} = 153,3 \text{ dB}$.

- **Schalleistungspegel:**

Der wirksame maximale Schalleistungspegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle ist entsprechend Gl. 3.14a

$$L_{W, \text{gesamt, virtuelle Quelle}} = SPL_{\text{gesamt, virtuelle Quelle}} + 11 \text{ dB}$$

und somit

$$L_{w, \text{gesamt, virtuelle Quelle}} = 153,3 + 11 = 164,3 \text{ dB.}$$

Die Tabelle 11 zeigt die Werte für die Terzen.

Terz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
L _{w, Terz} in dB	140,8	154,5	159,5	157,4	155,9	153,2	146,1	138,9	142,7
Terz in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
L _{w, Terz} in dB	142,6	144,1	148,1	149,2	145,4	143,4	142,6	140,8	139,8
Terz in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
L _{w, Terz} in dB	137,4	136,6	136,1	135,2	132,2	131,9	130,5	125,9	164,3

Tabelle 11: Wirksamer Schallleistungspegel L_{w, Terz, virtuelle Quelle} für die Terzen 31,5 Hz bis 10 kHz (EAW – Anlage, alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „D“) der virtuellen Quelle

- Schallleistungspegel der Ersatzschallquelle:
L_{w, gesamt, Ersatzschallquelle} = 164,3 + 3dB = 167,3 dB.
Die Schallleistungspegel der Terzen der Ersatzschallquelle entsprechen denen der Tabelle 11, die jeweils um 3 dB angehoben wurden.

- **Richtcharakteristik:**

Siehe Beispiel 2 (Abschn. 6.2).

- **Simulation der Gesamtanlage:**

Siehe Beispiel 2 (Abschn. 6.2).

- **Simulationsergebnisse:**

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigt das Bild 18 und die Tabelle 12.

Ergebnisdiskussion:

- Erwartungsgemäß liegen die Immissionspegel bei diesem Beispiel um mehr als 6 dB(A) über den Werten, die bei der Geräuschvariante „B“ (Beispiel 2) prognostiziert wurden (gleiche Anlage, jedoch andere Konfiguration der Untergrenze des Headrooms).
- Auffallend auch hier die gute Anpassung der mit dem Programm IMMI berechneten Werte an die mit EASE für die Version „ohne Reflexion“ berechneten (siehe Bild 18).
- Zusätzlich wurde eine Variante berechnet, bei der wie oben vorgeschlagen (siehe Beispiel 2, unter Simulationsergebnis), die Terzen zwischen 31,5 Hz bis 100 Hz um 3 dB und die Frequenz 125 Hz um 2 dB angehoben wurden. Die Ergebnisse zeigen die in der Tabelle 12 in Klammern gesetzten Werte und die Kurve im Bild 18. Das Anheben der tiefen Frequenzen wirkt sich beim A – bewerteten Summenpegel erst ab Entfernungen von 4000 m aus, nämlich dann, wenn die tiefen Frequenzen den Summenpegel bestimmen.
- Im Nahbereich (Entfernung 30 m, siehe Tabelle 12) liegen die mit dem Programm IMMI berechneten A – bewerteten Summenpegel ebenso wie beim Beispiel 2 ca. 3 dB (A) höher als die Pegel, die mit EASE /1/ berechnet wurden.

Entfernung zur Bühne	Immissionspegel in dB(A) 4 m ü. Gelände an Immissionspunkten		
	mittig vor der Bühne	querab der Bühne	mittig hinter der Bühne
30 m	114**/117,7 (118)	-	-
100 m	108,4 (108,6)	93,5 (95,8)	96,4 (98,6)
500 m	94,2 (94,5)	80,3 (82,9)	83,5 (85,9)
1000m	87,1 (87,1)	74,7 (77,3)	77,8 (80,3)
2000 m	78,6 (79,4)	68,6 (71,3)	71,6 (74,3)
4000 m	68,9 (70,5)	62,2 (65,0)	65,1 (67,9)
8000 m	59,5 (62,1)	55,5 (58,4)	58,3 (61,3)

Tabelle 12: Immissionspegel für verschiedene Positionen, berechnet mit Programm IMMI /17/ (Schallquelle: EAW – Anlage, Geräuschtyp „D“)

Anmerkung**: Mit EASE /1/ berechneter Wert.

In Klammern: Terzen v. 31,5 bis 100 Hz um 3dB, 125 Hz um 2 dB angehoben.

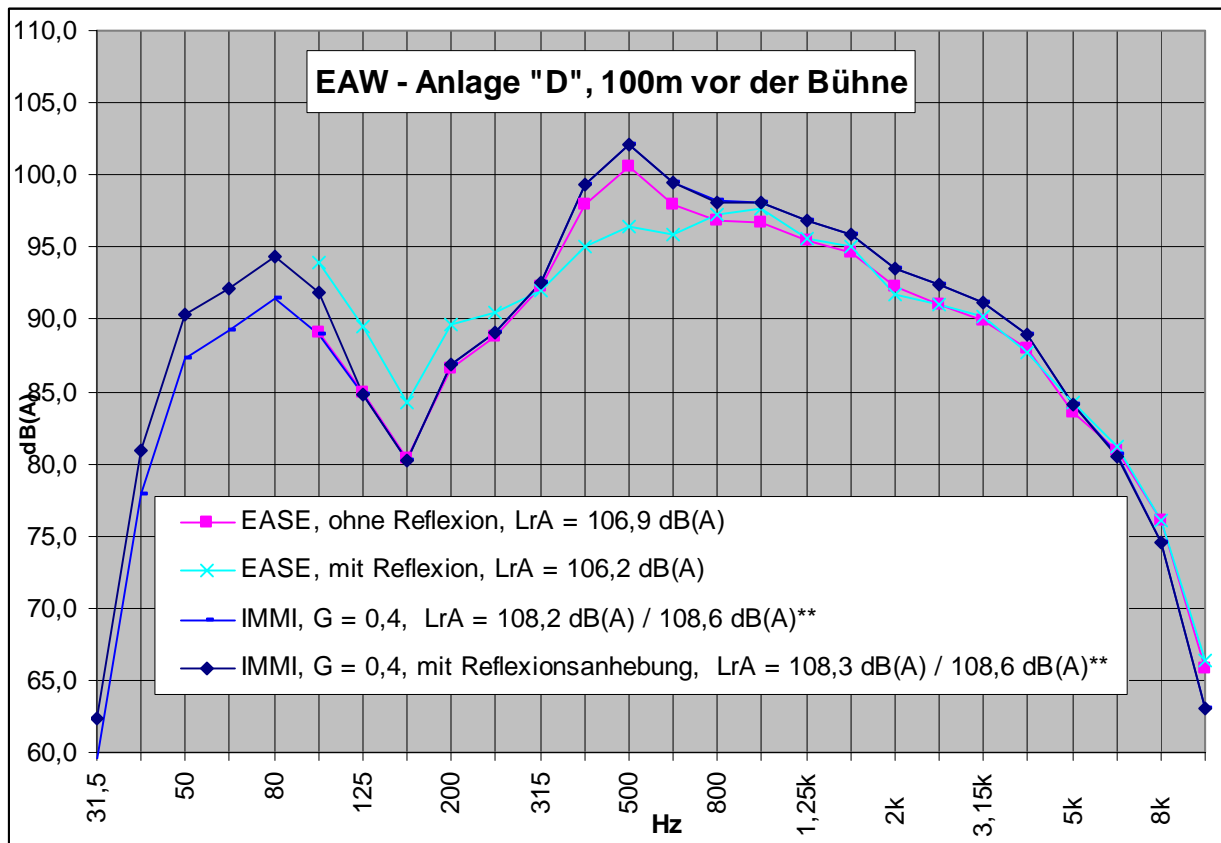


Bild 18: Zu erwartender maximaler Wert des Mittelungspegels der EAW – Anlage (Geräuschtyp „D“) an einem mittig vor der Bühne in 100m Entfernung in 4m Höhe über Boden gelegenen Immissionspunkt. Berechnet mit dem Programm IMMI und dem Programm EASE (ohne und mit Reflexion)
Anmerkung **: Immissionspegel für Frequenzbereich von 31,5 Hz bis 10 kHz

6.4 Beispiel 4

Veranstaltungstyp:

Open – Air – Veranstaltung für ca. 15. 000 Zuschauer
Musiktyp: Rock (Peter – Maffay – Open Air Konzert)
Geräuschtyp: Kurve „A“.

- **Beschallungsanlage:**
- Hauptbeschallung: Pro Seite 10 Stück Meyersound M3D (Vertikalarray), geflogen, plus 6 Stück Subbass M3DSub (zwei Stapel zu je 3 Stück nebeneinander), plus 2 Stück MSL4 als Nahbeschallung (auf dem Subbass – Stapel je 1 MSL4).
- Hersteller: Meyer Sound Laboratories Inc. (www.meyersound.com)
- Maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]):

M3D:	145 dB/1m (35 Hz - 16 kHz),
M3DSUB:	140 dB/1m (28 Hz - 100 Hz),
MSL-4:	140 dB/1m (65 Hz – 18 kHz).

Abmessungen (Hohe):

M3D:	0,51 m,
M3DSUB:	0,51 m.

Fahrweise der Anlage (Frequenzen) durch den Tontechniker:

M3D: Frequenzbereich von 32 Hz bis 100 Hz,

M3DSUB: Frequenzbereich von 50 Hz bis > 12 kHz.

Hinweis: Nahbereichsbeschallung mit MSL 4 und Monitoranlagen werden vernachlässigt, da sie keinen relevanten Beitrag für die Immissionen erbringen.

• **Frequenzspektrum:**

Es wird das normierte lineare Frequenzspektrum „A“ aus der Anlage A 15-2, Spalte 2, für die Immissionsprognose genutzt.

Maximalpegel des Spektrums bei Frequenz: 50 Hz.

Normierter Summenpegel des Spektrums: 4,2 dB.

• **Wirksamer axialer Gesamt - Emissionspegel:**

Hinweis: Es werden nur für die an einer Bühnenseite hängenden bzw. stehenden Lautsprecherboxen (10 Stück M3D plus 6 Stück M3DSUB) die Emissionen ermittelt (siehe dazu auch Abschnitt 3.5).

Der Frequenzbereich 31,5 Hz bis 100 Hz wird von beiden Boxentypen übertragen, in diesem Bereich sind demnach Überlagerungen zu berücksichtigen.

Frequenzbereich mit den Terzen 31,5 Hz bis 40 Hz:

Aus Berechnungen mit dem Programm MAPP – Online™ /11/ der Fa. Meyer Sound Laboratories Inc. wurden die in der Tabelle 13 aufgeführten maximalen axialen Peak – SPL für die M3D – und die M3DSUB – Box abgeleitet.

	Maximaler axialer Peak – SPL in dB@1m					
	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
M3D	129,2	137,2	142,1	142,4	143,2	141,5
M3DSUB	135,1	138,3	139,3	140,0	136,2	127,9

Tabelle 13: Maximaler axialer Schalldruckpegel (Peak) @ 1m für die Lautsprecherbox M3D und die Lautsprecherbox M3DSUB

Der axiale Langzeit – Schalldruckpegel $SPL_{\max \text{ Langzeit}}$ wird mit 6 dB niedriger angesetzt.

Den virtuellen maximalen axialen Langzeit – Schalldruckpegel der Gruppe in 1m Entfernung:

$SPL_{\max \text{ Langzeit, virtuelle Quelle}}$ für den Frequenzbereich 31,5 Hz – 100 Hz zeigt die Tabelle 14.

	Maximaler axialer Langzeit – SPL in dB@1m – Gesamt					
	31,5 Hz	40 Hz	50 Hz	63 Hz	80 Hz	100 Hz
10 M3D – Boxen $20 \lg(10 * 10^{0,05 * SPL \text{ dB}})$	143,2	151,2	156,1	156,4	157,2	155,5
M3DSUB $20 \lg(6 * 10^{0,05 * SPL \text{ dB}})$	144,6	147,8	148,8	149,5	145,1	124,4
Gesamt: $20 \lg(10^{0,05 * SPL \text{ M3D dB}} + 10^{0,05 * SPL \text{ SUB dB}})$	150,0	155,7	159,2	159,6	159,3	156,5

Tabelle 14: Maximaler axialer Gesamt – Langzeit $SPL_{\max, \text{Langzeit, virtuelle Quelle}}$ für den Frequenzbereich 31,5 Hz bis 100 Hz der virtuellen Quelle

Frequenzbereich mit den Terzen 125 Hz bis 10 kHz:

- 10 M3D – Boxen jeweils einem $SPL_{max, Langzeit, 1m} = 139,0$ dB.

Gesamtsumme maximaler axialer Langzeit – SPL der Gruppe ‚M3D‘ in 1m Entfernung:

$$SPL_{max\ Langzeit, virtuelle\ Quelle, M3D} = 20 \lg(10 * 10^{0,05 * 139\ dB}) = 159\ dB.$$

• **Headroom (Übersteuerungsbereich):**

Die Summe aller relativen Pegelwerte des Frequenzspektrums der Kurve „A“ (siehe Anlage A 15-2, Spalte 2) beträgt +4,2 dB.

Um den maximalen axialen Langzeit – $SPL_{max\ Langzeit, 1m}$ weder durch den Summenpegel noch durch die der Terzen bei Langzeitbelastung zu überschreiten, ist der untere Grenzbereich des Headrooms um diese 4,2 dB zu senken (siehe Bild 19).

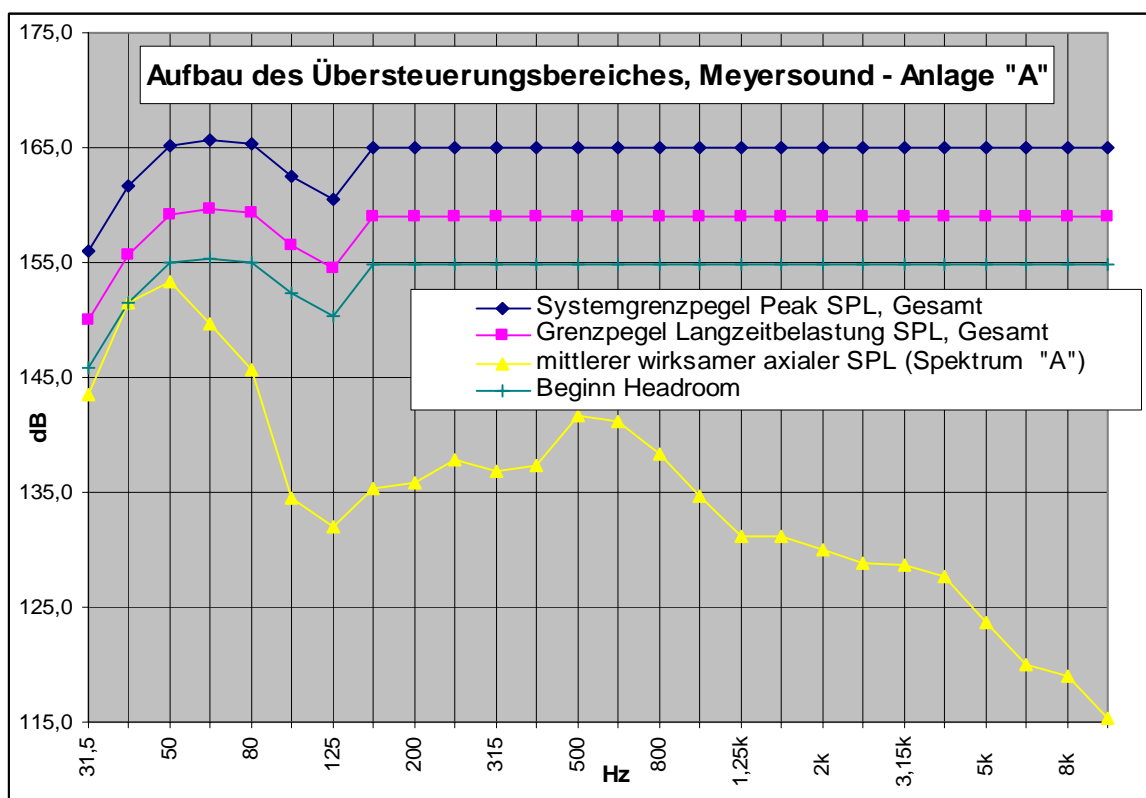


Bild 19: Aufbau des Übersteuerungsbereiches (Headroom) für die virtuelle Quelle (Halbseitenanlage) (die Differenz zwischen den Systemgrenzpegeln „Peak“ und „Langzeit“ beträgt 6 dB, die zwischen dem Pegelwert für die Terz 40 Hz der Kurve „A“ und dem Systemgrenzpegel „Langzeit“ 4,2 dB)

An diesen Grenzwert ist die Kurve „A“ des Frequenzspektrums anzulegen. Dessen Spitzenwert liegt zwar bei der 50 Hz - Terz, die untere Grenze des Übersteuerungsbereiches wird aber von der 40 Hz – Terz tangiert, dessen Pegelwert nur 0,9 dB unter dem der 50 Hz – Terz liegt (siehe Bild 19).

Bei der Terz 40 Hz beträgt der maximale axiale Langzeit – $SPL_{max\ Langzeit, 1m, 40Hz} = 155,7$ dB (siehe Tabelle 14) und damit ist der untere Grenzwert des Übersteuerungsbereiches $155,7$ dB – $4,2$ dB = $151,5$ dB.

Der Übersteuerungsbereich selbst beträgt bei der 40 Hz – Terz $10,2$ dB, bei allen anderen Terzen ist der Abstand zwischen dem (mittleren) wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{Terz, virtuelle\ Quelle}$ und der unteren Grenze des Übersteuerungsbereiches z. T. erheblich (siehe Bild 19).

Bei einer mit dieser Anlage veranstalteten musikalischen Freiluftveranstaltung, deren Veranstaltungsgeräusch im Mittel ein Spektrum aufweist, das der Kurve „A“ folgt (siehe Bild 19), werden die mittleren wirksamen axialen Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ der die Anlage (nur eine Bühnenseite!) charakterisierenden virtuellen Quelle (nur eine Bühnenseite!) die in der Tabelle 15 aufgeführten Werte aufweisen.

Terz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
SPL_{Terz} in dB	145,3	151,5	153,4	149,6	145,6	134,5	132	135,4	135,9
Terz in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
SPL_{Terz} in dB	137,8	136,9	137,4	141,6	141,2	138,4	134,7	131,1	131,2
Terz in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
SPL_{Terz} in dB	130	128,9	128,7	127,6	123,6	120	119	115,3	157,6

Tabelle 15: Wirksamer mittlerer axiale Schalldruckpegel $SPL_{\text{Terz, virtuelle Quelle}}$ für die Terzen 31,5 Hz bis 10 kHz in dB, 1m (Meyersound- Anlage, alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „A“) der virtuellen Quelle

Der Summenpegel der die Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle beträgt (siehe Tabelle 15) $SPL_{\text{gesamt, virtuelle Quelle}} = 157,6$ dB.

• **Schalleistungspegel:**

Der wirksame maximale Schalleistungspegel der Halbseitenanlage charakterisierenden virtuellen Quelle ist entsprechend Gl. 3.14a

$$L_{w, \text{gesamt, virtuelle Quelle}} = SPL_{\text{gesamt, virtuelle Quelle}} + 11 \text{ dB}$$

und somit

$$L_{w, \text{gesamt, virtuelle Quelle}} = 157,6 + 11 = 168,6 \text{ dB.}$$

Die Tabelle 16 zeigt die Werte für die Terzen.

Terz in Hz	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
$L_{w, \text{Terz}}$ in dB	154,5	162,5	164,4	160,6	156,6	145,5	143	146,4	146,9
Terz in Hz	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600
$L_{w, \text{Terz}}$ in dB	148,8	147,9	148,4	152,6	152,2	149,4	145,7	142,1	142,2
Terz in Hz	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10.000	Summe
$L_{w, \text{Terz}}$ in dB	141	139,9	139,7	138,6	134,6	131	130	126,3	168,6

Tabelle 16: Wirksamer Schalleistungspegel $L_{w, \text{Terz, virtuelle Quelle}}$ für die Terzen 31.5 Hz bis 10 kHz (Meyersound – Anlage, alle Boxen einer Bühnenseite beim Geräuschtyp „A“) der virtuellen Quelle

• Schalleistungspegel der Ersatzschallquelle:

$$L_{w, \text{gesamt, Ersatzschallquelle}} = 168,6 + 3 \text{ dB} = 171,6 \text{ dB.}$$

Die Schalleistungspegel der Terzen der Ersatzschallquelle entsprechen denen der Tabelle 16, die jeweils um 3 dB angehoben wurden.

• **Richtcharakteristik:**

Die Richtcharakteristiken der Lautsprecherboxen M3D und M3DSUB zeichnen sich dadurch aus, dass bei den tiefen Frequenzen die Abstrahlung nach hinten erheblich gedämpft wird (bei der GEO CD12 Bass - Box von NEXO z. B. ist dies ebenso). Problematisch ist, dass diese Richtcharakteristiken z. Zt. von Meyersound nicht explizit ausgewiesen werden. Die in der Tabelle 17 ausgewiesenen Werte sind Daten, die über das Programm MAPP – Online™ der Fa. Meyer Sound Laboratories /11/ ermittelt wurden.

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz								
	31,5	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	-0,4	-0,4	+0,3	-1,3	-2,8	-3	-2,8	-4,8	-5,5
60	-1,7	-1,6	+1,6	-5,7	-14	-7,9	-10,3	-15,7	-19,2
90	-3,9	-4,1	+1,5	-7,4	-18,9	-15,5	-20,8	-30,1	-38,3
120	-6,7	-8,2	-0,6	-10,4	-18,9	-19,9	-27,3	-36,7	-44
150	-9,2	-14,2	-6,7	-8,7	-14,9	-28,5	-29,5	-40,2	-45,1
180	-9,9	-17,5	-14,4	-8,8	-18,7	-28,5	-35,5	-43,9	-45,4

Tabelle 17: Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene der Halbseitenanlage des Beispiels 4 (Meyersound, M3DSUB und M3D)

• **Simulation der Gesamtanlage:**

Die Simulation folgt dem im Abschnitt 6.1 beschriebenen Vorgehen.

- Auf jeder der zwei Außenseiten der Bühne wird eine Schallquelle positioniert. Schallleistungspegel jeder der beiden Quellen $L_{w,gesamt,virtuelle\ Quelle} = 168,6$ dB (Terzen siehe Tabelle 16). Richtwirkungsmaß jeder der beiden Quellen: Tabelle 17.
- Ersatzschallquelle (in der Mitte zwischen den anderen beiden Quellen positioniert) Schallleistungspegel $L_{w,gesamt,Ersatzschallquelle} = 168,6 + 3$ dB = 171,6 dB. Richtwirkungsmaß: Tabelle 18 (die Werte für den Winkelbereich 0° bis 2° und 178° bis 180° müssen denen entsprechen, die für die anderen beiden Quellen gültig sind, siehe Tabelle 17).

Winkel in °	Frequenz (Oktaven) in Hz								
	31,5	63*	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0 - 2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
2 - 5	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60	0/-60
5 - 175	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60	-60/-60
175 - 178	-60/-9,9	-60/-17,7	-60/-14,5	-60/-8,8	-60/-18,7	-60/-20	-60/-28,5	-60/-43,4	-60/-45,4
178 - 180	-9,9/-9,9	-17,5/ -17,5	-14,5/ -14,5	-8,8/-8,8	-18,7/ 18,7	-20/-20	-28,5/ -28,5	-43,4/ -43,4	-45,4/ -45,4

Tabelle 18: Richtwirkungsmaß $D(\theta)$ in dB für die Horizontalebene der Ersatzschallquelle

Bodeneffekte:

Siehe Abschnitt 6.1.

• **Simulationsergebnisse:**

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigt das Bild A 16-7, Anlage, und die Tabelle 19.

Entfernung zur Bühne	Immissionspegel in dB(A) 4 m ü. Gelände an Immissionspunkten		
	Mittig vor der Bühne	querab der Bühne	mittig hinter der Bühne
30 m	**/122,2	-	-
100 m	112,6	96,2	95,0
500 m	98,2	82,3	80,8
1000m	91,0	76,1	74,1
2000 m	82,3	69,3	66,4
4000 m	72,1	62,2	57,4
8000 m	62,2	55,0	47,7

Tabelle 19: Immissionspegel für verschiedene Positionen, berechnet mit Programm IMMI /17/ (Schallquelle: Meyersound – Anlage, Geräushtyp „A“)

Anmerkung **: Der am Immissionsort messbare „Nahfeld“ – Immissionspegel liegt ca. 3 ... 5 dB(A) unter dem Pegel von 122,2 dB(A), der mit dem Programm IMMI berechnet wurde

Ergebnisdiskussion:

- Das Vorteilhafte dieser Anlage ist, dass die Schallabstrahlung nach hinten erheblich gedämpft ist. Das liegt daran, dass im Gegensatz zu den zwei oben beschriebenen Anlagen bei diesen Lautsprechersystemen auch die tiefen Frequenzen bei der Abstrahlung nach hinten relativ stark gedämpft werden und damit die Gesamtdämpfung relativ groß ist. So liegt die Differenz zu dem mittig vor der Bühne gemessenen Werten gegenüber den mittig hinter der Bühne gemessenen Werten bei der Entfernung 100m bei 17,6 dB(A), bei der Entfernung 2000 m beträgt sie 15,9 dB(A) und bei 8000 m immerhin noch 14,5 dB(A).
Bei den Beispielen 1 – 3 (EAW - u. HKAUDIO – Anlage) dagegen beträgt die gleiche Differenz bei der Entfernung 100m ca. 10 dB(A) und verringert sich mit zunehmender Entfernung auf ca. 1 dB(A) bei 8000m (siehe dazu auch die Bilder A 16-3, A 16-4 und A 16-7). Diese Abnahme der Differenzen bei diesen zwei Anlagen liegt darin begründet, dass mit zunehmender Entfernung die tieferen Frequenzen den Immissionspegel dominieren. Da diese aber bei der HKAUDIO - und der EAW – Anlage praktisch ungerichtet abgestrahlt werden (bei den Frequenzen ≤ 100 Hz wird die Schallenergie gleichmäßig nach allen Richtungen abgestrahlt), erklärt sich die Abnahme der Differenzen mit zunehmender Entfernung.
- Systeme wie die beschriebene Meyersound M3D/M3DSUB - oder die erwähnte NEXO GEO - Anlage, bei denen auch die tiefen Frequenzen ≤ 100 Hz einer Richtwirkung unterliegen, bestimmen derzeit den Stand der Technik, mit deren Einsatz gezielt Lärmschutz betrieben werden kann.

6.5 Computerprogramm zur näherungsweise Ermittlung der Immissionspegel

Der Studie liegt ein Computerprogramm bei (auf der CD in der Anlage), mit dem die Immissionspegel ermittelt werden können, die von den drei oben beschriebenen Beschallungsanlagen (HKAUDIO, EAW und Meyersound) im Umfeld verursacht werden, wenn eines der vier beschriebenen Schallspektren (A, B, C und D) das Veranstaltungsspektrum (bezogen auf die gesamte Veranstaltungsdauer) beschreiben. Demnach können 12 Schallfeld – Varianten von der Datenbank abgefragt werden. Die Immissionspegel werden für Winkelschritte von 15° und für folgende Entfernungen in Metern ausgegeben: 100, 150, 200, 300, 400, 500, 750, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 5000, 6000, 7000 und 8000 m. Die für den jeweiligen Immissionsort berechneten A – bewerteten Mittelungspegel sind die Maximalpegel, die mit der jeweiligen Anlage bei dem gewählten Frequenzspektrum und einem vorgegebenem Übersteuerungsbereich (Headroom) von ca. 10 dB bei Mitwind – Bedingungen und ungestörten Ausbreitungsbedingungen verursacht werden.

Das Programm ermöglicht es darüber hinaus, die Immissionspegel für einen bestimmten Immissionsort zu ermitteln, wenn im Zuhörerbereich (30 m bzw. 100m mittig vor der Bühne) ein bestimmter Mittelungspegel eingehalten werden soll.

Ein Vergleich der 12 Varianten untereinander zeigt, wenn die Maximalpegel unberücksichtigt bleiben, interessante Ergebnisse.

Der Vergleich geht von der Annahme aus, dass bei allen Varianten in einer Entfernung 100m mittig vor der Bühne ein Immissionspegel von 95 dB(A) vorhanden ist.

- Bei einer Entfernung von 1000m und unter einem Winkel von 60° (zur Mittelsenkrechten auf der Vorderkante der Bühne) liegen die Immissionspegel bei den 12 Varianten zwischen 61 dB(A) und 64 dB(A), wobei die Differenzen zwischen den Beschallungsanlagen innerhalb des jeweiligen Frequenzspektrums 1 dB(A) nicht übersteigen.
- Bei einer Entfernung von 1000m und unter einem Winkel von 165° (der Immissionsort liegt demnach hinter der Bühne) liegen die Immissionspegel bei den beiden konventionellen Systemen HKAUDIO und EAW zwischen 60 dB(A) und 62 dB(A), wobei die Differenzen zwischen den beiden Beschallungsanlagen innerhalb des jeweiligen Frequenzspektrums ebenfalls 1 dB(A) nicht übersteigen. Die Immissionspegel der Meyersound – Anlage, dessen

innovatives System die tiefen Frequenzen auch einer Richtwirkung und damit Dämpfung bei der Abstrahlung nach hinten unterziehen, liegen dagegen mit Werten zwischen 53 dB(A) und 55 dB(A) zwischen 6 dB(A) und 9 dB(A) unter denen der beiden anderen Anlage. Hier wirkt also der mit dieser Anlage beabsichtigte Lärmschutz.

Das Fazit dieses Vergleichs besagt, dass trotz unterschiedlicher Konfiguration der Beschallungsanlagen (Hersteller, Typen, Leistungspotential) die Differenzen zwischen den für beide konventionelle Anlagen berechneten Immissionspegel unbedeutend sind. Das lässt durchaus die Schlussfolgerung zu, dass konventionelle Anlagen anderer Hersteller annähernd ähnliche Schallfelder erzeugen. Beim Vergleich der Meyersound – Anlage mit ähnlichen Anlagen anderer Hersteller wie z. B. Nexos trifft dies sicherlich ebenfalls zu.

Letztlich bedeutet dies, dass das Programm für eine näherungsweise Abschätzung der von einer Beschallungsanlage verursachten Immissionen gut nutzbar ist. Für eine genauere Berechnung sollte jedoch entsprechen der Beispielrechnungen in den Abschnitt 6.1 bis 6.4 vorgegangen werden.

Das Computerprogramm ist ein Excel – Programm. Nach dem Aufruf ist notwendigerweise die Abfrage, ob die Makros aktiviert werden sollen, zu bejahen. Damit das Programm laufen kann, ist eine Bildschirmauflösung (Menü „Start“ -> „Systemsteuerung“ -> „Anzeige“ -> „Einstellung“) von $\geq 1024 * 768$ Pixel (bevorzugt) bis $\leq 1280 * 1024$ Pixel erforderlich.

7. Lärmschutz

7.1 Lärmschutzmaßnahmen

Wie die Beispiele im Abschnitt 6 zeigen, ist in der Regel das akustische Leistungsvermögen der für musikalische Freiluftveranstaltungen eingesetzten Lautsprechersysteme überdimensioniert. Das bedeutet, dass mit diesen Anlagen mittig vor der Bühne in 100 m Entfernung Langzeit – Mittelungspegel (Immissionspegel) von mehr als 100 dB(A) problemlos erzeugt werden können. Das dabei auch das weitere Umfeld erheblich belastet wird, kann aus den Bildern A 16-3, A 16-4 und A 16-7, Anlage, abgelesen werden.

Da nur selten solche musikalischen Freiluftveranstaltungen an Orten stattfinden, an denen in einem Umkreis von mehreren Kilometern Radius keine schutzbedürftige Nachbarschaft angesiedelt ist, sind Lärmschutzmaßnahmen in den meisten Fällen unabdingbar.

Abgesehen davon, dass die erfolgreichste Maßnahme des Lärmschutzes das „Nichtstattfinden der Veranstaltung“ ist, kann das Folgende zur Lärminderung beitragen:

- Auswahl geeigneter Veranstaltungsorte,
- Vorgaben zur Ausrichtung der Bühne,
- Einsatz zeitweiliger oder dauerhafter Schallschirme im Nahbereich der Bühne,
- Beschränkung der Lautstärke der Veranstaltung,
- Limitierung der Veranstaltungsdauer und/oder Festlegungen zu den Durchführungszeiten,
- Vorgaben zum akustischen Übertragungssystem,
- Dezentralisierung der Veranstaltungsorte und/oder Beschränkung der Anzahl der Veranstaltungen.

Der Erfolg solcher Lärmschutzmaßnahmen hängt davon ab, ob und mit welcher Konsequenz der Veranstalter und sein Personal die von den Genehmigungsbehörden vorgegebenen Einschränkungen befolgen bzw. umsetzen. Die Bereitschaft der Veranstalter auf einvernehmliche Lösungen ist in den meisten Fällen vorhanden, da diese in der Regel keine einmalige Veranstaltung in der jeweiligen Kommune organisieren und damit die Beziehungen zu den Behörden nicht belasten wollen. Andererseits erfordert die Organisation solcher Veranstaltungen eine relativ langfristige Planung der technischen und künstlerischen Komponenten. Da die oben angeführten Lärmschutzmaßnahmen auch Rückwirkungen auf diese

Komponenten haben können, ist der Veranstalter daran interessiert, dass möglichst schon im Vorfeld seiner Planung die Vorgaben der Genehmigungsbehörden für ihn konstante Größen sind. Die Behörde als Dienstleistungsunternehmen der Kommune ist insbesondere dann, wenn bestimmte Veranstaltungen in regelmäßigen Zeitabständen stattfinden, gefordert, langfristig orientierte Konzepte zum Lärmschutz zu erstellen. Diese sollten den potentiellen Veranstaltern zu deren Orientierung bekannt gegeben und möglichst auch mit ihnen besprochen werden. Auch die Vorgehensweise zur Überprüfung der Lärmschutzmaßnahmen sollte Bestandteil des Maßnahmenplanes sein. Ohne Kontrolle sind die Vorgaben oft Makulatur.

7.2 Beispiel zur Lärminderung

Das folgende Beispiel soll als Orientierungshilfen für Genehmigungsbehörden in den Fällen dienen, in denen eine genaue Schallimmissionsprognose aus welchen Gründen auch immer nicht gefordert wird.

Beispiel:

Ein Veranstalter beantragt die Genehmigung für eine musikalische Freiluftveranstaltung. Es werden ca. 3.000 bis 7.000 Zuschauer erwartet. Fliegende Bühne. Drei Stunden Veranstaltungsdauer an einem Sonnabend in der Zeit von 20 Uhr bis 23 Uhr.

Veranstaltungstyp: Hauptsächlich Pop. Mehrere Gruppen u. Einzelinterpreten sowie Moderation.

Akustische Anlage: Keine Angaben.

Veranstaltungsplatz: Innerhalb der Stadt gelegener nahezu quadratischer Platz. Seitenausrichtung in Nord – Süd bzw. Ost – West. Aufstellung der Bühne an allen vier Seiten möglich. Üblich ist der Aufbau der Bühne an der Südseite des Platzes.

Die nächstgelegenen Wohnbebauungen liegen westlich und nordwestlich der Anlage in ca. 450m, nördlich in ca. 560 m, nordöstlich in ca. 1400 m, östlich in ca. 1.850 m, südöstlich in ca. 1600 m sowie südlich und südöstlich in ca. 800m. Wir haben hier also eine eher oval geformte Freifläche, deren größere Achse in der Ost – West – Richtung liegt.

Die Wohnbebauung im Umfeld des Platzes ist als Mischgebiet (MI) eingeordnet.

Im Bild 20 sind die Bauflächen schraffiert eingezeichnet, drei exponiert gelegene Immissionsorte sind mit IP 1, IP 2 und IP 3 bezeichnet.

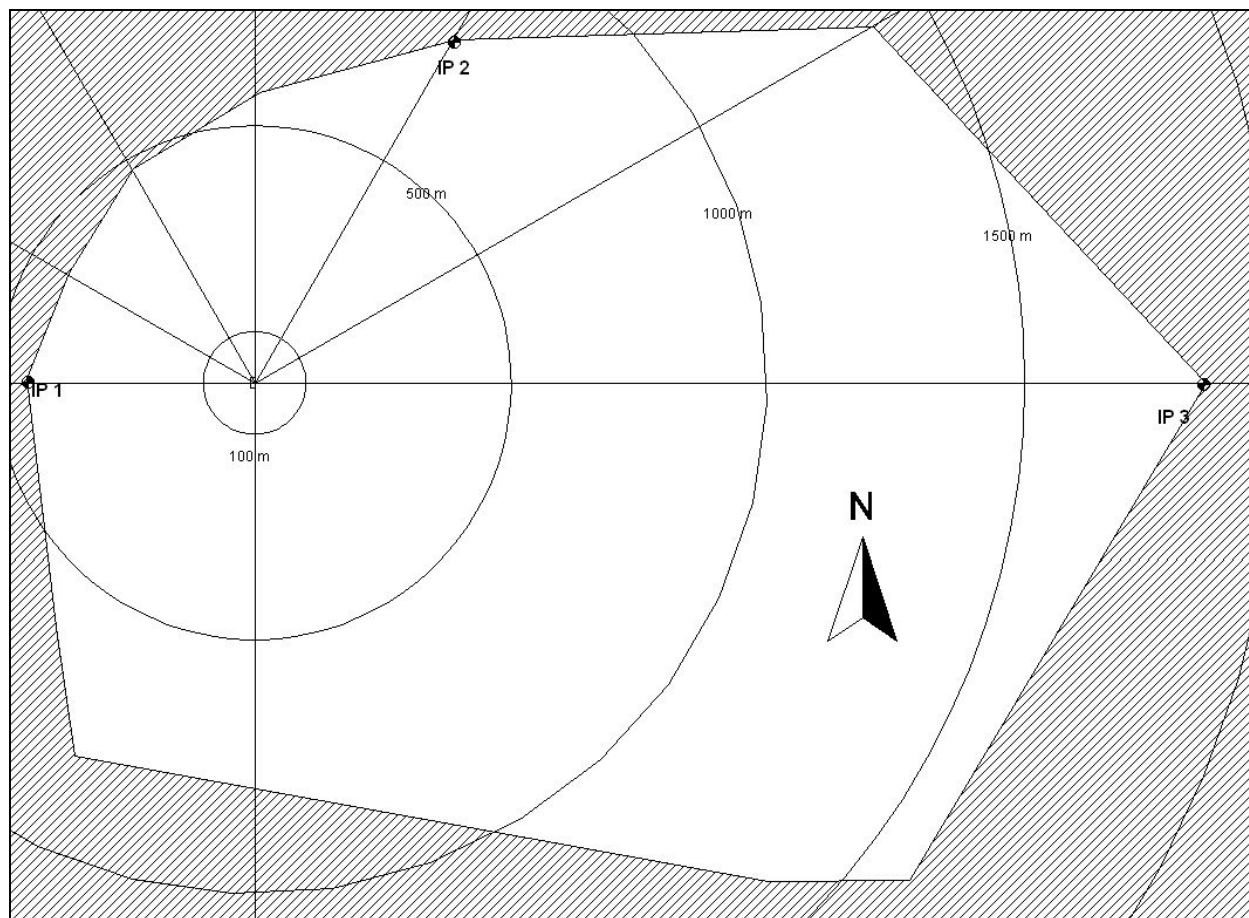


Bild 20: Lageplan mit Bauflächen und den Immissionsorten IP 1 - IP 3

Problemlösung:

1. Prognose der Zuschläge:

Die an den Immissionsorten IP 1 bis IP 3 zu berücksichtigenden Zuschläge zeigt die Tabelle 20. Im Entfernungsbereich <math><1000\text{ m}</math> wird ein Impulzzuschlag von

	Immissionsort IP 1	Immissionsort IP 2	Immissionsort IP 3
Entfernung Bühne – IP m	450	770	1850
Impulzzuschlag K_I dB(A)	5	5	4
Ton-/Infozuschl K_T dB(A)	3	3	0
Zuschläge Gesamt dB(A)	8	8	4

Tabelle 20: Prognose der Zuschläge für die Berechnung der an den Immissionsorten IP 1 bis IP 3 maximal zulässigen Immissionspegel

2. Prognose der maximal zulässigen Immissionspegel:

Der über die Veranstaltungsdauer gemittelte maximal zulässige Immissionspegel (Mittelungspegel), bei dem der Immissionsrichtwert nicht überschritten wird, kann mit der folgenden Beziehung prognostiziert werden:

$L_{Aeq} \leq IRW - K_{Ii} - K_{ri} - (10 * \log(t_{eff}/Tr))$ in dB(A) mit
 L_{Aeq} ... Mittelungspegel (Immissionspegel), ermittelt für die Dauer der Veranstaltung in dB(A) bzw. für die relevante Wirkzeit,
 IRW... Immissionsrichtwert für den Immissionsort in dB(A),
 K_{Ii} ... Impulszuschlag u./o. auffällige Pegeländerungen in dB(A),
 K_{ri} ... Zuschlag für Ton- und Informationshaltigkeit in dB(A),
 Tr ... Beurteilungszeit in Stunden,
 t_{eff} ... Wirkzeit (bzw. Veranstaltungsdauer) in Stunden.

In der Tabelle 21 sind die für die drei Immissionsorte des Beispiels maximal zulässigen Immissionspegel berechnet worden, jeweils in Abhängigkeit von den Immissionsrichtwerten und den Beurteilungszeiten und bezogen auf die Veranstaltungszeit Sonnabend, 20-23 Uhr.

Veranstaltungszeit: Werktags in der Zeit von 20 Uhr bis 23 Uhr							
Immissionsort	IP 1 (Mischgebiet MI)		IP 2 (Mischgebiet MI)		IP 3 (Mischgebiet MI)		Beurteilungszeiten:
	Werktags, Ruhezeit 20 - 22 Uhr	nachts	Werktags, Ruhezeit 20 - 22 Uhr	nachts	Werktags, Ruhezeit 20 - 22 Uhr	nachts	
Tr	h	2	1	2	1	2	1
t_{eff}	h	2	1	2	1	2	1
IRW	dB(A)	55	45	55	45	55	45
- Zuschläge, gesamt	dB(A)	8	8	8	8	3	3
$-10 \log(t_{eff}/Tr)$	dB(A)	0	0	0	0	0	0
L_{Aeq}	dB(A)	47	37	47	37	52	42

Tabelle 21: Prognose der an den Immissionsorten IP 1, IP 2 und IP 3 maximal zulässigen Mittelungspegel (Immissionspegel) in Abhängigkeit von den Beurteilungszeiten

Die Immissionsrichtwerte IRW in Tabelle 21 ergeben sich aus /18/, Abschn. 5.1 c), für Kerngebiete, Dorfgebiete und Mischgebiete

tags an Werktagen innerhalb der Ruhezeit und an Sonn- und Feiertagen 55 dB(A)
 nachts 45 dB(A).

Einzelne Geräuschspitzen sollen die Immissionsrichtwerte „Außen“ tagsüber um nicht mehr als 30 dB(A) und nachts um nicht mehr als 20 dB(A) überschreiten.

Kann die Veranstaltung als seltenes Störereignis gewertet werden („Veranstaltungen ... , die sich während eines Kalenderjahres nicht häufiger als an zehn Tagen oder Nächten auf den zu betrachtenden Immissionsort auswirken, ... “ /18/), so gelten andere Immissionsrichtwerte. Nach /18/ heißt es sinngemäß, dass schädliche Umwelteinwirkungen nicht anzunehmen sind, wenn der Beurteilungspegel aller einwirkenden Freizeitanlagen vor dem Fenster (im Freien) der Betroffenen die folgenden Werte nicht überschreitet:

- tags an Werktagen außerhalb der Ruhezeit 70 dB(A),
 - tags an Werktagen innerhalb der Ruhezeit und an Sonn- und Feiertagen 65 dB(A),
 - nachts 55 dB(A).

Der Beginn der Beurteilungszeit „Nacht“ kann im Einzelfall laut /18/, Abschn. 5.4, um bis zu einer Stunde hinausgeschoben werden.

Geräuschspitzen sollen die vorgenannten Werte tagsüber um nicht mehr als 20 dB(A) und nachts um nicht mehr als 10 dB(A) überschreiten *¹).

Anmerkung *¹): Es kann davon ausgegangen werden kann, dass die Geräuschspitzen (Maximalpegel L_{AFmax}) bei musikalischen Freizeitveranstaltungen in der Größenordnung $L_{AFmax} - L_{Aeq} < 20$ dB(A)

liegen. Das so genannte Spitzenpegelkriterium der Beurteilungsvorschrift ist somit dann nicht relevant, wenn die Immissionsrichtwerte eingehalten werden. Nur bei der Beurteilungssituation „seltenes Störereignis, Beurteilungszeit Nacht“ ist das Spitzenpegelkriterium ($IRW + 10 \text{ dB(A)}$) als begrenzende Größe zu werten, wenn der Betrag aus maximal zulässigem Mittelungspegel $L_{Aeq} + 20 \text{ dB(A)} > IRW + 10 \text{ dB(A)}$ ist.

Beispiel aus Tabelle 22: An den Immissionsorten IP 1 und IP 2 beträgt der in der Tabelle für die Beurteilungszeit ‚nachts‘ ausgewiesene maximal zulässige Mittelungspegel $L_{Aeq} = 47 \text{ dB(A)}$. Der Immissionsrichtwert IRW ist 55 dB(A) , das Spitzenpegelkriterium lautet somit $55 \text{ dB(A)} + 10 \text{ dB(A)} = 65 \text{ dB(A)}$. Es ist demnach $47 \text{ dB(A)} + 20 \text{ dB(A)} > 65 \text{ dB(A)}$. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit relativ groß ist, dass das Spitzenpegelkriterium nicht eingehalten werden kann. Im gegebenen Beispiel sollte deshalb der maximal zulässige Mittelungspegel L_{Aeq} um 2 dB(A) auf 45 dB(A) reduziert werden.

Am IP 3 wäre das demnach $52 \text{ dB(A)} + 20 \text{ dB(A)} = 72 \text{ dB(A)} > 65 \text{ dB(A)}$. Der maximal zulässige Mittelungspegel L_{Aeq} sollte demzufolge an diesem Immissionsort um 7 dB(A) auf 45 dB(A) reduziert werden.

In der Tabelle 22 sind die für die drei Immissionsorte des Beispiels maximal zulässigen Immissionspegel (Mittelungspegel) aufgeführt, wenn die Veranstaltung als seltenes Störereignis und bei Beginn der Nachtzeit um 22 Uhr gewertet wird.

Wenn der Beginn der Nachtzeit auf 23 Uhr hinausgeschoben wird, dann gilt der Immissionsrichtwert $IRW = 65 \text{ dB(A)}$ auch für den Zeitraum 22 Uhr bis 23 Uhr.

Veranstaltungszeit: Werktags in der Zeit von 20 Uhr bis 23 Uhr, „seltenes Störereignis“							
Immissionsort	IP 1 (Mischgebiet MI)		IP 2 (Mischgebiet MI)		IP 3 (Mischgebiet MI)		
	Werktags 20 – 22 Uhr*	nachts	Werktags 20 - 22 Uhr*	nachts	Werktags 20 - 22 Uhr*	nachts	
Tr	h	2	1	2	1	2	1
t_{eff}	h	2	1	2	1	2	1
IRW	dB(A)	65 ^{*/1}	55	65 ^{*/1}	55	65 ^{*/1}	55
- Zuschläge, gesamt	dB(A)	8	8	8	8	3	3
$-10 \log(t_{eff}/Tr)$	dB(A)	0	0	0	0	0	0
L_{Aeq}	dB(A)	57 ^{*/1}	47 ¹⁾	57 ^{*/1}	47 ¹⁾	62 ^{*/1}	52 ¹⁾

Tabelle 22: Prognose der an den Immissionsorten IP 1, IP 2 und IP 3 maximal zulässigen Mittelungspegel (Immissionspegel) bei Wertung als „seltenes Störereignis“

Anmerkung *): Wenn der Beginn der Nachtzeit auf 23 Uhr verschoben wurde, ist der Immissionsrichtwert 65 dB(A) für die (verlängerte) Ruhezeit 20 Uhr – 23 Uhr gültig!

Anmerkung ¹⁾): Siehe oben (das Spitzenpegelkriterium „nachts“ ist zu beachten!).

3. Diskussion der Ergebnisse

Im hier behandelten Beispiel möchte der Antragsteller die Veranstaltung an einem Werktag (Sonnabend) in der Zeit von 20 Uhr bis 23 Uhr durchführen.

Das bedeutet, dass die Veranstaltung

- 2 Stunden lang innerhalb der Ruhezeit (20 Uhr – 22 Uhr) und
- 1 Stunde in der Nacht (22 Uhr -23 Uhr stattfindet).

Wie die Tabelle 21 aufzeigt, sollte bei diesen Gegebenheiten an den Immissionsorten IP 1 und IP 2 der Mittelungspegel L_{Aeq} während der Ruhezeit (20 – 22 Uhr) den Betrag von 47 dB(A) und am IP 3 den von 52 dB(A) nicht überschreiten.

Für die Nachtstunde 22 Uhr bis 32 Uhr müssen die Emissionen soweit abgesenkt werden, dass an den Orten IP 1 und IP 2 der Mittelungspegel $L_{Aeq} \leq 37 \text{ dB(A)}$ und am IP 3 $\leq 42 \text{ dB(A)}$ eingehalten wird.

Wird die Veranstaltung als „seltenes Störereignis“ mit Beginn der Beurteilungszeit „nachts“ 22 Uhr bewertet, so sieht das folgendermaßen aus (siehe Tabelle 22):

- | | |
|--|--|
| - 2 Stunden innerhalb Ruhezeit (20 -22 Uhr), | IP 1 und IP 2 ein $L_{Aeq} \leq 57$ dB(A),
IP 3 ein $L_{Aeq} \leq 62$ dB(A). |
| - 1 Stunde nachts (22 – 23 Uhr), | IP 1 u. IP 2 ein $L_{Aeq} \leq 45^{1)}$ dB(A),
IP 3 ein $L_{Aeq} \leq 45^{1)}$ dB(A). |

Anmerkung ¹⁾: Bei Berücksichtigung des Spitzenpegelkriteriums „nachts“.

Wird der Beginn der Beurteilungszeit „nachts“ beim „seltenen Störereignis“ auf 23 Uhr hinausgeschoben, so gelten für die gesamte Veranstaltungszeit die oben für die Ruhezeit ausgewiesenen Mittelungspegel.

Nun ist zu klären, ob der Antragsteller die Veranstaltung ohne Auflagen durchführen kann. Betrachten wir uns die Tabelle 5 (Abschn. 6.1, Immissionspegel HKAUDIO – Anlage, Beispiel 1) und die dazugehörige Schallfeld – Graphik (Bild A 16.3 der Anlage) so zeigt sich, dass die innerhalb des 500 m – Umkreises um die Anlage liegenden Orte bei diesen Emissionen einen Immissionspegel >74 dB(A) aufweisen. Bei der EAW Anlage (Abschn. 6.2 und 6.3, Tabellen 9 und 12 und Bild A 16-4, Anlage) und der Meyersound – Anlage (Abschn. 6.4, Tabelle 19 und Bild der Anlage A 16-7) liegen die Werte noch höher. Das heißt, bei keiner Beurteilungszeit liegen die Immissionspegel unter den maximal zulässigen Werten für den ca. 500 m entfernten Immissionsort IP 1.

4. Lärmschutzmaßnahmen

Ohne Auflagen zur Einhaltung der Immissionsrichtwerte kann diese Veranstaltung nicht zugelassen werden. Als Lösung des Problems und dementsprechend als Auflagen bietet sich das Folgende an.

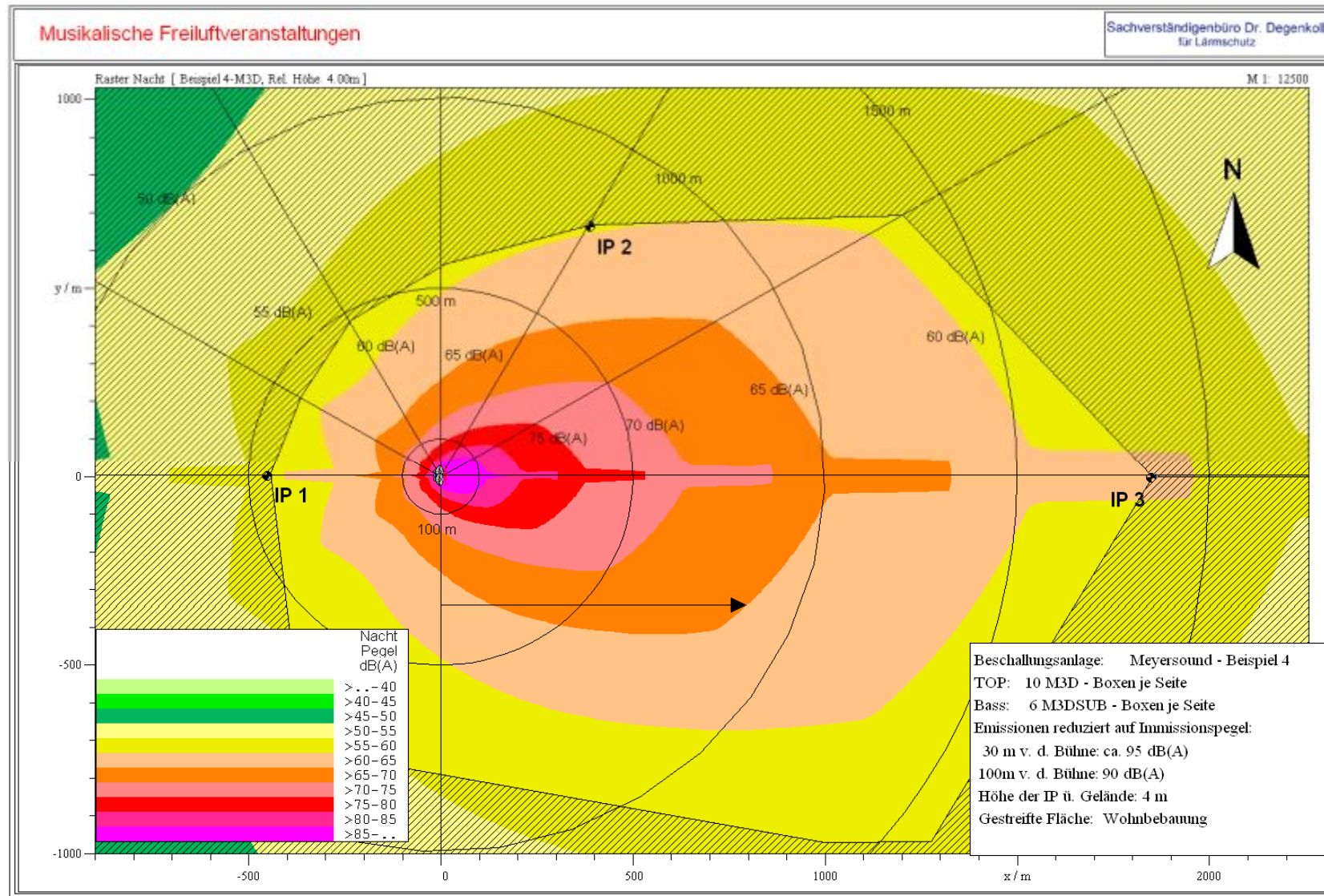
- Festlegung eines Maximalwertes für die Emissionen,
- Festlegungen zu bestimmten Parametern der akustischen Anlage und
- Festlegungen zur Position der Bühne.

Aus den Abmessungen des Freifeldes im Umfeld des Veranstaltungsortes ist beim Vergleich mit den Schallfeldformen (siehe Bilder Bild A 16.3, A 16-4 und A 16-7 der Anlage) ersichtlich, dass die Bühne nur auf der Westseite des Platzes positioniert werden kann.

Da der Veranstalter es nach einer ersten Absprache als notwendig erachtet, dass die mittlere Lautstärke im Zuschauerbereich ca. 95 dB(A) (für die Position Mischpult (FOH) in ca. 30m Entfernung vor der Bühne und als Mittelwert für die 3 h – Veranstaltungsdauer) nicht erheblich unterschreiten soll, ist nun zu prüfen, ob mit einer der drei untersuchten Anlagen dies zu erreichen ist. Als problematisch erscheint hier die relativ kurze Distanz zwischen der Anlage und der westlich gelegenen Wohnbebauung.

In den Bildern A 17-1, A 17-2, A 17-3 und A 17-4 der Anlage sind die Schallfelder graphisch dargestellt und in der Tabelle A 17-5, Anlage, die Immissionspegel ausgewiesen, die von den drei untersuchten Anlagen (HKAUDIO, EAW und Meyersound) erzeugt werden, wenn deren Emissionen auf Werte begrenzt sind, die an den Positionen 100m mittig vor der Bühne einen Immissionspegel von 90 dB(A) und an der Position 30m mittig vor der Bühne einen Immissionspegel von annähernd 95 dB(A) erzeugen.

Es ist zu sehen, dass sowohl die HKAUDIO – Anlage (Bild A 17-1) wie auch die EAW – Anlage (Bilder A 17-2 und A 17-3) bei diesen Bedingungen im Umkreis von 500 m Immissionspegel > 60 dB(A) verursachen. Nur bei der Meyersound – Anlage (Bild A 17-4, Anlage) liegen bei den Positionen „querab“ und „hinten“ die Immissionspegel im Bereich



IMMI 5.2.1

CAIWIN/IWIN ab Mai 2003/Freiluftveranstaltungen.IPR

Bild 21: Beispiel 4 (Meyersound – Anlage, Geräushtyp „A“), Emissionen reduziert auf Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m u. ca. 95 bei 30m

<60 dB(A) und >55 dB(A). Im Bild 20 ist das Schallfeld (Geräuschtyp „A“ – Rockkonzert) mit den Immissionsorten IP 1 bis IP 3 sowie den Grenzen der Bebauungsflächen abgebildet. Einfacher können die Immissionspegel mit dem dieser Studie beiliegenden Excel – Programm „Immissionspegel Musikalische Freiluftveranstaltungen“ ermittelt werden. Die Ergebnisse zeigt die Tabelle 23.

Meyersound – Anlage (Geräuschtyp „D“)				
Reduzierte Emissionen:		Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne 90 dB(A).		
	Winkel und Abstand Anlage/Immissionsort			
	0° bei 1850m (IP 3)	60° bei 1400m (IP 2)	90° bei 560m	180° bei 450m (IP 1)
Immissionspegel L_{Aeq} in dB(A)	62	55	60	59

Tabelle 23: Immissionspegel für die Meyersound – Anlage, Geräuschtyp „D“, wenn die Emissionen so reduziert werden, dass mittig vor der Bühne in 100m Entfernung ein Immissionspegel von 90 dB(A) verursacht wird (bedeutet bei 30 m mittig v. d. Bühne ca. 95 dB(A))

Die mit dem Excel – Programm für das Geräuschspektrum „D“ (Pop, ca. 20% Moderationsanteil), welches die höchsten Immissionsbelastungen verursacht, ermittelten Werte zeigen, dass bei einem mittleren Immissionspegel $L_{Aeq} = 90$ dB(A) mittig vor der Bühne in 100 m Entfernung und ein L_{Aeq} von ca. 95 dB(A) bei 30 m Entfernung der Immissionspegel an dem hinter der Bühne gelegenen IP 1 mit 59 dB(A) noch um 2 dB(A) über dem Mittelungspegel liegt, der laut Tabelle 22 als maximal zulässiger Mittelungspegel $L_{Aeq} = 57$ dB(A) für „seltene Störereignisse bei Verschiebung der Nachtstunde auf 23 Uhr“ ermittelt wurde. Am IP 2 und am IP 3 würde der jeweilige maximal zulässige Mittelungspegel unterschritten bzw. eingehalten (Annahme: Die Position 90°, 560m ist nicht schutzbedürftig).

Das bedeutet, dass der Veranstalter die Emissionen um mindestens 2 dB(A) reduzieren muss, um die für diese Beurteilungssituation maximal zulässigen Mittelungspegel an den Immissionsorten einhalten zu können (d. h., maximal 93 dB(A) bei einem Abstand von ca. 30m mittig vor der Bühne bzw. maximal 88 dB(A) bei 100m mittig vor der Bühne).

Wenn bei der Beurteilungssituation „seltene Störereignis“ die Verschiebung der Nachtstunde nicht möglich ist und somit die Veranstaltungszeit zwischen 22 Uhr und 23 Uhr als Beurteilungszeit „nachts“ gewertet wird, müssen die Emissionen ab 22 Uhr nochmals um 12 dB(A) zur Einhaltung der Vorgaben (45 dB(A) wegen Einhaltung des Spitzenpegelkriteriums! – siehe Tabelle 22, Anmerkung *¹⁾) reduziert werden, so dass dann an der Position ca. 30 m mittig vor der Bühne ein Mittelungspegel $L_{Aeq} \leq 81$ dB(A) bzw. an der Position 100 m mittig vor der Bühne ein $L_{Aeq} \leq 76$ dB(A) notwendig wäre.

Mit Sicherheit kann der Veranstalter so eine Vorgabe nicht realisieren, da die Zuhörer die als ‚zu niedrig‘ gewertete Lautstärke (und das für das letzte Drittel eines Popkonzertes!) nicht akzeptieren würden. Noch geringer wäre das Verständnis der Zuhörer, wenn die Lautstärke abrupt Punkt 22 Uhr um 12 dB(A) gemindert würde. Das heißt, die Veranstaltung ist während der Beurteilungszeit „Nacht“ praktisch nicht realisierbar.

Die Genehmigungsbehörde könnte somit, wenn die Veranstaltung für das schutzbedürftige Umfeld als „seltenes Störereignis bei Verschiebung der Nachtstunde auf 23 Uhr“ gewertet werden kann, dem Veranstalter folgendes anbieten:

- a) - Beurteilungssituation: Seltenes Störereignis, tags an Werktagen innerhalb der Ruhezeit und an Sonn- und Feiertagen.
Beginn der Nachtstunde auf 23 Uhr verschoben.
- Veranstaltungszeit: Sonnabend von 20 Uhr bis 23 Uhr.
 - Dauer der Veranstaltung: Maximal 3 Stunden.
 - Die Bühne mit der Hauptbeschallungsanlage ist auf der Westseite des Veranstaltungsplatzes zu installieren.
 - Die für die Hauptbeschallung eingesetzten Lautsprecherboxen müssen für den Winkel 180° (also direkt nach hinten) Richtwirkungsmaße aufweisen, die für die Oktave 125 Hz eine Dämpfung > 13 dB(A), für die Oktave 63 Hz eine Dämpfung > 16 dB(A) und für die Oktave 31,5 Hz eine Dämpfung > 9 dB(A) verursachen. Eine Ausrüstung mit Boxen M3DSUB bzw. M3D Meyersound erfüllt diese Bedingungen.
 - Begrenzung der Immissionen: Der Mittelungspegel L_{Aeq} in dB(A) (in der Messart „fast“ und A – bewertet, gemessen über die gesamte Veranstaltungsdauer) darf im Abstand von 100 m mittig vor der Bühne **88 dB(A)** nicht überschreiten. Als alternative Messposition kann im Nahbereich der Anlage eine Position auf dem Mischpult (FOH) genutzt werden. Wenn dies mittig vor der Bühne in 30 m Entfernung zur Bühne steht, darf der Mittelungspegel **93 dB(A)** nicht überschritten werden ^{*2)}. Weicht die Distanz Bühne – FOH erheblich von 30 m ab oder liegt die Position nicht mittig vor der Bühne, muss der Pegelwert durch Einpegeln angepasst werden ^{*3)}.
 - Einpegeln der Anlage: Sollte vorzugsweise während des Soundchecks erfolgen ^{*4)}.
 - Kontrolle: siehe Anmerkung ^{*5)}.

Anmerkung ^{*2)}: Die Position ‚30 m mittig vor der Bühne‘ liegt im Nahfeld der Anlage. Für das Nahfeld sind die Prognosewerte der Immissionspegel mit Unsicherheiten belegt (siehe dazu Abschn. 3.4.2.). Deshalb ist auch die im Beispiel ausgewiesene 5 dB(A) – Differenz zur im Fernfeld liegenden Position ‚100m Abstand mittig vor der Bühne‘ mit Unsicherheiten behaftet. Wenn jedoch die Überwachungsmessungen auf einer Position mittig vor der Bühne in 30 m Abstand durchgeführt werden, bewirken die Geräusche der relativ dicht an der Messposition stehenden Zuschauer einen nicht unerheblichen Anstieg des Immissionspegels (siehe dazu Abschnitt 5.2). Da diese Zuschauergeräusche bei den in größerer Entfernung liegenden Immissionsorten nicht diesen Einfluss haben, wird somit ein zusätzliches Sicherheitspolster eingebaut, dass in der Regel > 1 dB(A) ist. Unabhängig davon bleibt den Genehmigungsbehörden vorbehalten, einen zusätzlichen Sicherheitsabschlag anzubringen, d. h., die maximal zulässigen Mittelungspegel um diesen Betrag zu mindern. Dieser zusätzliche Sicherheitsabschlag sollte so gewählt werden, dass der maximal zulässige Mittelungspegel an der Position ‚30m mittig vor der Bühnen‘ nicht mehr als 5 dB(A) über dem Mittelungspegel liegt, der für die Position ‚100m mittig vor der Bühne‘ ermittelt wurde, andererseits sollte der Sicherheitsabschlag nicht größer als 3 dB(A) sein.

Anmerkung ^{*3)}: Zum Einpegeln sollte die Messposition ‚100 m Abstand mittig vor der Bühne‘ genutzt werden, wenn das jedoch nicht realisierbar ist, kann auch die Messposition ‚30 m Abstand mittig vor der Bühne‘ herangezogen werden (zum ‚Einpegeln‘ siehe Anmerkung ^{*4)}).

Anmerkung ^{*4)}: Zum Einpegeln sollten vorzugsweise zwei Messgeräte genutzt werden, mit denen gleichzeitig an der einzupegelnden Position (z. B. FOH) und am Bezugsort das Geräusch (Abspielen einer CD mit repräsentativen Musiktiteln der Veranstaltung) gemessen werden kann. Steht zum Einpegeln nur ein Messgerät zur Verfügung, kann während der sequenziellen Messungen an den beiden Immissionsorten durch das Abspielen einer bestimmten Passage einer CD bei gleich bleibender Verstärkungseinstellung die Differenz ermittelt werden.

Anmerkung ^{*5)}: Für die Überwachung ebenso wie für das Einpegeln der Anlage kann der Veranstalter beauftragt werden, eine nach § 26 BImSchG bekannt gegebene Messstelle heranzuziehen. Das

Einpegeln der Anlage und die Kontrolle kann aber auch durch entsprechend geschulte Mitarbeiter der Behörde allein oder in Zusammenarbeit mit dem Veranstalter stattfinden. Auch die Selbstkontrolle durch den Veranstalter ist machbar. Hierzu muss aber abgeglichen werden, ob die Messgeräte des Veranstalters (in der Regel ungeeicht und oft auf die Messart „slow“ eingestellt) die Kontrollmessungen ermöglichen. Als Messposition für die Kontrolle ist die Position Mischpult (FOH) vorteilhaft, weil hier die direkte Kommunikation mit dem Tontechniker gegeben ist.

Alternativen:

Als Alternative zu der vom Veranstalter gewünschten Veranstaltungszeit kann die Genehmigungsbehörde auch die Verlagerung auf die Beurteilungszeit „Werktags, außerhalb der Ruhezeit (8 bis 20 Uhr)“ vorschlagen. Die dann an den Immissionsorten zulässigen Mittelungspegel zeigt die Tabelle 24. Diese Regelung hätte den Vorteil, dass einmal die Anzahl der jährlich am Veranstaltungsort stattfindenden Veranstaltungen nicht limitiert wäre und darüber hinaus die an den Immissionsorten maximal zulässigen Mittelungspegel um 1 dB(A) über denen liegen, die nach Tabelle 22 bei „seltenen Störereignissen, tags“ maximal möglich wären.

Veranstaltungszeit: Werktags in der Zeit von 8 Uhr bis 20 Uhr			
Immissionsort	IP 1 (Mischgebiet MI)	IP 2 (Mischgebiet MI)	IP 3 (Mischgebiet MI)
Beurteilungszeiten:	Werktags 8 bis 20 Uhr	Werktags 8 bis 20 Uhr	Werktags 8 bis 20 Uhr
Tr	h	12	12
t _{eff}	h	3	3
IRW	dB(A)	60	60
- Zuschläge, gesamt	dB(A)	8	3
-10 log(t _{eff} /Tr)	dB(A)	-6	-6
L _{Aeq}	dB(A)	58	63

Tabelle 24: Prognose der an den Immissionsorten IP 1, IP 2 und IP 3 maximal zulässigen Mittelungspegel (Immissionspegel) für „Werktags, außerhalb der Ruhezeit (8 bis 20 Uhr)“

Die Genehmigungsbehörde kann demnach dem Veranstalter folgende Alternative anbieten:

- b)
- Beurteilungssituation: Tags an Werktagen außerhalb der Ruhezeit.
 - Veranstaltungszeit: An Werktagen (auch Sonnabend) außerhalb der Ruhezeiten, d. h., in der Zeit zwischen 8.00 Uhr und bis 20.00.
 - Dauer der Veranstaltung: Maximal 3 Stunden.
 - Die Bühne mit der Hauptbeschallungsanlage ist auf der Westseite des Veranstaltungsplatzes zu installieren.
 - Die für die Hauptbeschallung eingesetzten Lautsprecherboxen müssen für den Winkel 180° (also direkt nach hinten) Richtwirkungsmaße aufweisen, die für die Oktave 125 Hz eine Dämpfung > 13 dB(A), für die Oktave 63 Hz eine Dämpfung > 16 dB(A) und für die Oktave 31,5 Hz eine Dämpfung > 9 dB(A) verursachen. Eine Ausrüstung mit Boxen M3DSUB bzw. M3D Meyersound erfüllt diese Bedingungen.
 - Begrenzung der Immissionen: Der Mittelungspegel L_{Aeq} in dB(A) (in der Messart „fast“ und A – bewertet, gemessen über die gesamte Veranstaltungsdauer) darf im Abstand von 100 m mittig vor der Bühne **89 dB(A)** nicht überschreiten. Als alternative Messposition kann im Nahbereich der Anlage eine Position auf dem Mischpult (FOH) genutzt werden. Wenn dies mittig vor der Bühne in 30 m Entfernung zur Bühne steht, darf der Mittelungspegel **94 dB(A)** nicht überschritten werden ^{*2)}. Weicht die Distanz

Bühne – FOH erheblich von 30 m ab oder liegt die Position nicht mittig vor der Bühne, muss der Pegelwert durch Einpegeln angepasst werden *³⁾.

- Einpegeln der Anlage: Sollte vorzugsweise während des Soundchecks erfolgen *⁴⁾.
- Kontrolle: siehe Anmerkung *⁵⁾.

Anmerkung *²⁾ ...*⁵⁾: Siehe oben.

Eine weitere alternative Beurteilungssituation wäre das Verlegen der Veranstaltung analog b) auf ‚Werktags, außerhalb der Ruhezeiten‘ bei einer Wertung als ‚seltenes Störereignis‘. Dadurch wäre eine gegenüber Variante b) um 5 dB(A) höhere Immissionsbelastung möglich. Inwieweit dann auch der Einsatz konventioneller Beschallungstechnik wie der HKAUDIO – Anlage möglich ist, zeigt die folgende Betrachtung.

Veranstaltungszeit: Werktags in der Zeit von 8 Uhr bis 20 Uhr , „seltenes Störereignis“			
Immissionsort	IP 1 (Mischgebiet MI)	IP 2 (Mischgebiet MI)	IP 3 (Mischgebiet MI)
Beurteilungszeiten:	Werktags 8 bis 20 Uhr	Werktags 8 bis 20 Uhr	Werktags 8 bis 20 Uhr
Tr	h	12	12
t _{eff}	h	3	3
IRW	dB(A)	70	70
- Zuschläge, gesamt	dB(A)	8	3
-10 log(t _{eff} /Tr)	dB(A)	-6	-6
L _{Aeq}	dB(A)	68	73

Tabelle 25: Prognose der an den Immissionsorten IP 1, IP 2 und IP 3 maximal zulässigen Mittelungspegel (Immissionspegel) für „Werktags, außerhalb der Ruhezeit (8 bis 20 Uhr)“, „seltenes Störereignis“

Die mit dem der Studie beiliegenden Excel – Programm „Immissionspegel Musikalische Freiluftveranstaltungen“ ermittelten Immissionspegel sind in der Tabelle 26 aufgeführt.

HKAUDIO – Anlage (Geräuschtyp „D“)				
Reduzierte Emissionen:		Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne 92 dB(A).		
		Winkel und Abstand Anlage/Immissionsort		
		0° bei 1850m (IP 3)	60° bei 1400m (IP 2)	90° bei 560m (IP 1)
Immissionspegel	L _{Aeq} in dB(A)	63	57	62
				68

Tabelle 26: HKAUDIO – Anlage, Geräuschtyp „D“, Immissionspegel mittig vor der Bühne in 100m Entfernung und bei 30 m Entfernung, wenn die maximal zulässigen Mittelungspegel an den Immissionsorten IP 1 bis IP 3 eingehalten werden

Es ist ersichtlich, dass bei dieser Beurteilungssituation die konventionelle Beschallungsanlage HKAUDIO eingesetzt werden kann.

Die Genehmigungsbehörde kann dem Veranstalter die Alternative c) anbieten:

- c)
- Beurteilungssituation: Seltenes Störereignis, tags an Werktagen außerhalb der Ruhezeit.
 - Veranstaltungszeit: An Werktagen (auch Sonnabend) außerhalb der Ruhezeiten, d. h., in der Zeit zwischen 8.00 Uhr bis 20.00.
 - Dauer der Veranstaltung: Maximal 3 Stunden.
 - Die Bühne mit der Hauptbeschallungsanlage ist auf der Westseite des Veranstaltungsplatzes zu installieren.
 - **(Achtung: Keine Auflagen für den Beschallungsanlagentyp).**
 - Begrenzung der Immissionen: Der Mittelungspegel L_{Aeq} in dB(A) (in der Messart „fast“ und A – bewertet, gemessen über die gesamte Veranstaltungsdauer) darf im Abstand von 100 m mittig vor der Bühne **92 dB(A)** nicht überschreiten. Als alternative Messposition kann im Nahbereich der Anlage eine Position auf dem Mischpult (FOH) genutzt werden. Wenn dies mittig vor der Bühne in 30 m Entfernung zur Bühne steht, darf der Mittelungspegel **95 dB(A)** nicht überschritten werden ^{*2)}. Weicht die Distanz Bühne – FOH erheblich von 30 m ab oder liegt die Position nicht mittig vor der Bühne, muss der Pegelwert durch Einpegeln angepasst werden ^{*3)}.
 - Einpegeln der Anlage: Sollte vorzugsweise während des Soundchecks erfolgen ^{*4)}.
 - Kontrolle: siehe Anmerkung ^{*5)}.
- Anmerkung ^{*2) ...*5)}: Siehe oben.

Diskussion der Ergebnisse

Wenn davon ausgegangen wird, dass die mittlere Lautstärke einer Veranstaltung dieser Art in 30m Abstand zur Bühne durch Auflagen nicht unter 90 dB(A) gedrückt werden sollte (da dies mit hoher Wahrscheinlichkeit dann doch nicht eingehalten wird), so kann eine Veranstaltung wie in diesem Beispiel nicht während der Beurteilungszeit „Nacht“ durchgeführt werden. Auch innerhalb der Ruhezeiten ist dies nur bei beschränkter Lautstärke und bei der Einhaltung von Restriktionen bezüglich der Lautsprechersysteme möglich.

Dieses Beispiel zeigt aber auch deutlich, dass Kommunen, in denen mehrfach im Jahr größere musikalische Freiluftveranstaltungen stattfinden, eine Dezentralisierung der Veranstaltungsplätze anstreben müssen. Dadurch lässt sich die Belastung der schutzbedürftigen Nachbarschaft auf ein Maß absenken das erlaubt, die Veranstaltung als „seltenes Störereignis“ mit dem Vorteil der höheren Immissionsrichtwerte einzustufen.

Am Beispiel der M3D – und M3DSUB – Lautsprecherboxen der Fa. Meyersound wurde aufgezeigt, dass mit dem derzeitigen Stand der Lärminderungstechnik auch der tieffrequente Schallanteil gerichtet abgestrahlt werden kann (diese Technik bieten auch andere Firmen wie z. B. die Fa. Nexo mit der Geo – Serie an). Das trägt zu einer erheblichen Entlastung vom unerwünschten Lärm der im Umfeld solcher Veranstaltungsorte wohnenden schutzbedürftigen Bevölkerung bei. Da die Veranstalter in den meisten Fällen Subunternehmen mit der Technikausrüstung solcher Veranstaltungen beauftragen, können sie relativ problemlos Auflagen in Bezug auf die Technikausrüstung erfüllen.

8. Zusammenfassung

Die vorliegende Studie dient der Erfüllung folgender Aufgaben:

- Den im Lärmschutz tätigen Ingenieurbüros wird Informationsmaterial bzw. eine Anleitung für die Erstellung qualifizierter Prognosen der Lärmimmissionen musikalischer Freiluftveranstaltungen und für die Ableitung von Lärmschutzmaßnahmen zur Verfügung gestellt.
- Mit dem der Studie beiliegenden Computer – Programm wird den Mitarbeitern der Genehmigungsbehörden die Möglichkeit für eine überschlägige Abschätzung der Lärmimmissionen, die von einer geplanten musikalischen Freiluftveranstaltung ausgehen, gegeben. Des weiteren wird ihnen mit der Studie ein Informationsmaterial in die Hand

gegeben, mit dem Defizite bei den fachlichen Voraussetzungen für die Einschätzung von Lärmschutzmaßnahmen, die der Veranstalter musikalischer Freiluftveranstaltungen geplant hat oder vorschlägt, oder aber Defizite bei den fachlichen Voraussetzungen dafür, dem Veranstalter fundierte Auflagen zur Einhaltung der Immissionsrichtwerte zu erteilen, behoben werden können.

Da die Prognose der Lärmimmissionen, die von einer Beschallungsanlage bei musikalischen Freiluftveranstaltungen verursacht werden, sich in einigen grundsätzlichen Dingen und hier vor allem bei der Ermittlung der Emissionskennwerte und der Berechnung der von Lautsprechergruppen (Schallzeilen, Line Arrays) verursachten Immissionen von denen im Lärmschutz üblichen Prognosen z. B. für Gewerbelärm unterscheidet, wurde eingehend und relativ umfassend auf folgendes eingegangen:

- Grundbegriffe der Beschallungsanlagen,
- Lautsprecherkenngrößen,
- Kenngrößen für die Ausbreitungsrechnung,
- Emissionen von Lautsprechergruppen,
- Schallfelder von Lautsprechergruppen.

Zur Veranschaulichung der Schallfelder von Lautsprechergruppen wurden mehrere Beispielrechnungen eingebunden.

Auf der Grundlage empirischer Daten wurden Frequenzspektren abgeleitet und deren Einfluss auf die Immissionen an Beispielen verdeutlicht.

Da die für die raumakustische Planung und den Entwurf von Beschallungs- und medientechnischen Anlagen entwickelten Softwareprogramme wie EASE oder Ulysses bei der Ausbreitungsrechnung der Norm ISO 9613-2 nicht gerecht werden (n. a. werden die Beugung und der Frequenzbereich kleiner 100 Hz nicht berücksichtigt), die sonst übliche Vorgehensweise mittels der im Lärmschutz genutzten Software wie z. B. IMMI die besonderen Bedingungen bei der Berechnung der von Beschallungsanlagen verursachten Immissionen aber auch nicht erfasst, wurde ein Modell für die näherungsweise Simulation der Schallfelder von beiderseits der Bühne angeordneter Lautsprechergruppen mit Software - Programmen, die beim Lärmschutz genutzt werden, entwickelt (siehe Abschnitt 6). Mittels Beispielrechnungen wurde die Vorgehensweise bei der Simulation demonstriert.

Der Studie ist in der Anlage auf einer CD ein Computerprogramm beigelegt, mit dem über eine Datenbankabfrage die Immissionspegel ermittelt werden können, die von drei verschiedenen Beschallungsanlagen im Umfeld verursacht werden, wenn eines von vier vorgegebenen Schallspektren das Veranstaltungsspektrum beschreibt, d. h., es stehen 12 Schallfeld – Varianten zur Auswahl.

Es werden Maßnahmen zur Lärminderung aufgezeigt und am Beispiel deren Auswirkungen dokumentiert.

Quellenverzeichnis

- /1/ Enhanced Acoustic Simulator for Engineers, ADA Acoustic Design Ahnert, Berlin.
Webseite: www.ada-acousticdesign.de.
- /2/ Ulysses Design Engine, ifbsoft. Webseite: www.ifbsoft.de
- /3/ Prof. Dr. W. Ahnert, ADA Acoustic Design Ahnert, Berlin.
- /4/ DIN ISO 9613-2. Akustik. Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien.
Entwurf. September 1997
- /5/ Dr. Ing. A. Roy: Beschallungskonzepte für Freiluftveranstaltungen unter Beachtung des Immissionsschutzes. Vortrag auf der DAGA 02. Bochum, März 2002.
- /6/ W. Ahnert u. F. Steffen: Beschallungstechnik, Grundlagen und Praxis. S. Hirzel Verlag Stuttgart. Leipzig 1993.
- /7/ VDI 2714, Schallausbreitung im Freien. Juli 1988.
- /8/ Meyersound: Technical Overview. M3D Line Array with BroadbandQ.
www.meyersound.com/products/concertseries/m3d/line_array_theory.htm
- /9/ M. S. Ureda: Line Arrays, Theory and Applications. Audio Engineering Society Convention Paper; 2001, May. Amsterdam.
- /10/ M. S. Ureda: Pressure Respons of Line Arrays. Audio Engineering Society Convention Paper 5649, 2002, October. Los Angeles.
- /11/ MAPP – Online™, Fa. Meyer Sound Laboratories Inc.
Webseite: **Fehler! Hyperlink-Referenz ungültig.**
- /12/ Sechste Allgemeine Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm, vom 26.08. 1998 (GMBL. 1998 Nr. 26, S. 503).
- /13/ Sächsische Freizeitlärmstudie (Entwurf), vom 8. 11. 2002. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie.
- /14/ Degenkolb, B.: Grundlagenuntersuchungen zur Klassifizierung der Lärmemissionen großer musikalischer Freiluftveranstaltungen. Auftraggeber: Landesamt für Umwelt, Natur und Geologie des Landes Mecklenburg – Vorpommern. Oktober 2001.
- /15/ Maempel, Hans - Joachim: Klanggestaltung und Popmusik. Eine experimentelle Untersuchung. (Labor Synchron; 1). Synchron Wissenschaftsverlag der Autoren. Heidelberg 2001.
- /16/ Datenblätter der Fa. HKAudio (www.hkaudio.com).
- /17/ Softwareprogramm IMMI, Version 5.2., FA WÖLFEL Messsysteme Software GmbH & Co, Höchberg.
- /18/ Richtlinie zur Beurteilung der von Freizeitanlagen verursachten Geräusche (Freizeitlärm – Richtlinie) in Mecklenburg – Vorpommern vom 3. Juli 1998.
- /19/ Guski, Reinhold: Lärm. Wirkungen unerwünschter Geräusche. Verlag Hans Huber. Bern 1987.
- /20/ Goertz, Anselm: Berechnung der Schallverteilung und der für die Schallimmissionen relevanten Werte mit Hilfe von Computersimulation am Beispiel eines großen Stadions.
- /21/ David W. Scheirman: Practical Consideration for Field Deployment of Modular Line Array System. AES Conference Paper, 21. Conference, Juni 2002, St. Petersburg.
- /22/ Mark Engelbretson, JBL Professional: Directional Radiation Characteristics of Articulating Line Array Loudspeaker Systems, ARS Convention Paper, November 2001, New York.
- /23/ MeyerSound: Line Arrays: Theory, Fact and Myth. Technical Report. Berkeley, CA, 2002.
- /24/ Anselm Goertz: Theoretische Grundlagen und die praktische Anwendung von Line – Arrays in der Beschallungstechnik und ihre Berücksichtigung in der Simulationstechnik.
- /25/ Taschenbuch der Akustik

Anlagenverzeichnis

- Anlage A 1: Beispiel einer Mittel-/Hochtöner – Lautsprecherbox (zwei 12“ Mittel- und ein 2“ Hochtöner) mit Frequenzgang und Richtcharakteristik
(Quelle: www.gae.de)
- Anlage A 2: Beispiel einer Midbass – Lautsprecherbox (zwei 15“ Tieftöner)
(Quelle: www.meyersound.com)
- Anlage A 3: Beispiel einer Subbass – Lautsprecherbox (zwei 18“ Tieftöner)
(Quelle: www.meyersound.com)
- Anlage A 4: Beispiel einer Bühnenmonitor – Lautsprecherbox (zwei 12“ Tief-/ Mitteltöner und ein 2“ Hochtöner) (Quelle: www.hkaudio.com)
- Anlage A 5: Beispiel eines Lautsprechermoduls für den Einsatz als ‚vertical line array‘ (zwei 15“ Tief-, zwei 10“ Mittel-, zwei 2“ Hochtöner)
(Quelle: : www.eaw.com)
- Anlage A 6-1: Axiales Empfindlichkeitsmaß in dB/1m,1W der 3 – Wege Lautsprecherbox JBL – VT 4889 (2 * 15“, 4 * 8“ u. 3 * 3“ Lautsprecher), (Frequenzgang: +/- 3 dB von 45 Hz ... 16 kHz)
- Anlage A 6-2: Horizontale Richtcharakteristik, (JBL-VT 4889/-6dB Linien/ 3,16 kHz ... 6,3 kHz)
- Anlage A 6-3: Horizontale Richtcharakteristik, (JBL-VT 4889/-6dB Linien/ 200 Hz ... 400 Hz)
- Anlage A 7: Meyersound Subbass PSW – 6 (32 Hz ... 100 Hz; 2* 18” + 2 * 15” Front und 2 * 15” Rückw.), Frontansicht oben rechts, Rückseite oben links, unten horizontale und vertikale Richtcharakteristik
- Anlage A 8-1: Normierter Schallpegelverlauf (10 kHz) bei drei verschiedenen langen Linienanordnungen gleicher Lautsprecher (Line Array), jeweils auf der Wirkbereichsachse der Gruppe gemessen (Quelle: UREDA /9/)
- Anlage A 8 -2: Normierter Schallpegelverlauf bei drei verschiedenen Frequenzen, Länge der Linienanordnung 4m, auf der Wirkbereichsachse der Gruppe gemessen (Quelle: UREDA /9/)
- Anlage A 8-3: Normierter Schallpegelverlauf bei 8 kHz, Länge der Linienanordnung 4m, auf der Wirkbereichsachse der Gruppe und auf der Endpunktachse gemessen (Quelle: UREDA /9/)
- Anlage A 9: Immissionspegel (Terzen) auf der Wirkbereichsachse. Im oberen Teil der Tabelle wurde nur die geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M1D.
(Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)
- Anlage A 10: Immissionspegel (Terzen) auf der Wirkbereichsachse. Im oberen Teil der Tabelle wurde nur die geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M3D.
(Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)
- Anlage A 11: Immissionspegel (Terzen) längs der Endpunkt – Achse. nur geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M1D.
(Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)

- Anlage A 11 -1: Schallfeld (Vertikalebene/Wirkbereichsachse), Meyersound M1D - Array, Oktave 125 Hz, 4 Boxen (oben), 16 Boxen (mittleres Bild), 16 Boxen gekurvt aufgehängt (zwei unteren Bilder)
- Anlage A 11 -2: Schallfeld (Vertikalebene/Wirkbereichsachse), Meyersound M1D- Array, Oktave 1 kHz, 4 Boxen (oberes Bild), 16 Boxen (mittleres Bild), 16 Boxen gekurvt aufgehängt (unteres Bild)
- Anlage A 12 : Immissionspegel (Terzen) längs der unteren Endpunkt – Achse des Arrays. Nur geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M3D. (Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)
- Anlage A 13-1: Schallfeld einer M3D – Lautsprecherbox der Fa. Meyersound. Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Box. 1 kHz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 13-2: Schallfeld zweier M3D – Lautsprecherboxen der Fa. Meyersound (20 m Abstand) . Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Boxen. 1 kHz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 13-3: Schallfeld zweier M3D – Lautsprecherboxen der Fa. Meyersound (20 m Abstand) . Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Boxen. 125 Hz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 13-4: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen auf der Mittelsenkrechten vor den Boxen (gleiche Entfernung zu jeder Box). Meyersound - System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.
- Anlage A 13-5: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen auf einer Linie, die um 45° gegenüber der Verbindungslinie beider Boxen ausgelenkt ist. Meyersound – System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.
- Anlage A 13-6: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen direkt auf der Verbindungslinie beider Boxen (querab). Meyersound – System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.
- Anlage A 13-7: Schallfeld (Breitband und unbewertet) zweier mit einem seitlichen Abstand von 20 m nebeneinander stehender Lautsprechergruppen. Jede Gruppe besteht aus zwei übereinander stehende Meyersound – MSL - 4 Boxen. Frequenzband von 100Hz – 10 kHz. Berechnet mit EASE /1/. Schallfeldabmessungen: Breite 800m, Länge 1060 m (-60m + 1000m)
- Anlage A 13-8: Schallfeld (Breitband – Mittelung und unbewertet) nur einer der in Anlage A 13-7 angeführten Lautsprechergruppen (zwei übereinander stehende Meyersound – MSL -4 Lautsprecherboxen. Frequenzband von 100Hz – 10 kHz. Berechnet mit EASE /1/ Schallfeldabmessungen: Breite 800m, Länge 1060 m (-60m + 1000m)
- Anlage A 14-1: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 1 kHz Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)

- Anlage A 14-2: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 125 Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 14-3: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 63 Hz Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 14-4: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, mit Bodenreflexionen und den Reflexionen von einer 10 m hinter der Anlage stehenden Wand, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild 125 Hz- Oktave, unteres Bild 63 Hz - Oktave. (Pegelanzeige in dB relativ)
- Anlage A 14-5: Vergleich der Immissionspegel bei drei Entfernungen jeweils mit und ohne Bodenreflexion (Beton als Bodenfläche). In der vorletzten Spalte die Werte, wenn zusätzlich 10 m hinter dem Array eine Ziegelwand als Reflektor wirkt. Positionen direkt vor dem Array. Schallquelle: 10 M3D gekurvt (vertikal) aufgehängt + 6 M3D-SUB gestapelt darunter. Ausbreitungsrechnung ohne Beugungseinflüsse
- Anlage A 14-6: Vergleich der Immissionspegel bei zwei Entfernungen jeweils mit und ohne Bodenreflexion (Beton als Bodenfläche, darüber mit Publikum besetzte Holzstühle). Schallquelle: Je Bühnenseite 6 RT 112F (vertikal) aufgehängt. Immissionsorte: Jeweils mittig vor der Bühne in 4 m Höhe ü. Gelände Berechnet mit dem Softwareprogramm EASE /1/ (phasenbezogene Verknüpfung).
- Anlage A 15-1: Vergleich der Immissionspegel eines Pop-Titels, der einmal mit der für die Veranstaltung vorgesehenen normalen Verstärkung und als Vergleich mit einer für die Anlage maximalen Verstärkung abgespielt wurde. Messposition: Mischpult, mittig vor der Bühne in 30m Abstand. Aufnahme während des Soundchecks für eine Open – Air - Veranstaltung für ca. 15.000 Zuschauer.
- Anlage A 15-2: Normierte lineare Frequenzspektren von vier Freiluftveranstaltungen (Terz mit dem Maximalpegel auf 0 dB gesetzt, die anderen Terzen dementsprechend reduziert). Graphische Darstellung: Bild 8
- Anlage A 15-3: Normierte lineare Frequenzspektren von vier Freiluftveranstaltungen (Oktave mit dem Maximalpegel auf 0 dB gesetzt, die anderen Oktaven dementsprechend reduziert).
- Anlage A 15-4: Charakteristik der Beschallungsanlagen bei den Kurven A, B, D und E.
- Anlage A 16-1: Richtcharakteristik der Lautsprecherbox HK Audio RT 112F (Quelle /2/ für die Oktaven und /1/ für Terz 100 Hz)
- Anlage A 16-2: Simulationsergebnisse des Beispiels 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräuschtyp „E“)
- Anlage A 16-3: Simulationsbeispiel 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräuschtyp „E“), Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen“ (mit EASE/1/ berechneter Immissionspegel am IP 30 m v. d. Bühne: 105 dB(A))
- Anlage A 16-4: Simulationsbeispiel 2 (EAW – Anlage, Geräuschtyp „B“), Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen“ (mit EASE/1/ berechneter Immissionspegel am IP 30 m v. d. Bühne: 108 dB(A))
- Anlage A 16-5: Richtcharakteristik der Lautsprecherbox KF 750 (Quelle: /2/ für die Oktaven und /1/ für Terz 100 Hz)

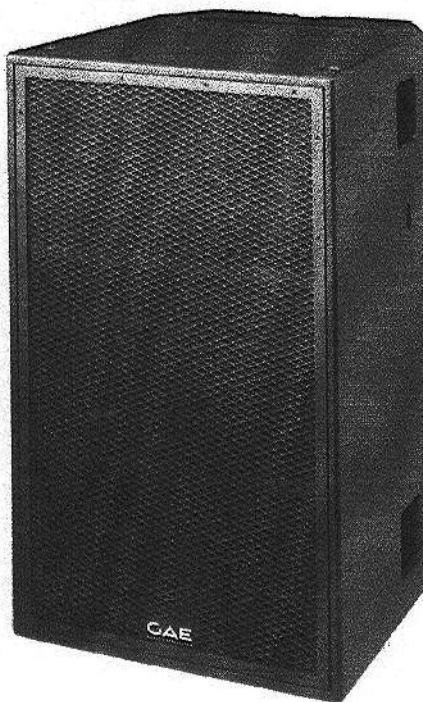
- Anlage A 16-6: Simulationsergebnisse des Beispiels 2 (EAW – Anlage, Geräushtyp „B“)
- Anlage A 16-7: Simulationsbeispiel 4 (Meyersound – Anlage, Geräushtyp „A“),
Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen
- Anlage A 17-1: Beispiel 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräushtyp „E“), Emissionen reduziert auf
Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m
- Anlage A 17-2: Beispiel 2 (EAW – Anlage, Geräushtyp „B“), Emissionen reduziert auf
Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m
- Anlage A 17-3: Beispiel 3 (EAW – Anlage, Geräushtyp „D“), Emissionen reduziert auf
Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m
- Anlage A 17-4 : Beispiel 4 (Meyersound – Anlage, Geräushtyp „A“), Emissionen reduziert auf
Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m
- Anlage A 17-5: Immissionspegel für die Beispiele 1 bis 4, wenn die Emissionen so gedrosselt
werden, dass mittig vor der Bühne in 100m Entfernung ein Immissionspegel von
90 dB(A) verursacht wird (bedeutet bei 30 m mittig v. d. Bühne ca. 95 dB(A))

Anlagen

Anlage A 1

GAE

GAE Director Top



Das GAE Director Top ist ein aktives Hochleistungslautsprechersystem, das mit zwei horngeladenen 12"-Spezialmittelton- und einem horngeladenen 1,5"-Neodym-Druckkammerlautsprecher bestückt ist. Der Hochtontreiber ist elektrisch gegen Gleichspannung und akustische Rückladung geschützt. Die Hornkonstruktionen sind aus Glasfaserlaminat gefertigt und extrem widerstandsfähig gegenüber mechanischen Einflüssen. Durch den twin-coaxialen Aufbau wird eine äußerst präzise Richtcharakteristik erzielt. Das Gehäuse ist aus mehrschichtig verleimtem Birkenspertholz gefertigt und mit schwarzem Polyurethanlack versiegelt. Die Frontseite des Lautsprechers ist durch ein Metallgitter geschützt, das blickdicht mit Akustikschaum hinterlegt ist und einen Schalldurchlaß von 70% aufweist. Das Gehäuse ist seitlich mit MAN-Aufhängevorrichtungen CF4 versehen, die mit MAN-Einhängerringen HWSPB genutzt werden können. Zum Neigen des Systems sind rückwärtig Gurtdurchführungen angebracht. Weiterhin ist das System mit Lenkrollen und in das Holz eingelassene Griffmulden ausgestattet. Die Anschlüsse bestehen aus 8poligen CA-COM-Steckverbindern.

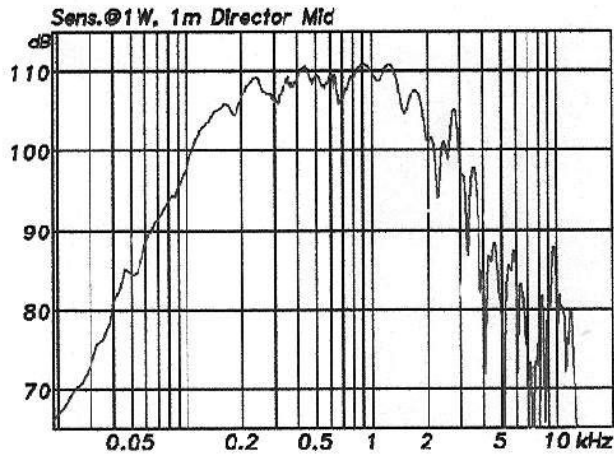
The GAE Director Top is a 2-way-active, twin-coaxial high "Q" loudspeaker system comprising two specially constructed 12" and a 1.5" Neodym-compression drivers in a horn-loading. The HF-driver is electronically protected against DC and acoustical pressure load. The hand-laminated fibreglass horn constructions are extremely robust and resistant to external mechanical influences. The twin-coaxial construction principle allows an extremely precise directional characteristic. The multi-layered, birch-ply enclosure is sealed with a black polyurethane, structure varnish. The components are protected by a metal front grill with 70% permeability and backed with acoustic foam. MAN-suspension points CF4 are integrated into the side walls of the enclosure enabling the use of the MAN HWSPB fittings for hoisting and are complemented by keeping strap brackets allowing the tilting of the systems when flown. The system is equipped with wheels and handling recesses. The connectors are of the 8-pin CA-COM type.

Design.....	2-way mid-/high system, twin-coaxial, horn loaded
Frequency range.....	120Hz - 18KHz
Power handling capacity.....	700W / 120W (IEC norm 268-5)
Impedance.....	8Ω
Dispersion.....	60° x 40° CD
Sensitivity (1W / 1m).....	108dB
Peak SPL (1m).....	>138dB
Components.....	2x 12" compression driver / 1,5" N/Dym.
Fittings.....	MAN flying system, wheels
Recommended input power(IEC).....	12": 750W - 1200W / 8Ω 1,5": 250W - 350W / 8Ω
Connectors.....	CA-COM 8-pin
Weight (kg).....	90
Dimensions (H x W x D) (cm).....	100 x 60,1 x 60

Anlage A 1

GAE

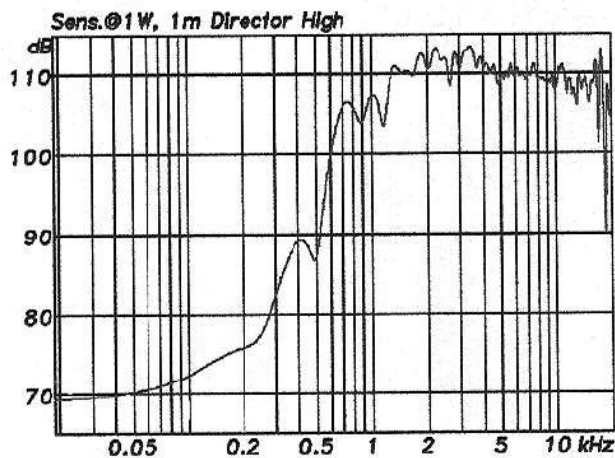
GAE Director Top (mid-range)



Frequency response

GAE

GAE Director Top (high-range)

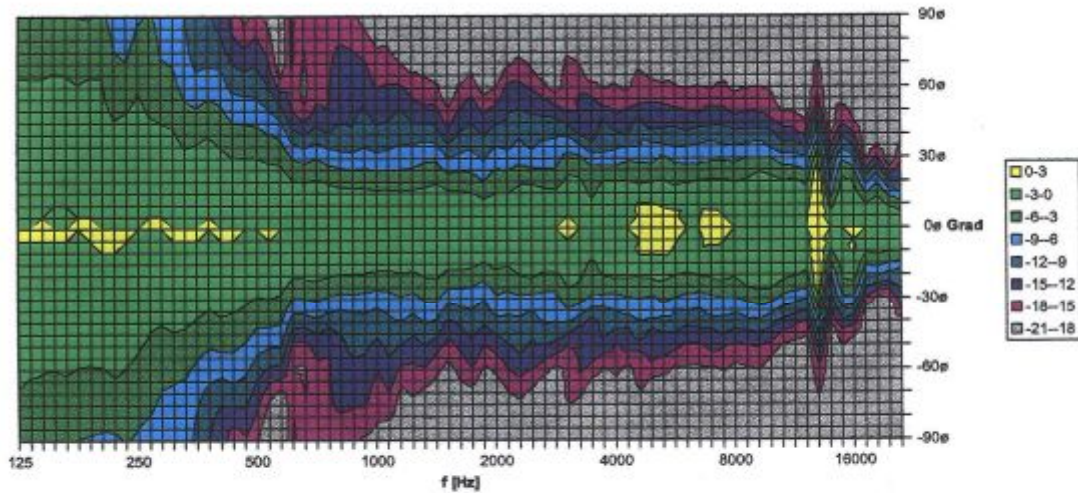


Frequency response

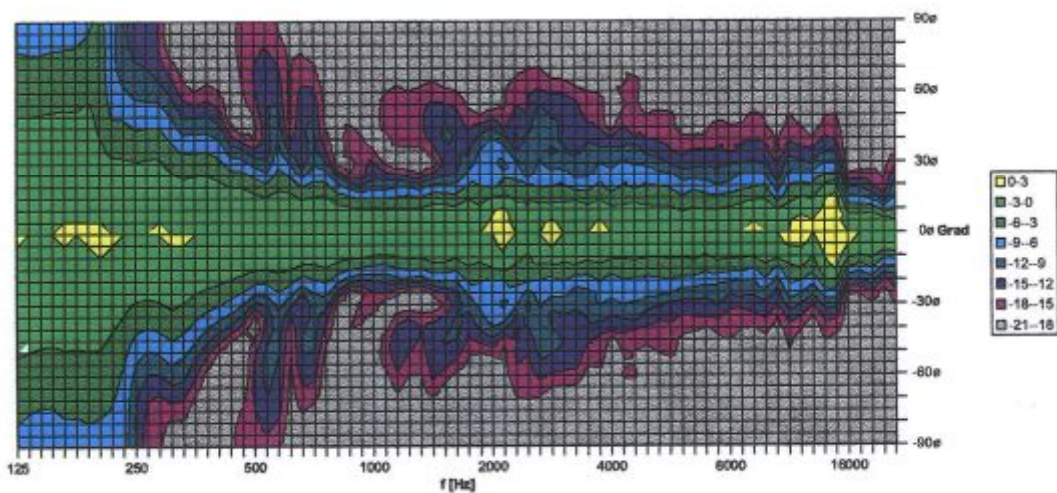


GAE Director Top

Horizontal directivity plot



Vertical directivity plot



Anlage A 1: Beispiel einer Mittel-/Hochtöner – Lautsprecherbox (zwei 12" Mittel- und ein 2" Hochtöner) mit Frequenzgang und Richtcharakteristik (Quelle: www.gae.de)

Anlage A 2

FEATURES



Integrated control electronics and amplifiers



TruPower™ Limiting (TPL)



Intelligent AC™ System



Compatible with the Remote Monitoring System™ (RMS)



High-power



Extremely low distortion



Reliable and durable



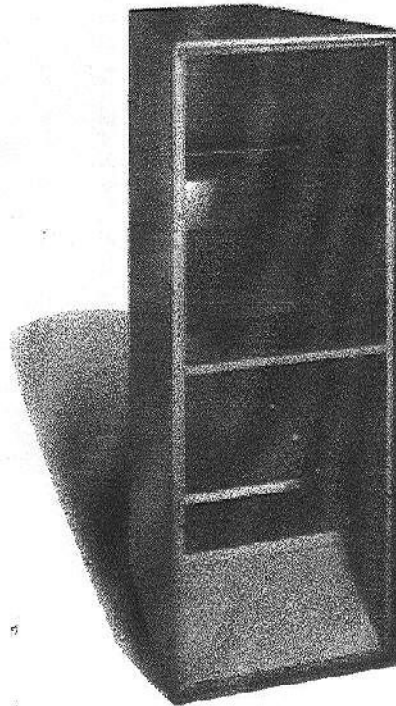
Arrayable

*Superior
engineering
for the art
and science
of sound.*



**Meyer
Sound**

DS-2P *Self-Powered Mid-Bass Reinforcement Loudspeaker*



The DS-2P is a self-powered, arrayable mid-bass loudspeaker designed to supplement the MSL-4 unit in the 40-160 Hz range. It can also be used with other, non-powered units such as the MSL-3A and MSL-10A. It delivers high audio power with extremely low distortion. The DS-2P uses two 15-inch cone drivers in a folded horn enclosure. These horns have a hyperbolic flare that give the unit maximum energy transfer with minimum frequency response ripple.

The DS-2P has the Intelligent AC™ system, which performs automatic voltage selection, EMI filtering, soft current turn-on, and surge suppression. Installation of

this unit is as simple as plugging-in a power source and an audio signal source.

The amplifier unit is equipped with TruPower™ Limiter technology, which maximizes speaker protection reliability and component life. This breakthrough in speaker control also results in higher SPL at all frequencies, and increased available headroom. Long term power compression, typically 3-6 dB in conventional systems, is less than 1 dB. Maximum SPL capability remains constant even during operation at high levels for extended periods.

DS-2P performance can be supervised using the Remote Monitoring System™ (RMS). This enables users at a

computer terminal to monitor such parameters as limiting activity, power output, voltage, temperature, fan speed, and driver status.

The built-in power amplifier is designed for maximum efficiency and reliability. Servicing in the field is facilitated by the modular design of the DS-2P; the entire power/amplifier module can be accessed and replaced, if necessary.

DS-2P SPECIFICATIONS

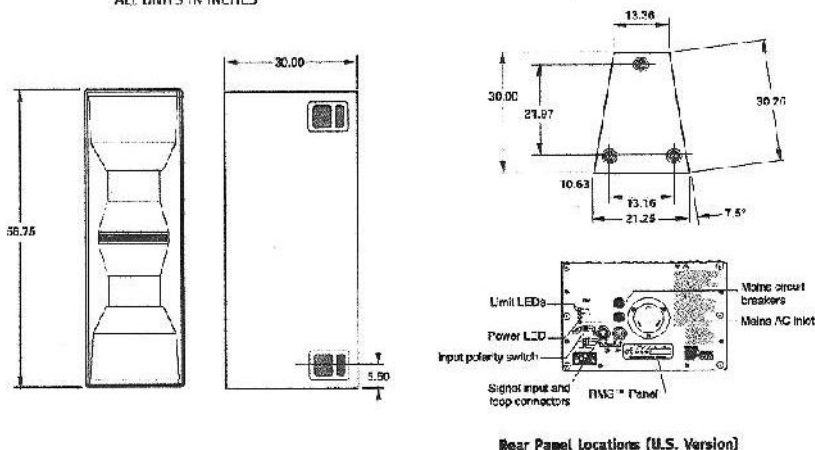
ACOUSTICAL* (EACH LOUSPEAKER)	Frequency Response Phase Response Maximum SPL Dynamic Range	±2 dB from 40 Hz to 160 Hz ±60° from 60 Hz to 200 Hz >140 dB SPL peak@1 meter >120 dB
COVERAGE	(-6 dB points)	120° H; 120° V
TRANSDUCERS	Low Frequency	15" diameter MS-15 cone (2)
AUDIO INPUT	Type Connector Nominal Input Level	10kΩ Impedance, electronically balanced XLR (A-B) male and female +4 dBu
AMPLIFIERS	Type Burst capability THD, IM, TIM	Complementary power MOSFET output stages (audio class AB/H) 1240 watts (620 watts/channel) < .02 %
AC-POWER	Connector Automatic voltage selection Operational Voltage range Max Continuous RMS Current (>10 sec) Burst RMS Current (<1 sec) Max Peak Current During Burst Soft Current Turn-on	250V NEMA L6 20P (twistlock) inlet or IEC 309 male Inlet 95-125 VAC and 208-235 VAC; 50/60 Hz Turn on: 85 VAC; Turn off: 134 VAC; 50/60 Hz Turn on: 165 VAC; Turn off: 264 VAC; 50/60 Hz @115V: 8A @230V: 4A @100V: 10A @115V: 15A @230V: 8A @100V: 18A @115V: 22Apk @230V: 11Apk @100V: 25Apk Inrush current <12A @ 115V
PHYSICAL	Dimensions Weight Enclosure Finish Protective Grill Rigging	21 3/4" W x 56 3/4" H x 30" D 243 lbs (110 kg) / shipping: 267 lbs (121 kg) Multi-ply hardwood Black textured Perforated metal grill, charcoal-grey foam Aircraft pan fittings (3 on both top and bottom). Working load for each fitting is 600 lbs, which is 1/4 the

NOTES

1. Acoustical specifications are for the minimum configuration of two DS-2P cabinets and are measured on axis at 2 meters from 1/8" baffle (located at cabinet rear).
2. Subject to half space loading, measured with one-third octave frequency resolution in fixed ISO bands.
3. Nominal 8Ω resistive load, pink noise, 100V peak.
4. Other connectors available.
5. The unit is rated at 95-125 VAC and 208-235 VAC, 50/60 Hz, to satisfy EC standards for -10% to 6% AC line voltage.

PHYSICAL DIMENSIONS

ALL UNITS IN INCHES



DS-2P - 04.035.018.018

MEYER SOUND LABORATORIES, INC.
2832 San Pablo Avenue
Berkeley, CA 94702
tel: 510.486.1166
fax: 510.486.8356
e-mail: techsupport@meyersound.com
http: www.meyersound.com

© 1998 Meyer Sound Laboratories, Inc.
All rights reserved

Meyer Sound Laboratories has devoted itself to designing, manufacturing, and refining components that deliver superb sonic reproduction. Every part of every component is designed and built to exacting specifications and undergoes rigorous, comprehensive testing in the laboratories.

Research remains an integral, driving force behind all production. Meyer strives for sound quality that is predictable and neutral over an extended lifetime and across an extended range.

Anlage A 2: Beispiel eines Midbass – Lautsprechersystems (zwei 15“ Tieftöner)
(Quelle: www.meyersound.com)

Anlage A 3

Meyer Sound : 650-P

Seite 1 von 4



**650-P Self-Powered
Reinforcement Subwoofer**

30" wide
45" tall
22 1/2" deep
201 lbs (91.3 kg)
Max SPL (Peak): 136 dB
Freq Range: 30-120 Hz



Features

High power
Extremely low distortion
Reliable and durable
Integral amps and controllers
Intelligent AC™

Applications

Road use or installations
Sound reinforcement
Concert, film and theater
Live music club systems
Bass instrument amplification

The 650-P is a self-powered, tuned, bass-reflex subwoofer that uses two 18" drivers, capable of long excursion with minimal distortion. The unit extends the lower range of Meyer Sound reinforcement systems by providing a frequency response of 30 to 120 Hz. Being self-powered, the amplifiers and control electronics are fully contained within the speaker enclosure.

Meyer Sound : 650-P

Seite 2 von 4

(each loudspeaker)	
Frequency Response 1	±4 dB from 28 Hz to 100 Hz
Phase Response 1	±30° from 45 Hz to 145 Hz
Maximum SPL 1	136 dB peak@1 meter
Dynamic Range	>110 dB
Coverage	
-6 dB points	360°H ; 180°V
Transducers	
Low Frequency	18" diameter MS-18 cone z
Audio Input	
Type	10k ohm impedance, electronically balanced
Connector	XLR (A-3) male and female
Nominal Input Level	+4 dBu
Amplifiers	
Type	Complementary power MOSFET output stages (audio class AB/H)
Burst Capability 2	1240 watts (620 watts/channel)
THD, IM, TIM	< .02 %

Anlage A 3: Beispiel einer Subbass – Lautsprecherbox (zwei 18" Tieftöner)
(Quelle: www.meyersound.com)

Anlage A 4



PRODUKT-INFORMATION

SM 212

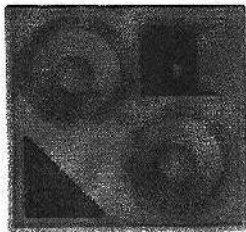
M SERIES

SM 212

Professioneller 2-Weg Fullrange-Bühnenmonitor für Passiv- oder Biamp-Betrieb. Herausragende Sprachverständlichkeit, Phasenlinearität und höchster Dynamikumfang auch bei sehr hohem Schalldruck.

Ideal für alle Monitoranwendungen, bei denen kompromißlose Audioqualität und hoher Schalldruck gefordert ist, wie z.B. bei Rockkonzerten, auf großen Bühnen usw. Eingebaute schaltbare Frequenzweiche (Passiv- oder Biamp-Betrieb).





Technische Daten

Nominal-Leistung:	600 Watt
Programm-Leistung:	1.200 Watt
Frequenzgang:	50 Hz – 16 kHz +/- 3 dB
Empfindlichkeit 1W/1m:	106 dB* (100 dB Full Space)
Max. Schalldruck /1m:	138 dB* @ 10 % THD (132 dB Full Space)
Impedanz (nominal):	4 Ohm
Lautsprecher:	2x 12" Precision Devices
Hochtontreiber:	1x 2" B&C
Horn:	60° x 40° CD Horn
Trennfrequenz:	Passiv-Betrieb: 1 kHz, 12 dB / Oktave
Biamp-Betrieb mit AC 22 Controller:	1kHz, 24 dB / Oktave
Anschlüsse:	2x Speakon NL 4, 1x XLR Male, 1x XLR Female
Gehäuse:	19 mm starkes, 13-schichtiges Birkenesperrholz
Oberfläche:	Zwei-Komponenten Polyurethan Lack
Frontabdeckung:	Metallgitter mit schwarzem 15mm Akustikschaumstoff
Griffe:	zwei versenkte Stahlgriffe
Gewicht:	52 kg (114 lb)
Abmessungen:	66 x 63 x 46 cm (26" x 27" x 17.5")

* Half-Space Messung.

HK AUDIO® • Lolozipfer Str. 3 • 66606 St. Wendel • Germany • info@hkaudio.com
INTERNATIONAL INQUIRIES: FAX +49-68 51-905 200 • hkaudio-intl@musicandsoles.com

auch zum downloaden:

www.hkaudio.com



PRODUKT-INFORMATION

SM 212

Beschreibung

Der **SM 212** ist ein 2-Weg Fullrange-Bühnenmonitor, der sowohl passiv als auch im Biamp-Betrieb eingesetzt werden kann. Er zeichnet sich besonders durch seine Sprachverständlichkeit, außergewöhnliche Phasenlinearität, großen Dynamikumfang und sehr hohen Schalldruck aus.

Der **SM 212** wurde in erster Linie für Monitoranwendungen entwickelt, bei denen hoher Schalldruck und hervorragende Wiedergabequalität von Stimme und Bass gefordert sind. Für Biamp-Betrieb wird der analoge HK AUDIO AC 22 Controller mit dem entsprechenden Modul empfohlen.

Beim **SM 212** kommen zwei direkt-geladene 12" Precision Devices Lautsprecher sowie ein 2" B&C Hochtontreiber mit 60° x 40° CD Horn zum Einsatz. Die 12" Lautsprecher sind diagonal oben links und unten rechts angeordnet, während sich das Hochtonhorn oben rechts in der Schallwand befindet.

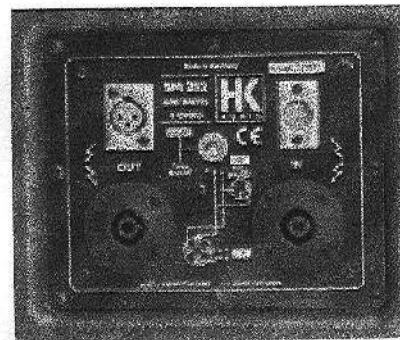
Der **SM 212** hat einen Frequenzgang von 50 Hz bis 16 kHz (+/- 3 dB) und eine nominale Belastbarkeit von 600 Watt RMS an 4 Ohm. Die Empfindlichkeit gemessen bei 1 Watt @1m beträgt 106 dB im Halbraum, der maximale Schalldruck in 1m Abstand beträgt 138 dB (ebenfalls Halbraum-Messung).

Die versenkte Anschlussplatte auf der Rückseite des SM 212 II ist mit zwei Neutrik NL 4 Speakon-Anschlüssen sowie je einem XLR Male und Female Anschluss ausgestattet. Alle Anschlüsse sind parallel verdrahtet. Im Passiv-Betrieb liegt bei den Speakon-Anschlüssen das Signal auf Pin 1+ und 1-, bei den XLR Buchsen auf 1(-) und 2 (+). Im Biamp-Betrieb liegt das HF-Signal auf Pin 1+ und 1-, das LF/MF-Signal auf Pin 2+ und 2- der Speakon-Anschlüsse.

Eine passive Frequenzweiche mit einer Übergangsfrequenz von 1 kHz zwischen 12" Speakern und 2" Treiber, Phasen- und Frequenzgangkorrektur ist im Gehäuse integriert. Für den Biamp-Betrieb kann sie ausgeschaltet werden.

Das Gehäuse besitzt die typische Monitorform mit einem Schallwandwinkel von 39°. Es besteht aus 19 mm starkem, 13-schichtigem Birkenparkett und ist 66 cm breit, 63 cm hoch und 46 cm tief. Das Gewicht beträgt 52 kg. Die Oberfläche ist mit wasserfestem Zwei-Komponenten Polyurethan-Strukturlack überzogen. Die Schallwand wird durch ein Metallgitter mit 15 mm Akustik-Schaumstoff geschützt. An den Seiten des Gehäuses sind stabile Stahlgriffe eingelassen.

Anschlussplatte:



Ausschreibungstext

Professioneller 2-Weg Fullrange-Bühnenmonitor mit zwei 12" Bass- / Mittenlautsprechern und einem 2" Hochtontreiber für außergewöhnliche Sprachverständlichkeit und Phasenlinearität auch bei höchstem Schalldruck. Sowohl passiv als auch im Biamp-Mode (2-weg aktiv) betreibbar. Bass- / Mittenlautsprecher in einem auf optimale Bass-Wiedergabe abgestimmten Bassreflexgehäuse montiert, sowie Hochtontreiber an ein 60° x 40° Constant Directivity Horn gekoppelt. Der Winkel der Schallwand zum Boden beträgt 39°.

Trapezförmiges Gehäuse aus 13-schichtigem 19mm Birkenparkett mit dunkelgrauem 2-Komponenten Polyurethan-Strukturlack. Je zwei versenkte Stahlgriffe an den Gehäuseselten. Stabiles Schutzgitter aus Stahl mit 15 mm dicker, schwarzer Akustikschaumstoff.

Interne Passiv-Frequenzweiche mit Trennfrequenz von 1 kHz (12 dB /Oktave) sowie Phasen- und Frequenzgangkorrektur, für den Biamp-Betrieb abschaltbar. Übertragungsbereich von 50 Hz bis 16 kHz (+/- 3 dB). Empfindlichkeit von 106 dB on axis @ 1 W / 1 m im Halbraum, maximaler Schalldruck 138 dB / 1 m im Halbraum bei 10% THD. Belastbarkeit von 600 Watt RMS. Impedanz: 4 Ohm. Anschlüsse: 2x Neutrik NL 4 Speakon, 1x XLR Male, 1x XLR female.

Maße (B x H x T): 66 x 63 x 46 cm.

Gewicht: 52 kg

Typ: **HK AUDIO SM 212**

HK AUDIO® • Leipziger Str. 3 • 66606 St. Wendel • Germany • info@hkaudio.com
INTERNATIONAL INQUIRIES: FAX +49-68 51-905 200 • hkaudio-intl@musicandsales.com

www.hkaudio.com

Anlage A 4: Beispiel einer Bühnenmonitor – Lautsprecherbox (zwei 12" Tief-/ Mitteltöner und ein 2" Hochtoner)
(Quelle: www.hkaudio.com)



TECHNICAL SPECIFICATIONS KF860

DESCRIPTION

A 3-way triamp full range system in a trapezoidal vertically arrayable enclosure. Includes 2x 15-in woofers ("tuned" for dipolar directivity), 2x horn-loaded 10-in midrange cones and 2x 2-in exit compression drivers on separate 60 x 30 constant directivity horns.

APPLICATIONS

The KF860 Virtual Line Array module is engineered for use in vertical arrays of no less than three and as many as 12 units. DSP-driven Tuned Dipolar Array effects create outstanding off-axis rejection to 100 Hz and below. Unique rigging system provides a new level of accuracy and repeatability. The system of choice for televised live events. Six year warranty.

Applications include:

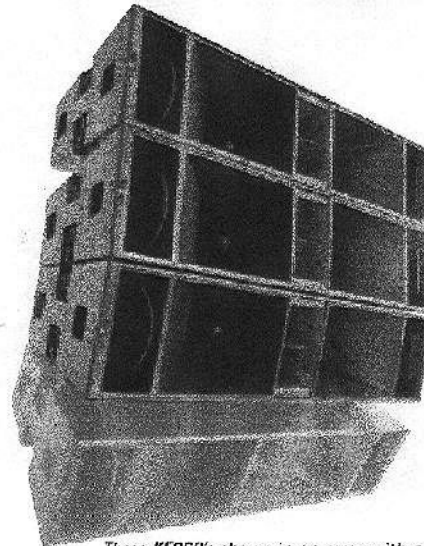
Major Televised Events
Concert Tours

DESCRIPTIVE DATA

Part Number	999274
Product Group	V
LF Subsystem & Loading	2x 15-in. Angled Baffles
MF Subsystem & Loading	2x 10-in Cone, Horn Loaded
HF Subsystem & Loading	2x 2-in Exit Compression Driver on Constant Directivity Horn
System Configuration	3-way, Full Range
Powering Configuration(s)	Triamplified via MX 8600 Processor
Recommended High-Pass Frequency (24 dB/Octave)	30Hz
Cabinet Type (shape)	Horizontal Trapezoidal
Enclosure Materials	Baltic Birch Plywood
Finish	Black Catalyzed Polyurethane
Connectors	One each male and female APG
Grill	Vinyl Coated Perforated Steel

NOMINAL DATA

Frequency Response (Hz)	
±3 dB	50Hz to 17kHz
-10 dB	40Hz
Axial Sensitivity (dB SPL/1 Watt/1m)	
LF	102
MF	112
HF	115



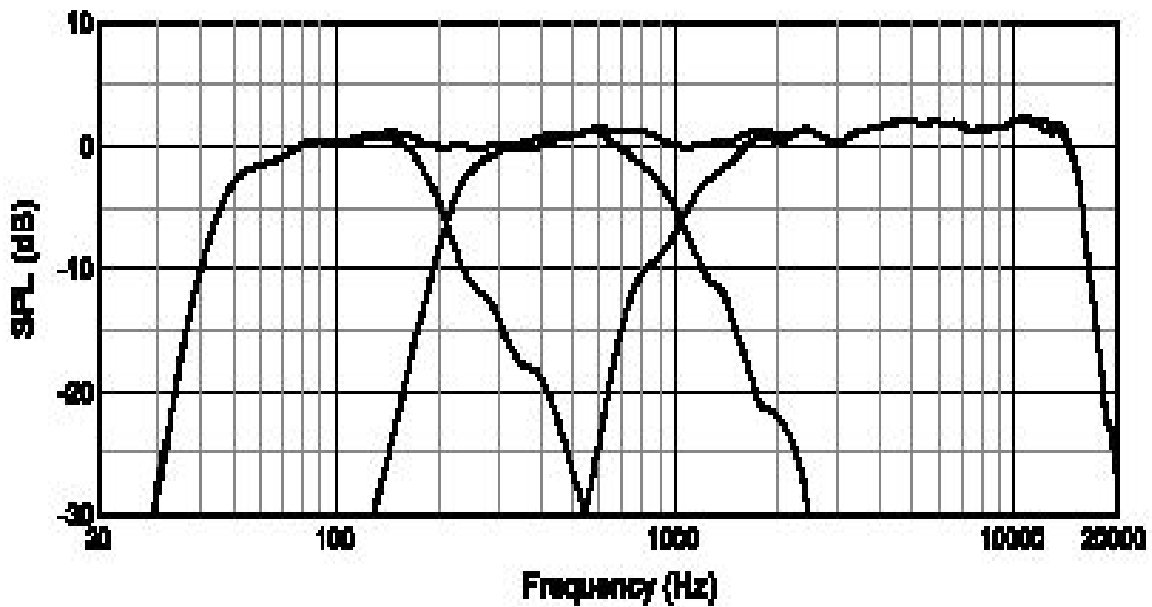
Three KF860's shown in an array with a KF861.

Impedance (Ohms)		
LF	4	
MF	4	
HF	5	
Power Handling (Watts)		
LF AES Standard	2000	
MF AES Standard	800	
HF AES Standard	400	
Calculated Maximum Output (dB SPL, @ 1m)		
LF Peak	141.0	
MF Peak	147.0	
HF Peak	147.0	
LF Long Term	135.0	
MF Long Term	141.0	
HF Long Term	141.0	
Nominal Coverage Angle / -6 dB points (degrees)		
Horizontal	60	
Vertical	30	
Dimensions		
	inches	millimeters
Height (front)	18.5	470
Height (rear)	12.875	327
Width	72	1829
Depth	32	813
Trapezoid Angle	5 degrees per side	
Weights		
	pounds	kilograms
Net Weight	363	165.2
Shipping Weight	375	170.6

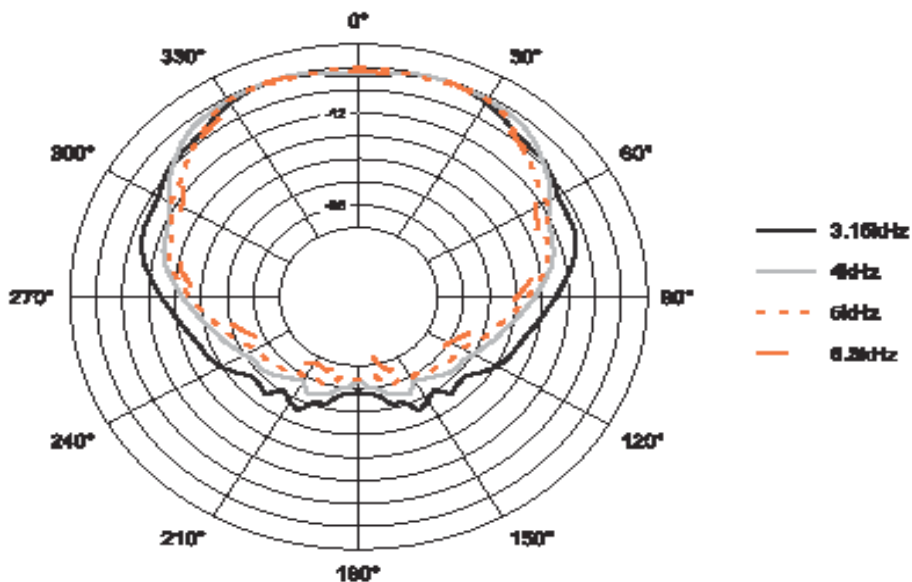


One Main Street, Waltham, MA 01988 • (508) 234-6158 • FAX (508) 234-8251 • Email info@eaw.com • Web http://www.eaw.com
EAW products are constantly improved. All specifications are therefore subject to change without notice. • PUB# KF860-888053 (A) / 2 pp / 1/28/99 • Printed in USA

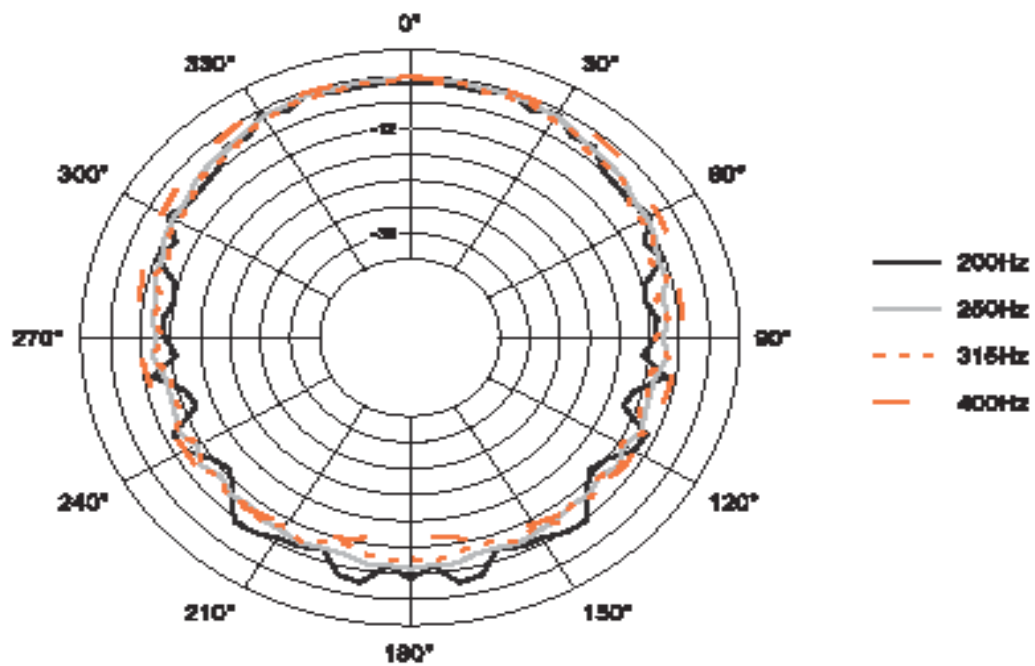
Anlage A 5: Beispiel eines Lautsprechermoduls für den Einsatz als 'vertical line array'
(zwei 15" Tief-, zwei 10" Mittel-, zwei 2" Hochtöner)
(Quelle: : www.eaw.com)



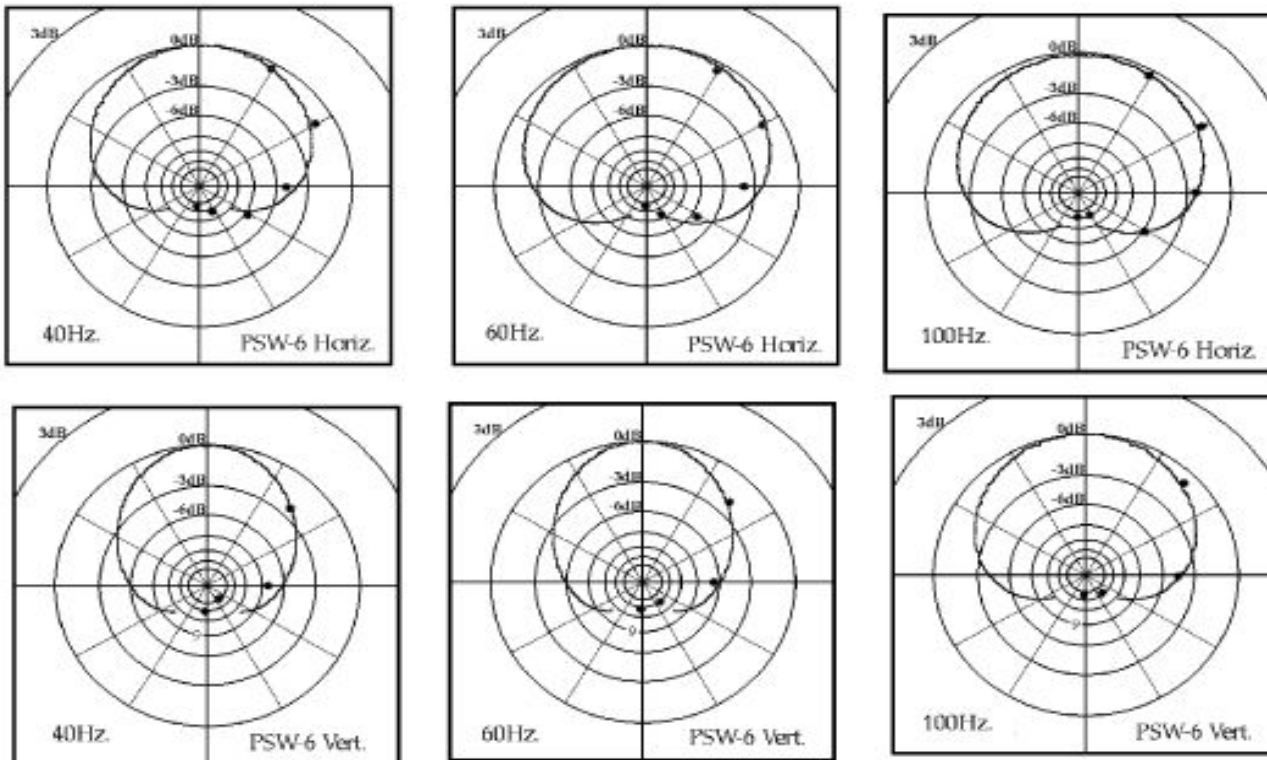
Anlage A 6-1: Axiales Empfindlichkeitsmaß in dB/1m,1W der 3 – Wege Lautsprecherbox JBL – VT 4889 (2 * 15", 4 * 8" u. 3 * 3" Lautsprecher), (Frequenzgang: ± 3 dB von 45 Hz ... 16 kHz)



Anlage A 6-2: Horizontale Richtcharakteristik, (JBL-VT 4889/-6dB Linien/ 3,16 kHz ... 6,3 kHz)



Anlage A 6-3: Horizontale Richtcharakteristik, (JBL-VT 4889/-6dB Linien/ 200 Hz ... 400 Hz)



• Measured points outside free field

Anlage A 7: Meyersound Subbass PSW – 6 (32 Hz ... 100 Hz; 2* 18" + 2 * 15" Front und 2 * 15" Rückw.), Frontansicht oben rechts, Rückseite oben links, unten horizontale und vertikale Richtcharakteristik

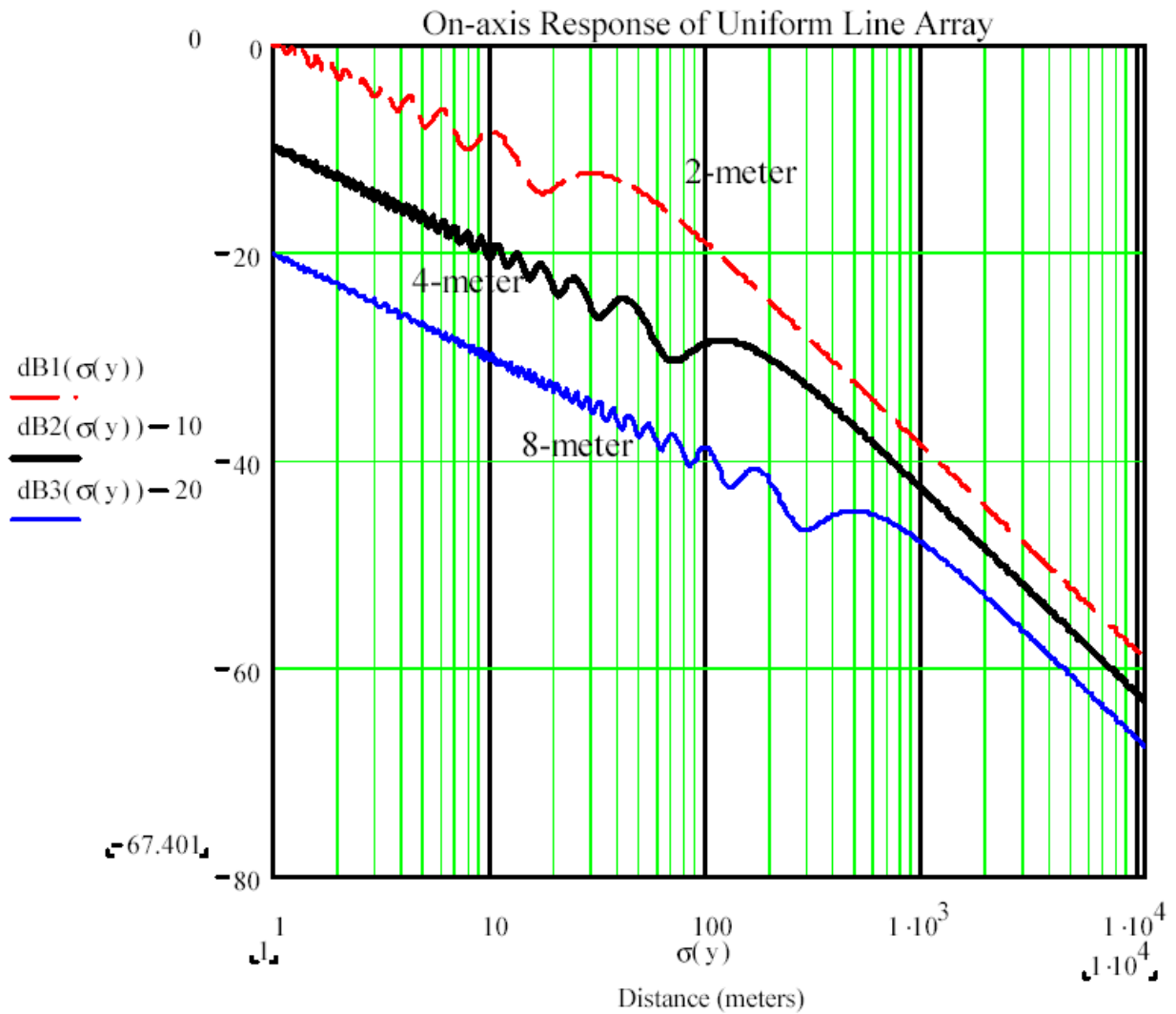


Figure 10: On-axis response of a 2, 4, and 8- meter long uniform line array at 10kHz. Note that the 4 and 8-meter responses are offset by 10 and 20dB respectively.

Anlage A 8-1: Normierter Schallpegelverlauf (10 kHz) bei drei verschiedenen langen Linienanordnungen gleicher Lautsprecher (Line Array), jeweils auf der Wirkbereichsachse der Gruppe gemessen (Quelle: UREDA /9/)

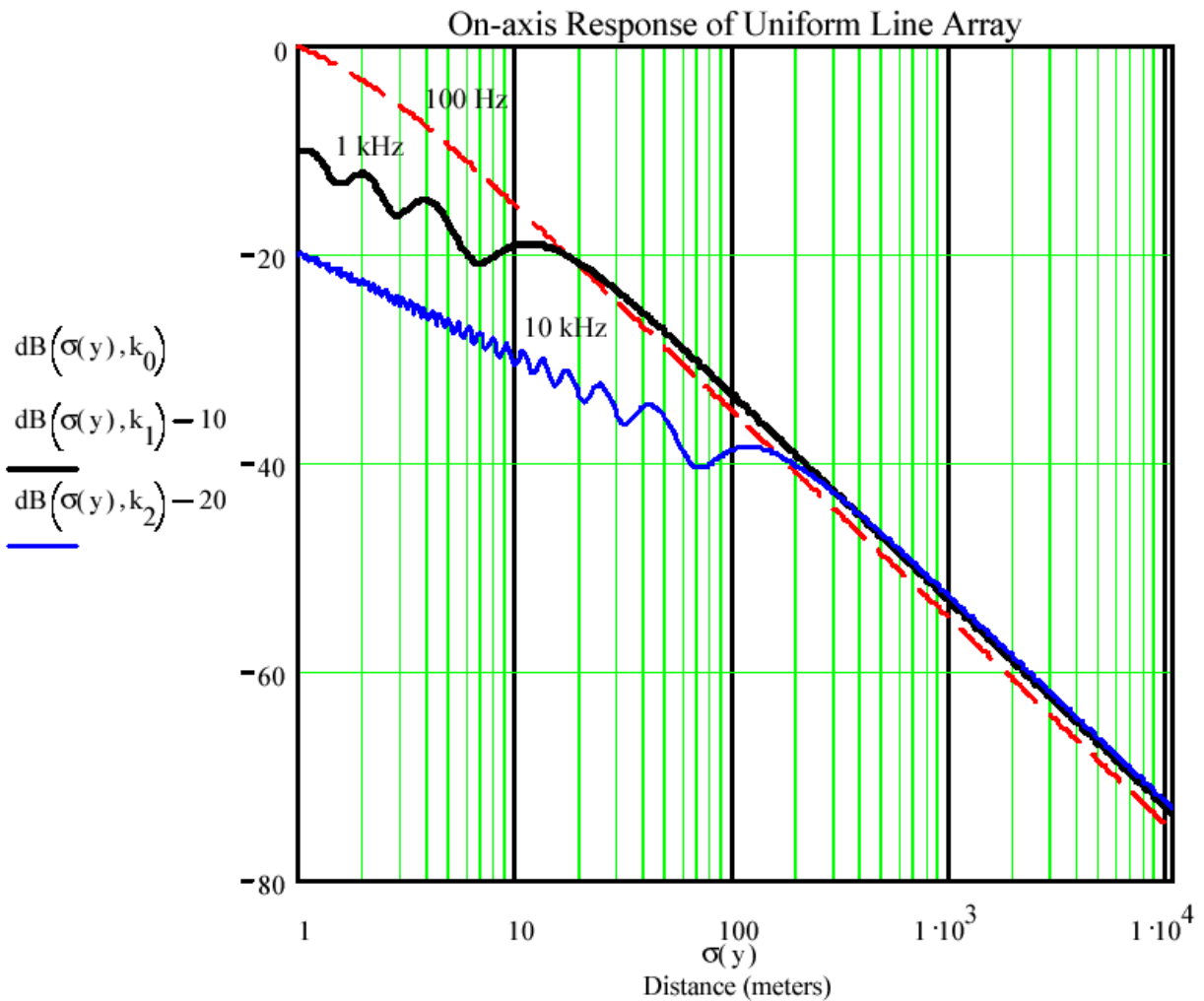


Figure 11: On-axis response of a 4-meter long uniform line array at 100Hz, 1kHz, and 10kHz.
Note that the 1kHz and 10kHz responses are offset by 10 and 20dB respectively.

Anlage A 8 -2: Normierter Schallpegelverlauf bei drei verschiedenen Frequenzen. Länge der Linienanordnung 4m. Auf der Wirkungsbereichsachse der Gruppe gemessen (Quelle: UREDA /9/)

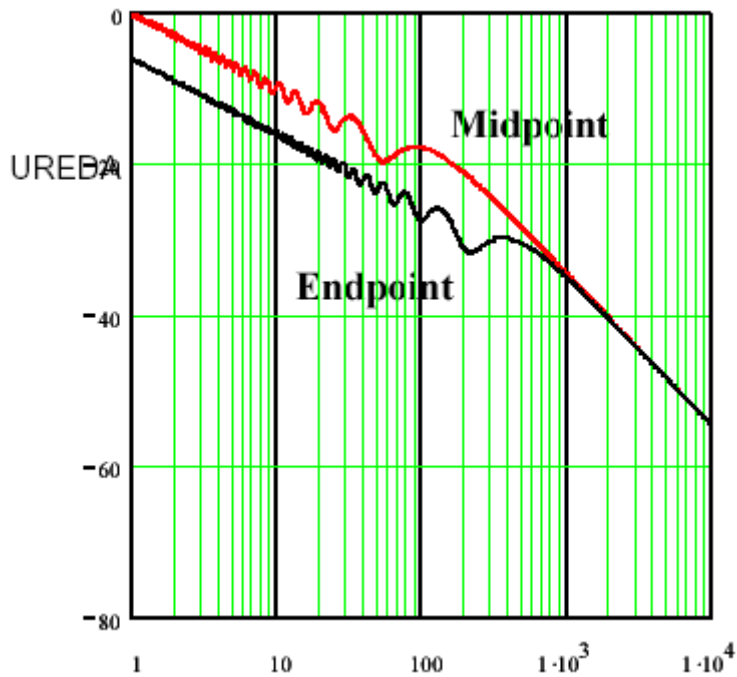


Figure 6: Comparison of midpoint and endpoint pressure response of a 4-m line source at 8kHz.

Anlage A 8-3: Normierter Schallpegelverlauf bei 8 kHz. Länge der Linienanordnung 4m. Auf der Wirkungsbereichsachse der Gruppe und auf der Endpunktachse gemessen (Quelle: UREDA /10/)

Prognose musikalischer Freiluftveranstaltungen

Hersteller:	Meyersound													
Lautsprecher:	M1D		M1D	M1D	M1D	M1D	M1D		M1D	M1D	M1D	M1D	M1D	
Anzahl:	1		1	2	4	8	16		1	2	4	8	16	
Array: ja/nein	nein		nein	nein	ja	ja	ja		nein	nein	ja	ja	ja	
Länge Array in m	-		-	-	0,75	1,5	3		-	-	0,75	1,5	3	
Entfernung s in m	1		32	32	32	32	32		64	64	64	64	64	
Dämpfung:	aus		Aus	Aus	aus	aus	aus		aus	aus	aus	aus	aus	
Neigung in °	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB													
16	57,5		27,4	33,4	39,4	45,4	51,4		21,4	27,4	33,4	39,4	45,4	
20	64		33,9	39,9	45,9	52	58		27,9	33,9	39,9	46	52	
25	69,5		39,3	45,3	51,4	57,4	63,4		33,3	39,3	45,4	51,4	57,4	
31,5	63,2		33,1	39,1	45,1	51,1	57,2		27,1	33,1	39,1	45,1	51,2	
40	67,9		37,8	43,8	49,8	55,9	61,9		31,8	37,8	43,8	49,9	55,9	
50	79,8		49,7	55,7	61,7	67,7	73,7		43,6	49,7	55,7	61,7	67,7	
63	88,1		58	64	70	76,1	82,1		52	58	64	70,1	76,1	
80	90,1		60	66	72	78	84		54	60	66	72	78	
100	92,5		62,4	68,4	74,4	80,4	86,4		56,4	62,4	68,4	74,4	80,4	
125	94,1		64	70	76	82	88		58	64	70	76	82,1	
160	96,2		66,1	72,1	78,1	84,1	90,1		60	66,1	72,1	78,1	84,1	
200	96,5		66,4	72,4	78,4	84,5	90,5		60,4	66,4	72,4	78,5	84,5	
250	93,3		63,2	69,2	75,2	81,3	87,3		57,2	63,2	69,2	75,3	81,3	
315	95,1		65	71	77	83	89		59	65	71	77	83	
400	95,5		65,4	71,4	77,5	83,5	89,5		59,4	65,4	71,4	77,5	83,5	
500	93,4		63,3	69,3	75,3	81,4	87,3		57,3	63,3	69,3	75,4	81,4	
630	93,1		63	69	75	81	87		57	63	69	75	81	
800	93		62,9	68,9	74,9	80,9	86,8		56,9	62,9	68,9	74,9	80,9	
1k	95,6		65,5	71,5	77,5	83,5	89,4		59,5	65,5	71,5	77,5	83,5	
1,25k	93,5		63,4	69,4	75,4	81,4	87,1		57,3	63,4	69,4	75,4	81,3	
1,6k	94,7		64,6	70,6	76,6	82,6	88,3		58,6	64,6	70,6	76,6	82,6	
2k	94,9		64,8	70,8	76,8	82,8	88,2		58,8	64,8	70,8	76,8	82,7	
2,5k	94,8		64,7	70,7	76,7	82,7	87,8		58,7	64,7	70,7	76,7	82,5	
3,15k	95,2		65,1	71,1	77,1	83,1	87,7		59,1	65,1	71,1	77,1	82,8	
4k	94,1		64	70	76	81,9	85,7		58	64	70	76	81,5	
5k	94,9		64,8	70,8	76,8	82,6	84,9		58,8	64,8	70,9	76,8	81,9	
6,3k	96,1		66	72	78	83,7	83,8		60	66	72	78	82,6	
8k	97,1		67	73	78,9	84,4	81,4		60,9	67	72,9	78,8	82,5	
10k	97,4		67,2	73,2	79,2	84,4	80,9		61,2	67,2	73,2	79,1	81,3	
12,5k	97,4		67,3	73,3	79,2	83,9	82,2		61,2	67,2	73,2	78,9	79,2	
L – Ges.	dB	108,7	78,6	84,6	90,6	96,4	101,0		72,6	78,6	84,6	90,6	95,8	
L – Peak	dB	121,2	91,1	97,1	103	109	114		85,1	91,1	97,1	103	108	
A - Ges.	dB(A)	106,9	76,8	82,8	88,8	94,6	98,9		70,8	76,8	82,8	88,8	94,0	
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar:														
L – Ges.	dB	108,7	77,5	83,6	89,6	95,5	100,7		71,0	77,0	83,0	89,0	94,8	
L – Peak	dB	121,2	90,0	96,1	102,1	108,0	113,2		83,5	89,5	95,5	101,5	107,3	
A - Ges.	dB(A)	106,8	75,7	81,7	87,7	93,6	98,4		68,9	75,0	81,0	87,0	92,7	

Hersteller	Meyersound										
Lautsprechertyp:	M1D	M1D	M1D	M1D	M1D		M1D	M1D	M1D	M1D	M1D
Anzahl der Boxen:	1	2	4	8	16		1	2	4	8	16
Array: ja/nein	nein	nein	ja	ja	ja		nein	nein	ja	ja	ja
Länge Array in m	-	-	0,75	1,5	3		-	-	0,75	1,5	3
Entfernung s in m	128	128	128	128	128		256	256	256	256	256
Dämpfung:	aus	aus	aus	aus	aus		aus	aus	aus	aus	aus
Neigung in °	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB										
16	15,3	21,3	27,3	33,3	39,3		9,3	15,3	21,3	27,3	33,3
20	21,8	27,8	33,9	39,9	45,8		15,8	21,8	27,8	33,8	39,8
25	27,2	33,3	39,3	45,3	51,2		21,2	27,2	33,2	39,2	45,2
31,5	21	27	33	39,1	45		15,0	21	27	33	39
40	25,7	31,7	37,8	43,8	49,7		19,7	25,7	31,7	37,8	43,8
50	37,5	43,6	49,6	55,6	61,6		31,5	37,5	43,5	49,5	55,6
63	45,9	51,9	58	64	69,9		39,9	45,9	51,9	57,9	63,9
80	47,9	53,9	59,9	65,9	71,9		41,9	47,9	53,9	59,9	65,9
100	50,3	56,3	62,3	68,3	74,3		44,3	50,3	56,3	62,3	68,3
125	51,9	57,9	63,9	70	75,9		45,9	51,9	57,9	63,9	69,9
160	54	60	66	72	78		47,9	54	60	66	72
200	54,3	60,3	66,3	72,4	78,3		48,3	54,3	60,3	66,3	72,3
250	51,1	57,1	63,2	69,2	75,1		45,1	51,1	57,1	63,1	69,1
315	52,9	58,9	64,9	70,9	76,9		46,9	52,9	58,9	64,9	70,9
400	53,3	59,3	65,4	71,4	77,3		47,3	53,3	59,3	65,3	71,3
500	51,2	57,2	63,3	69,3	75,2		45,2	51,2	57,2	63,2	69,2
630	50,9	56,9	62,9	68,9	74,9		44,8	50,9	56,9	62,9	68,8
800	50,8	56,8	62,8	68,8	74,8		44,8	50,8	56,8	62,8	68,8
1k	53,4	59,4	65,4	71,4	77,4		47,4	53,4	59,4	65,4	71,4
1,25k	51,3	57,3	63,3	69,3	75,2		45,2	51,3	57,3	63,3	69,3
1,6k	52,5	58,5	64,6	70,6	76,5		46,5	52,5	58,5	64,5	70,5
2k	52,7	58,7	64,7	70,7	76,7		46,7	52,7	58,7	64,7	70,7
2,5k	52,6	58,6	64,6	70,6	76,6		46,6	52,6	58,6	64,6	70,6
3,15k	53	59	65	71,1	77		47,0	53	59	65	71
4k	51,9	57,9	63,9	69,9	75,8		45,9	51,9	57,9	63,9	69,9
5k	52,7	58,7	64,7	70,7	76,5		46,7	52,7	58,7	64,7	70,7
6,3k	53,9	59,9	65,9	71,9	77,6		47,9	53,9	59,9	65,9	71,9
8k	54,8	60,9	66,9	72,9	78,3		48,8	54,8	60,9	66,9	72,8
10k	55,1	61,2	67,2	73,1	78,3		49,1	55,1	61,2	67,2	73
12,5k	55,1	61,2	67,2	73,1	77,8		49,1	55,1	61,2	67,2	72,8
L – Ges. dB	66,5	72,5	78,5	84,5	90,3		60,5	66,5	72,5	78,5	84,4
L – Peak dB	79,0	85,0	91,0	97,1	102,8		73,0	79,0	85,0	91,0	97,0
A - Ges. dB(A)	64,7	70,7	76,7	82,7	88,5		58,7	64,7	70,7	76,7	82,7
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar											
L – Ges. dB	64,3	70,3	76,3	82,4	88,4		57,6	63,6	69,7	75,7	81,7
L – Peak dB	76,8	82,8	88,8	94,9	100,9		70,1	76,1	82,2	88,2	94,2
A - Ges. dB(A)	61,9	67,9	73,9	79,9	85,9		54,6	60,6	66,6	72,6	78,6

Anlage A 9: Immissionspegel (Terzen) auf der Wirkungsbereichsachse. Im oberen Teil der Tabelle wurde nur die geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M1D. (Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)

Hersteller:	Meyersound													
Lautsprecher:	M3D		M3D	M3D	M3D	M3D	M3D		M3D	M3D	M3D	M3D	M3D	
Anzahl:	1		1	2	4	8	16		1	2	4	8	16	
Array: ja/nein	nein		Nein	nein	Ja	ja	ja		nein	nein	ja	Ja	ja	
Länge Array in m	-		-	-	2,1	4,2	8,4		-	-	2,1	4,2	8,4	
Entfernung s in m	1		32	32	32	32	32		64	64	64	64	64	
Dämpfung:	Aus		Aus	Aus	Aus	Aus	aus		aus	aus	aus	aus	aus	
Neigung in °	0		0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB													
16	-		-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	
20	76,4		46,3	52,4	55,8	61,8	67,8		40,2	46,2	49,9	55,9	61,9	
25	89,1		60,0	66,0	69,4	75,5	81,5		53,8	59,9	63,5	69,6	75,6	
31,5	101,2		72,1	78,1	81,6	87,6	93,6		65,9	71,9	75,7	81,7	87,7	
40	109,2		80,3	86,4	90,0	96,0	102,0		74,2	80,2	84,1	90,1	96,1	
50	114,1		85,5	91,5	95,5	101,5	107,4		79,4	85,4	89,6	95,6	101,6	
63	114,4		85,7	91,8	96,9	102,9	108,8		79,6	85,7	91,0	97,0	103,0	
80	115,2		86,3	92,3	96,6	102,6	108,6		80,1	86,2	90,7	96,7	102,7	
100	113,5		83,6	89,6	94,2	100,2	106,1		77,5	83,5	88,2	94,2	100,2	
125	112,2		80,7	86,7	92,7	98,7	104,6		74,5	80,5	86,7	92,7	98,7	
160	112,7		82,0	88,0	93,9	99,9	105,7		75,8	81,8	88,0	94,0	99,9	
200	114,7		85,3	91,3	95,7	101,7	107,3		79,2	85,2	89,8	95,8	101,7	
250	115,6		85,6	91,6	94,9	100,9	106,3		79,4	85,4	89,0	95,0	100,9	
315	115,8		85,7	91,7	96,3	102,3	107,3		79,5	85,6	90,4	96,4	102,2	
400	114,0		83,9	89,9	95,6	101,6	106,1		77,8	83,8	89,7	95,7	101,4	
500	111,1		81,0	87,0	94,5	100,3	104,0		74,8	80,8	88,5	94,5	100,0	
630	112,9		82,8	88,8	96,0	101,8	103,9		76,7	82,7	90,1	96,0	101,1	
800	114,7		84,6	90,6	97,0	102,6	102,5		78,4	84,5	91,1	97,0	101,5	
1k	113,6		83,5	89,6	96,3	101,7	98,6		77,4	83,4	90,3	96,2	99,8	
1,25k	115,9		85,8	91,7	98,0	103,1	99,7		79,6	85,6	92,1	97,9	100,0	
1,6k	116,1		86,0	92,0	97,9	102,5	101,1		79,8	85,8	92,0	97,7	97,6	
2k	114,5		84,4	90,4	95,7	99,4	97,5		78,3	84,3	89,8	95,3	92,2	
2,5k	114,7		84,6	90,6	95,0	97,3	94,5		78,4	84,4	89,2	94,3	91,0	
3,15k	116,1		86,0	92,0	97,5	97,4	97,7		79,9	85,9	91,8	96,4	95,0	
4k	116,3		86,2	92,2	97,8	94,5	96,6		80,0	86,0	92,3	96,0	94,0	
5k	114,1		84,0	90,0	94,2	90,5	91,7		77,9	83,9	88,9	91,0	88,5	
6,3k	115,5		85,4	91,5	96,1	95,0	95,8		79,3	85,3	91,2	91,2	91,6	
8k	117,1		87,0	92,9	95,9	94,1	96,1		80,8	86,8	91,8	88,1	91,0	
10k	117,8		87,7	93,6	95,8	90,8	91,4		81,5	87,5	92,6	88,7	89,7	
12,5k	117,3		87,2	93,0	93,3	93,9	95,2		81,0	87,0	91,4	89,9	91,5	
L – Ges. dB	129,3		99,3	105,3	110,0	114,4	118,1		93,2	99,2	104,6	109,3	113,4	
L – Peak dB	141,8		111,8	117,8	122,5	126,9	130,6		105,7	111,7	117,1	121,8	125,9	
A - Ges. dB(A)	127,3		97,2	103,2	108,3	111,5	111,8		91,0	97,0	102,8	107,2	109,1	
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar:														
L – Ges. dB	129,2		98,3	104,3	109,2	114,1	118,0		91,6	97,7	103,2	108,7	113,2	
L – Peak dB	141,7		110,8	116,8	121,9	126,6	130,5		104,1	110,2	115,7	121,2	125,7	
A - Ges. dB(A)	127,2		96,1	102,1	107,5	111,1	111,4		89,2	95,2	101,2	106,4	108,5	

Hersteller	Meyersound										
Lautsprechertyp:	M3D	M3D	M3D	M3D	M3D		M3D	M3D	M3D	M3D	M3D
Anzahl der Boxen:	1	2	4	8	16		1	2	4	8	16
Array: ja/nein	nein	nein	Ja	ja	ja		nein	nein	ja	Ja	ja
Länge Array in m	-	-	2,1	4,2	8,4		-	-	2,1	4,2	8,4
Entfernung s in m	128	128	128	128	128		256	256	256	256	256
Dämpfung:	aus	Aus	Aus	Aus	Aus		Aus	aus	aus	Aus	Aus
Neigung in °	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB										
16	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-
20	34,3	40,3	43,9	49,9	56,0		28,2	34,3	37,9	43,9	49,9
25	47,9	53,9	57,6	63,6	69,6		41,9	47,9	51,5	57,6	63,6
31,5	60,0	66,0	69,7	75,7	81,8		54,0	60,0	63,7	69,7	75,7
40	68,3	74,3	78,1	84,1	90,2		62,3	68,3	72,1	78,1	84,1
50	73,4	79,4	83,6	89,6	95,6		67,4	73,4	77,6	83,6	89,6
63	73,7	79,7	85,0	91,0	97,0		67,7	73,7	79,0	85,0	91,0
80	74,2	80,2	84,7	90,7	96,8		68,2	74,2	78,7	84,7	90,7
100	71,5	77,5	82,3	88,3	94,3		65,5	71,5	76,2	82,2	88,3
125	68,5	74,4	80,7	86,7	92,7		62,5	68,5	74,7	80,7	86,7
160	69,8	75,8	82,0	88,0	94,0		63,8	69,8	75,9	82,0	88,0
200	73,2	79,1	83,8	89,9	95,9		67,2	73,2	77,8	83,8	89,8
250	73,4	79,3	83,0	89,1	95,0		67,4	73,4	77,0	83,0	89,0
315	73,6	79,4	84,4	90,4	96,4		67,6	73,6	78,3	84,4	90,4
400	71,8	77,6	83,7	89,7	95,7		65,8	71,8	77,7	83,7	89,7
500	68,9	74,5	82,6	88,6	94,5		62,8	68,9	76,5	82,5	88,5
630	70,7	76,3	84,1	90,1	95,9		64,7	70,7	78,1	84,1	90,0
800	72,5	78,0	85,1	91,1	96,7		66,5	72,5	79,1	85,1	91,0
1k	71,4	76,8	84,4	90,4	95,8		65,4	71,4	78,3	84,4	90,2
1,25k	73,7	78,9	86,1	92,1	97,2		67,6	73,7	80,1	86,1	91,9
1,6k	73,8	78,9	86,0	92,0	96,5		67,8	73,8	80,0	86,0	91,7
2k	72,3	77,1	83,9	89,8	93,4		66,3	72,3	77,9	83,9	89,3
2,5k	72,5	76,7	83,3	89,1	91,2		66,5	72,5	77,3	83,2	88,3
3,15k	73,9	77,4	85,9	91,5	91,4		67,9	73,9	79,9	85,8	90,4
4k	74,1	76,3	86,4	91,9	88,7		68,0	74,1	80,4	86,3	90,0
5k	71,9	72,0	83,1	88,2	84,9		65,9	71,9	77,1	82,9	84,9
6,3k	73,3	70,7	85,5	90,1	88,8		67,3	73,3	79,5	85,2	85,2
8k	74,9	66,9	86,2	89,8	87,4		68,8	74,9	80,3	85,7	82,3
10k	75,6	61,5	87,2	89,5	86,5		69,5	75,6	81,4	86,5	83,0
12,5k	75,1	51,1	86,4	86,5	86,7		69,0	75,0	80,6	85,2	83,9
L – Ges. dB	87,2	93,2	98,8	104,0	108,5		81,2	87,2	92,9	98,6	103,3
L – Peak dB	99,7	105,7	111,3	116,5	121,0		93,7	99,7	105,4	111,1	115,8
A - Ges. dB(A)	85,1	91,1	97,0	102,3	105,5		79,0	85,1	91,0	96,8	101,2
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar											
L – Ges. dB	85,2	91,2	96,7	102,6	107,9		78,6	84,6	90,0	96,0	101,9
L – Peak dB	97,7	103,7	109,2	115,1	120,4		91,1	97,1	102,5	108,5	114,4
A - Ges. dB(A)	82,3	88,3	94,4	100,2	104,4		74,9	81,0	87,1	93,1	98,7

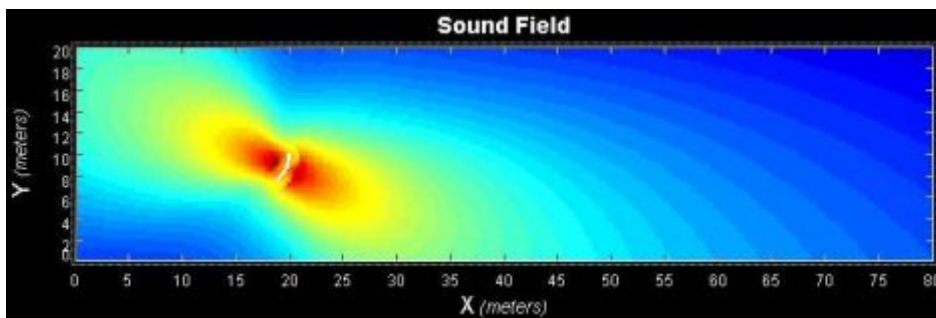
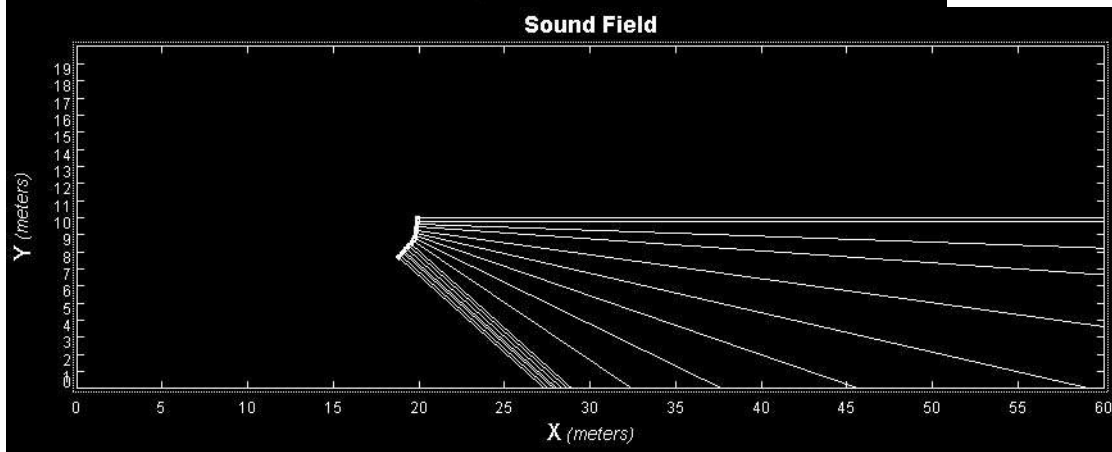
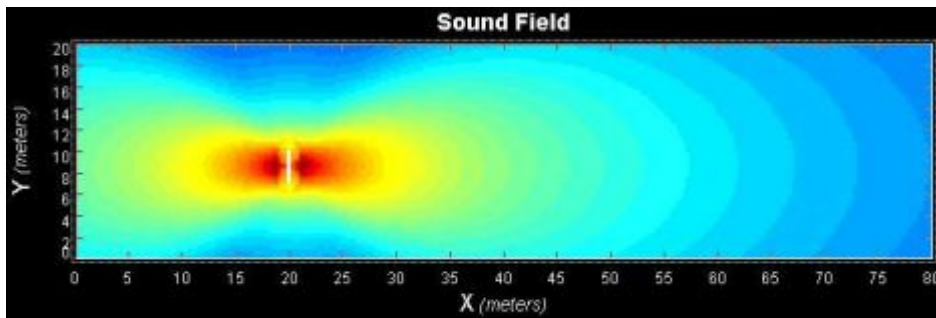
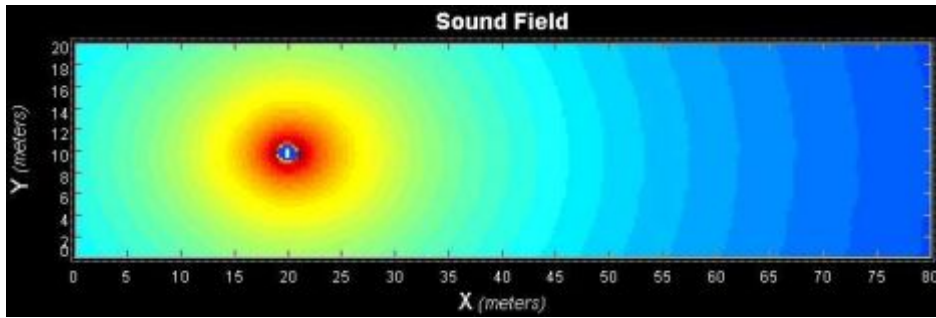
Hersteller	Meyersound				
Lautsprechertyp:	M3D	M3D	M3D	M3D	M3D
Anzahl der Boxen:	1	2	4	8	16
Array: ja/nein	nein	nein	Ja	ja	ja
Länge Array in m	-	-	2,1	4,2	8,4
Entfernung s in m	512	512	512	512	512
Dämpfung:	Aus	Aus	Aus	Aus	Aus
Neigung in °	0	0	0	0	0
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB				
16	-	-	-	-	-
20	22,2	28,2	31,9	37,9	43,9
25	35,9	41,9	45,5	51,5	57,6
31,5	48,0	54,0	57,7	63,7	69,7
40	56,3	62,3	66,1	72,1	78,1
50	61,4	67,4	71,5	77,6	83,6
63	61,7	67,7	73,0	79,0	85,0
80	62,2	68,2	72,7	78,7	84,7
100	59,5	65,5	70,2	76,2	82,2
125	56,4	62,4	68,6	74,7	80,7
160	57,8	63,8	69,9	75,9	82,0
200	61,2	67,2	71,8	77,8	83,8
250	61,4	67,4	71,0	77,0	83,0
315	61,6	67,6	72,3	78,3	84,4
400	59,8	65,8	71,7	77,7	83,7
500	56,8	62,8	70,5	76,5	82,5
630	58,7	64,7	72,0	78,0	84,0
800	60,4	66,5	73,0	79,0	85,0
1k	59,4	65,4	72,3	78,3	84,3
1,25k	61,6	67,6	74,1	80,1	86,1
1,6k	61,8	67,8	74,0	80,0	85,9
2k	60,3	66,3	71,9	77,9	83,7
2,5k	60,4	66,5	71,2	77,2	83,0
3,15k	61,9	67,9	73,9	79,8	85,5
4k	62,0	68,0	74,4	80,4	85,8
5k	59,9	65,9	71,0	77,0	82,1
6,3k	61,3	67,3	73,5	79,4	84,0
8k	62,8	68,8	74,3	80,2	83,7
10k	63,5	69,5	75,4	81,2	83,5
12,5k	63,0	68,9	74,7	80,3	80,4
L – Ges. dB	75,2	81,2	86,8	92,8	98,0
L – Peak dB	87,7	93,7	99,3	105,3	110,5
A - Ges. dB(A)	73,0	79,0	85,0	91,0	96,3
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar					
L – Ges. dB	71,8	77,8	83,2	89,2	95,2
L – Peak dB	84,3	90,3	95,7	101,7	107,7
A - Ges. dB(A)	67,0	73,0	79,2	85,2	91,2

Anlage A 10: Immissionspegel (Terzen) auf der Wirkbereichsachse. Im oberen Teil der Tabelle wurde nur die geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M3D. (Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)

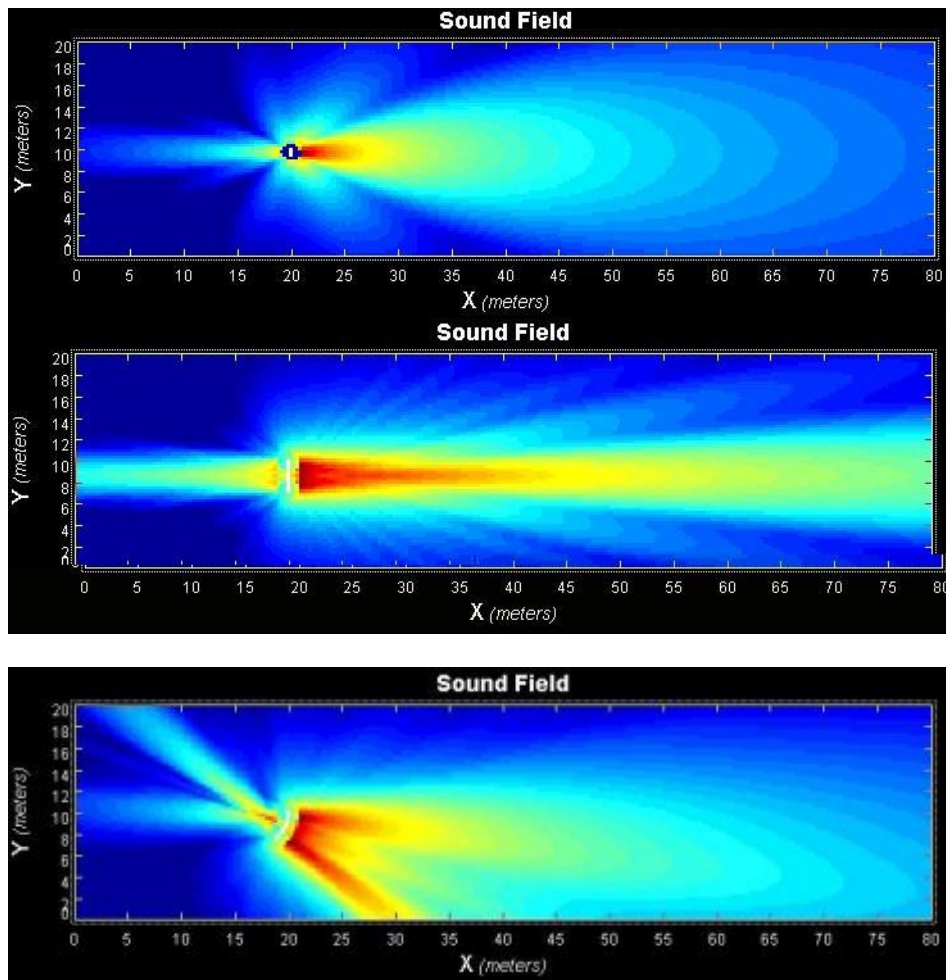
Hersteller	Meyersound					
Lautsprechertyp:	M1D	M1D	M1D	M1D	M1D	M1D
Anzahl der Boxen:	16	16	16	16	16	16
Array: ja/nein	Ja	ja	Ja	ja	ja	ja
Länge Array in m	3	3	3	3	3	3
Entfernung s in m	16	32	64	128	256	512
Dämpfung:	Aus	aus	aus	aus	aus	Aus
Neigung in °	0	0	0	0	0	0
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB					
16	57,4	51,4	45,4	39,4	33,3	27,3
20	64,0	58	52	45,9	39,8	33,9
25	69,4	63,4	57,4	51,3	45,3	39,3
31,5	63,1	57,1	51,2	45,1	39,1	33
40	67,9	61,9	55,9	49,8	43,8	37,8
50	79,7	73,7	67,7	61,6	55,6	49,6
63	98,1	82,1	76,1	70	64	58
80	90	84	78	72	65,9	59,9
100	92,4	86,4	80,4	74,4	68,3	62,3
125	94,0	88	82	76	70	63,9
160	96,1	90	84,1	78	72	66
200	96,4	90,3	84,4	78,4	72,4	66,4
250	93,2	87,1	81,3	75,2	69,2	63,2
315	95,0	88,8	83	76,9	70,9	64,9
400	95,4	89,1	83,4	77,4	71,4	65,4
500	93,2	86,8	81,2	75,2	69,3	63,3
630	92,8	86,1	80,8	74,9	68,9	62,9
800	92,5	85,3	80,5	74,8	68,8	62,8
1k	94,9	87,2	82,9	77,3	71,4	65,4
1,25k	92,4	83,4	80,4	75,1	69,2	63,3
1,6k	93,2	82,4	81,1	76,2	70,5	64,5
2k	92,4	79,4	80,4	76,2	70,6	64,7
2,5k	90,8	78,3	78,7	75,7	70,4	64,6
3,15k	89,0	80,1	76,9	75,6	70,7	65
4k	84,8	78	72,8	73,6	69,4	63,8
5k	84,4	76,1	72,4	72,8	69,8	64,5
6,3k	87,2	77,8	75,1	71,7	70,5	65,6
8k	86,8	77,1	74,6	69,4	70,5	66,3
10k	84,5	76,3	72,6	68,8	69,2	66,2
12,5k	85,5	75,5	73,3	70,1	67,2	65,7
L – Ges. dB	106,2	99,2	94,2	89,0	83,7	78,3
L – Peak dB	118,7	107,3	106,7	101,5	96,2	90,8
A - Ges. dB(A)	103,2	99,2	91,2	86,8	81,9	76,5
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar						
L – Ges. dB	106,1	99,1	93,9	88,1	81,6	74,8
L – Peak dB	118,6	111,6	106,4	100,6	94,1	87,3
A - Ges. dB(A)	103,0	94,5	90,6	85,3	78,5	70,8

Anlage A 11: Immissionspegel (Terzen) längs der Endpunkt – Achse. Nur geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M1D.

(Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld. Blau: Indifferent)



Anlage A 11 -1: Schallfeld (Vertikalebene/Wirkbereichsachse), Meyersound M1D - Array,
Oktave 125 Hz,
4 Boxen (oben), 16 Boxen (mittleres Bild),
16 Boxen gekurvt aufgehängt (zwei unteren Bilder)



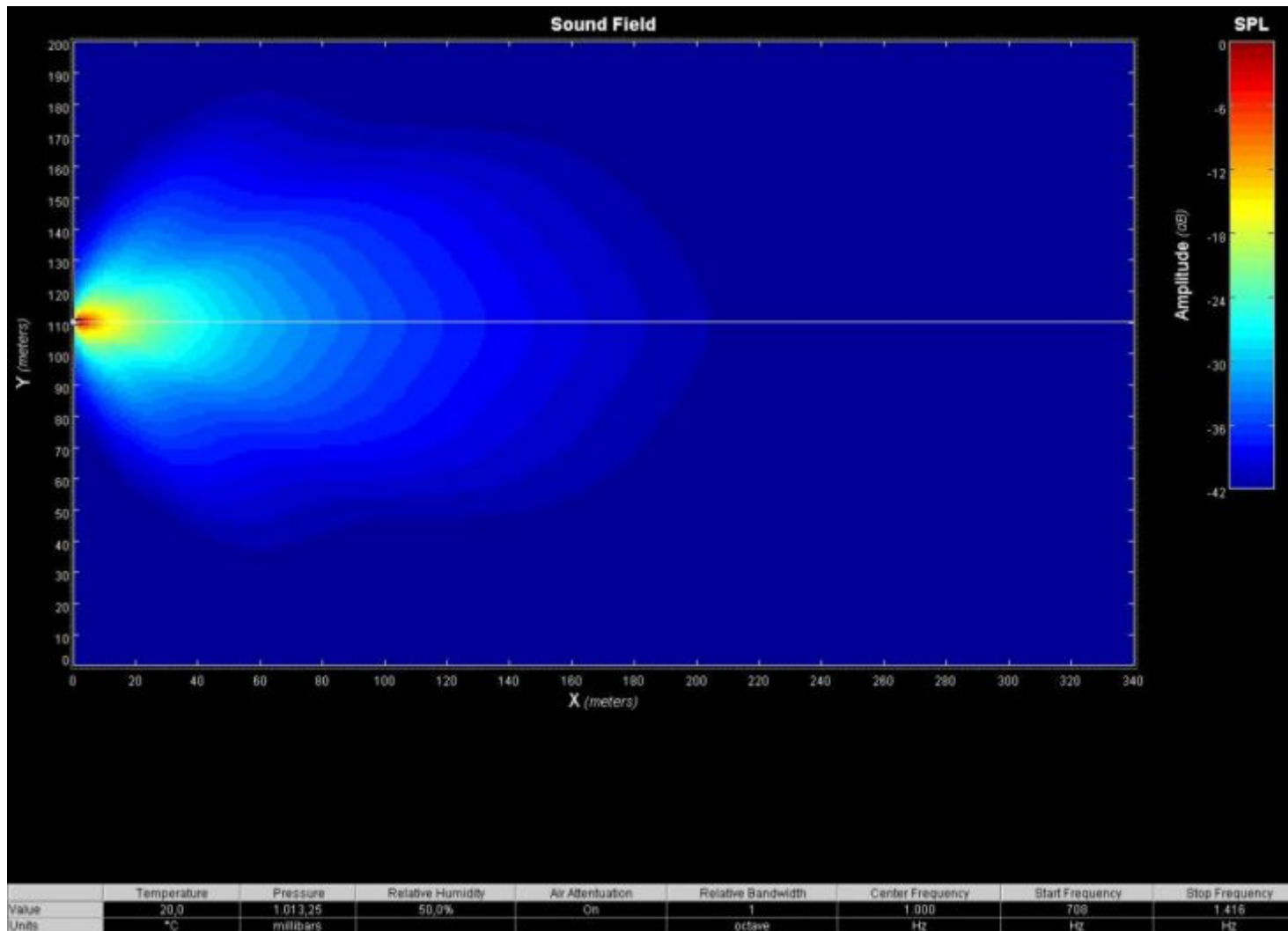
Anlage A 11 -2: Schallfeld (Vertikalebene/Wirkbereichsachse), Meyersound M1D- Array,
Oktave 1 kHz, 4 Boxen (oberes Bild), 16 Boxen (mittleres Bild),
16 Boxen gekurvt aufgehängt (unteres Bild)

Hersteller	Meyersound						
Lautsprechertyp:	M3D	M3D	M3D	M3D	M3D	M3D	M3D
Anzahl der Array - Boxen:	8	8	8	8	8	8	8
Länge Array in m	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2	4,2
Entfernung s in m	16	32	64	128	256	512	991
Dämpfung:	aus	aus	aus	aus	aus	aus	Aus
Neigung in °	0	0	0	0	0	0	0
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB						
16	-	-	-	-	-	-	-
20	67,5	61,8	55,9	49,9	43,9	37,9	32,1
25	81,1	75,4	69,6	63,6	57,6	51,5	45,8
31,5	93,3	87,6	81,7	75,7	69,7	63,7	57,9
40	101,6	96,0	90,1	84,1	78,1	72,1	66,3
50	107,1	101,4	95,6	89,6	83,6	77,6	71,8
63	108,4	102,8	97,0	91,0	85,0	79,0	72,3
80	108,1	102,5	96,7	90,7	84,7	78,7	73,0
100	105,6	100,1	94,2	88,3	82,2	76,2	70,5
125	104,0	98,5	92,7	86,7	80,7	74,7	68,9
160	104,6	99,6	93,9	88,0	82,0	75,9	70,2
200	105,9	101,3	95,7	89,8	83,8	77,8	72,1
250	104,1	100,3	94,9	89,0	83,0	77,0	71,3
315	104,0	101,2	96,1	90,3	84,3	78,3	72,6
400	101,2	100,1	95,4	89,7	83,7	77,7	71,9
500	96,6	97,9	93,9	88,4	82,5	76,5	70,8
630	97,3	97,8	95,1	89,9	84,0	78,0	72,3
800	99,8	96,4	95,5	90,7	85,0	79,0	73,3
1k	97,7	92,4	93,8	89,8	84,2	78,3	72,6
1,25k	96,9	93,7	93,9	91,1	85,9	80,0	74,3
1,6k	97,6	95,0	91,4	90,4	85,6	79,9	74,2
2k	93,6	91,3	86,0	87,4	83,3	77,7	72,1
2,5k	92,3	88,5	85,0	85,1	82,3	77,0	71,5
3,15k	94,8	91,4	88,9	85,2	84,3	79,5	74,0
4k	96,5	90,7	87,8	82,5	83,9	79,8	74,5
5k	86,3	86,0	82,5	78,9	78,8	76,1	71,1
6,3k	95,7	89,9	85,5	82,8	79,0	78,0	73,4
8k	93,2	91,0	85,2	81,2	76,1	77,7	73,9
10k	91,4	85,2	84,0	80,5	77,0	77,5	74,7
12,5k	92,8	92,6	86,9	80,8	78,0	74,3	73,4
L – Ges. dB	116,6	112,1	107,4	102,4	97,2	92,0	86,8
L – Peak dB	129,1	124,6	119,9	114,9	109,7	104,5	99,3
A - Ges. dB(A)	108,7	105,8	103,0	99,5	95,2	90,2	85,1
Summenpegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar							
L – Ges. dB	116,5	112,0	107,1	101,8	95,9	89,2	82,4
L – Peak dB	129,0	124,5	119,6	114,3	108,4	101,7	94,9
A - Ges. dB(A)	108,4	105,4	102,4	98,4	92,6	85,1	76,8

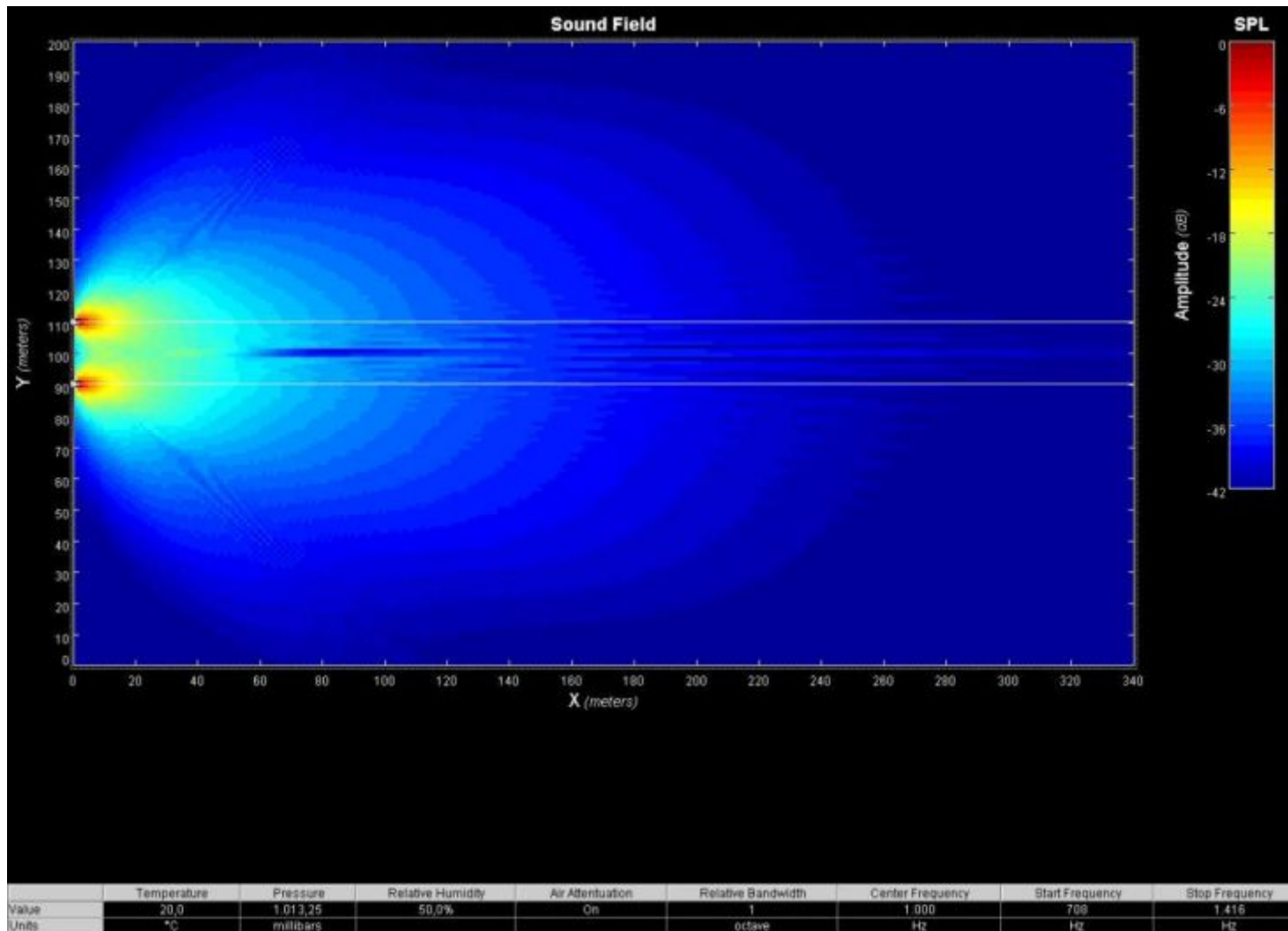
Anlage A 12 : Immissionspegel (Terzen) längs der unteren Endpunkt – Achse des Arrays.

Nur geometrische Dämpfung berücksichtigt. Meyersound – System M3D.

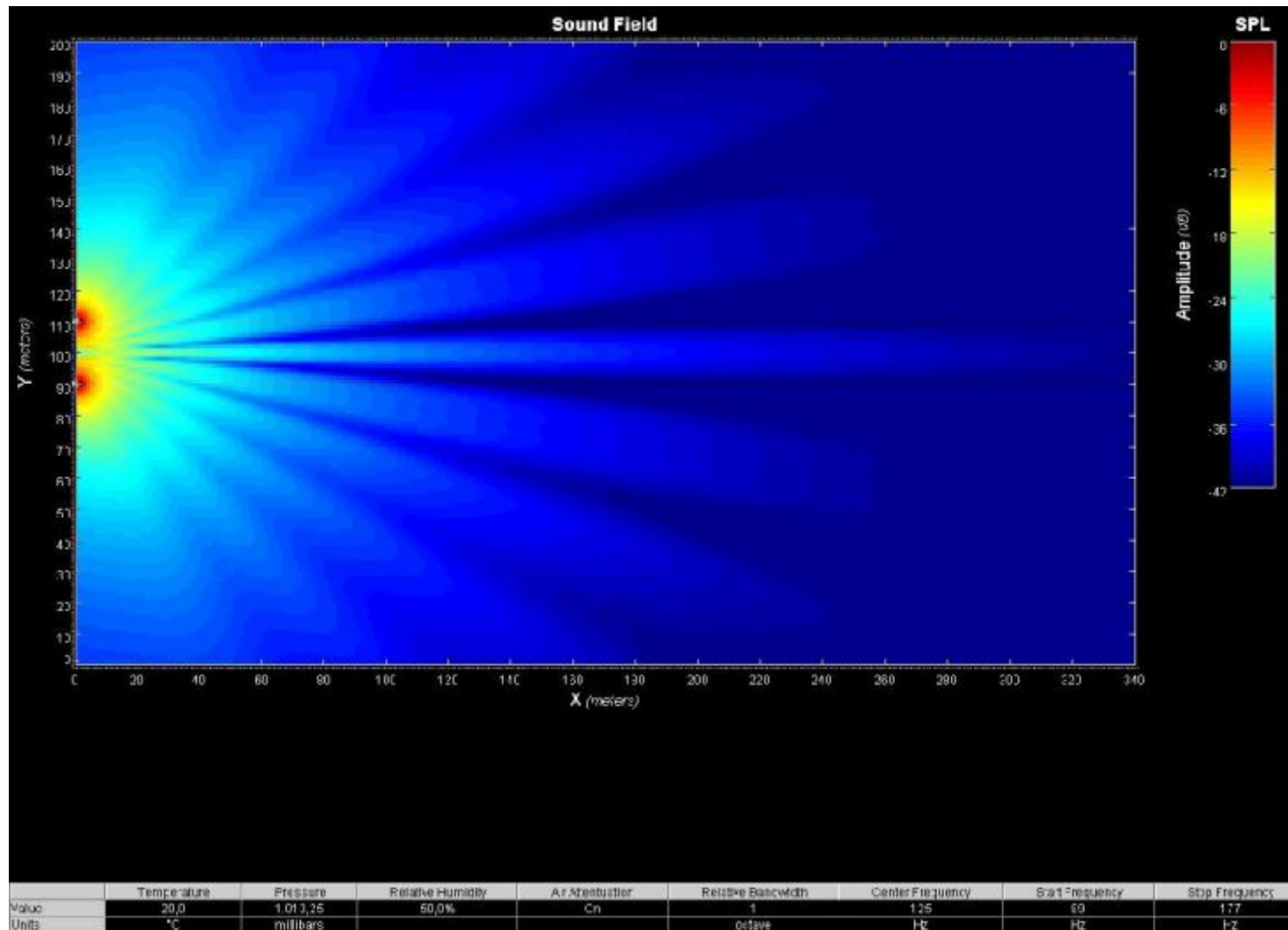
(Anregung: Rosa Rauschen, mittleres Maximum, Emissionen für den Peak – Wert liegen um 12,5 dB über dem Wert für das mittlere Maximum. Rote Zahlenreihe: Nahfeld)



Anlage A 13-1: Schallfeld einer M3D – Lautsprecherbox der Fa. Meyersound. Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Box. 1 kHz – Oktave. Ausbreitungsberechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)



Anlage A 13-2: Schallfeld zweier M3D – Lautsprecherboxen der Fa. Meyersound (20 m Abstand) . Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Boxen. 1 kHz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)



Anlage A 13-3: Schallfeld zweier M3D – Lautsprecherboxen der Fa. Meyersound (20 m Abstand) . Schnitt durch die Horizontalebene in Höhe der Boxen. 125 Hz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. (Pegelanzeige in dB relativ)

Hersteller	Meyersound									
Lautsprechertyp:	M3D	M3D		M3D	M3D		M3D	M3D		
Anzahl der Boxen:	1	2		1	2		1	2		
Entfernung s in m	32	32	Diff	128	128	Diff	512	512	Diff	
Dämpfung:	An	An		An	An		An	An		
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB									
16	-	-	-	-	-		-	-		
20	46,0	52,0	6	34,2	40,2	6	22,2	28,3	6,1	
25	59,7	65,8	6,1	47,9	53,9	6	35,9	41,9	6	
31,5	71,7	77,8	6,1	60,0	66,0	6	48,0	54,0	6	
40	80,0	86,1	6,1	68,2	74,3	6,1	56,3	62,3	6	
50	85,2	91,2	6	73,4	79,4	6	61,4	67,4	6	
63	85,5	91,5	6	73,6	79,7	6,1	61,6	67,7	6,1	
80	86,0	92,1	6,1	74,2	80,2	6	62,1	68,1	6	
100	83,6	89,6	6	71,5	77,5	6	59,4	65,4	6	
125	80,6	86,6	6	68,4	74,4	6	56,2	62,3	6,1	
160	80,8	86,9	6,1	69,6	75,7	6,1	57,5	63,5	6	
200	84,1	90,0	5,9	73,0	79,0	6	60,7	66,7	6	
250	85,1	89,3	4,2	73,3	79,1	5,8	60,8	66,8	6	
315	86,1	88,4	2,3	73,5	79,2	5,7	60,7	66,7	6	
400	83,7	85,4	1,7	71,5	77,3	5,8	58,7	64,7	6	
500	80,7	84,9	4,2	68,8	74,4	5,6	55,5	61,5	6	
630	80,4	84,8	4,4	70,4	76,0	5,6	57,1	63,0	5,9	
800	81,2	86,9	5,7	71,8	77,7	5,9	58,5	64,5	6	
1k	83,5	89,5	6	70,9	77,0	6,1	57,0	63,0	6	
1,25k	83,5	89,3	5,8	72,4	78,4	6	58,6	64,6	6	
1,6k	83,5	89,5	6	73,2	79,0	5,8	58,1	64,1	6	
2k	83,5	89,2	5,7	70,9	76,9	6	55,2	61,2	6	
2,5k	83,7	89,1	5,4	70,5	76,6	6,1	53,3	59,4	6,1	
3,15k	83,0	88,2	5,2	71,2	77,1	5,9	51,9	57,9	6	
4k	82,9	87,6	4,7	70,1	76,0	5,9	47,2	53,2	6	
5k	82,2	85,8	3,6	66,3	72,0	5,7	37,0	43,0	6	
6,3k	84,0	86,6	2,6	64,9	70,6	5,7	28,0	34,0	6	
8k	82,0	82,7	0,7	60,9	66,7	5,8	10,7	16,8	6,1	
10k	79,9	76,1	-3,8	55,4	60,9	5,5	-11,5	-5,5	6	
12,5k	77,3	65,4	-11,9	45,3	50,7	5,4	-49,4	-43,5	5,9	
L – Ges. dB	97,4	102,4	5	85,2	91,1	5,9	71,8	77,9	6,1	
L – Peak dB	109,9	114,9	5	97,7	103,6	5,9	84,3	90,4	6,1	
A - Ges. dB(A)	94,8	99,6	4,8	82,2	88,1	5,9	67,0	73,0	6,1	
Alle Pegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar										

Anlage A 13-4: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen auf der Mittelsenkrechten vor den Boxen (gleiche Entfernung zu jeder Box). Meyersound – System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.

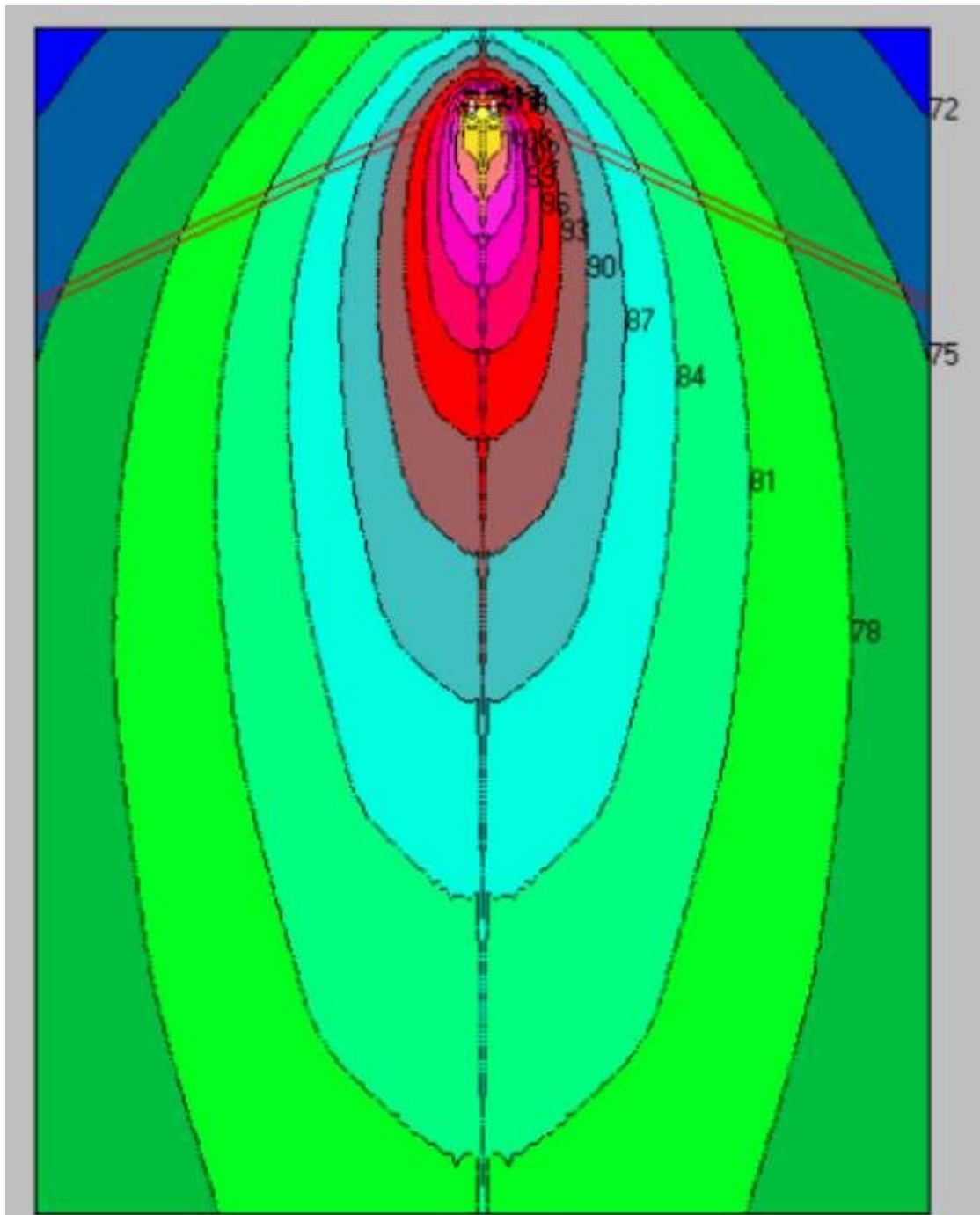
Hersteller	Meyersound											
Lautsprechertyp:	M3D	M3D		M3D	M3D		M3D	M3D		M3D	M3D	
Anzahl der Boxen:	1	2		1	2		1	2		1	2	
Entfernung s zur Box 1 in m	36	36	Diff	128	128	Diff	512	512	Diff	1024	1024	Diff
Dämpfung:	An	An		An	An		An	An		An	An	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB											
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	44,6	47,9	3,3	33,2	37,7	4,5	21,0	26,0	5	15,0	20,0	5
25	58,7	63,1	4,4	47,5	52,8	5,3	35,4	41,0	5,6	29,4	35,1	5,7
31,5	70,4	69,5	-0,9	59,0	58,0	-1	46,9	46,0	-0,9	40,8	40,0	-0,8
40	78,7	78,3	-0,4	67,4	68,5	1,1	55,2	56,8	1,6	49,1	50,8	1,7
50	83,9	87,6	3,7	72,5	77,2	4,7	60,3	65,4	5,1	54,3	59,4	5,1
63	84,2	83,2	-1	72,9	72,9	0	60,7	61,1	0,4	54,6	55,1	0,5
80	85,0	87,5	2,5	73,8	76,8	3	61,6	64,9	3,3	55,4	58,8	3,4
100	82,9	85,1	2,2	71,9	75,0	3,1	59,8	63,2	3,4	53,6	57,1	3,5
125	80,1	81,7	1,6	69,3	71,9	2,6	57,2	60,1	2,9	51,0	53,9	2,9
160	78,1	80,2	2,1	66,2	69,5	3,3	53,8	57,5	3,7	47,5	51,2	3,7
200	80,3	80,7	0,4	67,1	68,9	1,8	54,1	56,6	2,5	47,4	50,1	2,7
250	81,4	82,7	1,3	69,3	71,3	2	56,5	59,0	2,5	49,7	52,3	2,6
315	82,8	84,1	1,3	70,5	73,1	2,6	57,6	60,7	3,1	50,7	53,8	3,1
400	81,1	81,9	0,8	68,6	70,7	2,1	55,2	58,0	2,8	48,0	50,9	2,9
500	74,5	75,0	0,5	60,9	62,8	1,9	47,1	49,8	2,7	39,6	42,4	2,8
630	75,5	77,0	1,5	64,5	66,9	2,4	51,1	53,9	2,8	43,3	46,3	3
800	78,1	79,3	1,2	66,5	68,8	2,3	52,7	55,5	2,8	44,7	47,6	2,9
1k	78,1	79,3	1,2	65,9	68,3	2,4	51,9	54,8	2,9	43,5	46,4	2,9
1,25k	78,2	80,9	2,7	64,4	66,1	1,7	49,8	52,6	2,8	40,8	44,0	3,2
1,6k	82,1	83,6	1,5	67,9	67,0	-0,9	52,3	53,2	0,9	42,4	44,0	1,6
2k	79,5	79,7	0,2	65,8	61,6	-4,2	49,1	46,5	-2,6	37,9	36,6	-1,3
2,5k	78,4	76,3	-2,1	64,2	55,8	-8,4	46,1	35,5	-10,6	32,9	24,6	-8,3
3,15k	77,8	74,8	-3	61,9	58,6	-3,3	42,2	36,0	-6,2	26,5	16,5	-10
4k	77,4	75,4	-2	60,0	62,2	2,2	35,6	37,5	1,9	15,0	15,6	0,6
5k	76,5	77,9	1,4	57,7	61,6	3,9	27,2	32,0	4,8	-1,1	3,3	4,4
6,3k	77,2	79,2	2	56,8	59,3	2,5	18,6	22,9	4,3	-19,4	-14,3	5,1
8k	75,6	75,2	-0,4	50,2	47,2	-3	-1,7	-5,5	-3,8	-55,4	-55,4	0
10k	72,3	72,6	0,3	39,8	42,2	2,4	-26,8	-25,2	1,6	-102,6	-104,7	-2,1
12,5k	69,6	70,1	0,5	31,1	31,6	0,5	-64,2	-61,9	2,3	-177,5	-172,9	4,6
L – Ges. dB	94,3	95,7	1,4	82,0	84,4	2,4	69,2	72,2	3	62,7	65,8	3,1
L – Peak dB	106,8	108,2	1,4	94,5	96,9	2,4	81,7	84,7	3	75,2	78,3	3,1
A - Ges. dB(A)	90,2	91,0	0,8	76,1	76,8	0,7	61,1	63,1	2	52,7	55,3	2,6
Alle Pegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar												

Anlage A 13-5: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen auf einer Linie, die um 45° gegenüber der Verbindungslinie beider Boxen ausgelenkt ist.

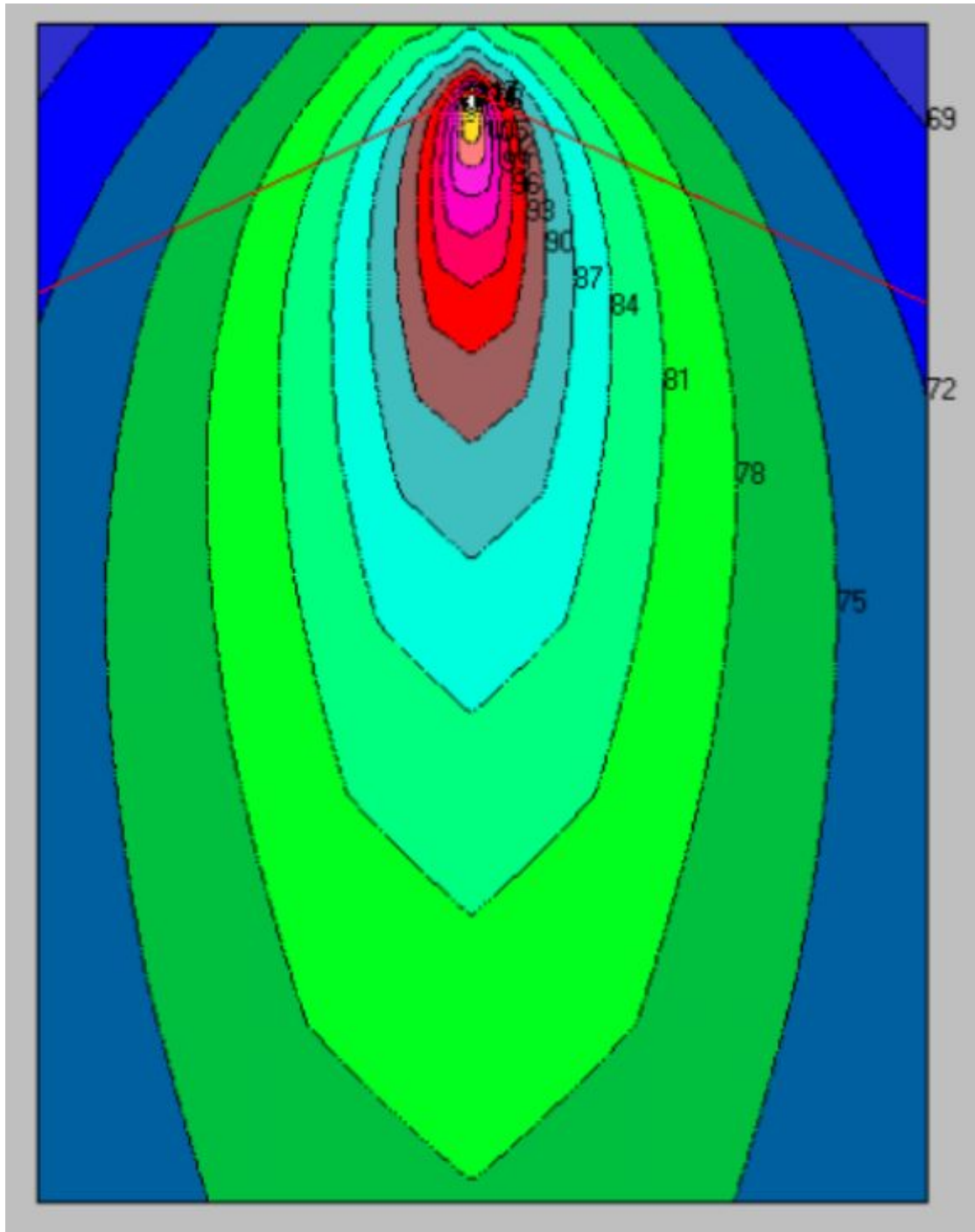
Meyersound – System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.

Hersteller	Meyersound								
Lautsprechertyp:	M3D	M3D		M3D	M3D		M3D	M3D	
Anzahl der Boxen:	1	2		1	2		1	2	
Entfernung s zur Box 1 in m	36	36	Diff	128	128	Diff	882	882	Diff
Dämpfung:	An	An		An	An		An	An	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB								
16	-	-	-	-	-		-	-	
20	42,9	44,8	1,9	28,9	32,1	3,2	12,2	15,8	3,6
25	60,3	54,7	-5,6	46,4	38,0	-8,4	29,6	21,2	-8,4
31,5	69,3	72,6	3,3	55,3	60,1	4,8	38,5	43,8	5,3
40	77,6	75,8	-1,8	63,6	62,3	-1,3	46,8	45,9	-0,9
50	82,8	85,4	2,6	68,8	72,8	4	51,9	56,5	4,6
63	83,3	84,1	0,8	69,3	71,3	2	52,4	54,9	2,5
80	85,0	86,1	1,1	71,0	73,3	2,3	54,1	56,9	2,8
100	84,7	85,6	0,9	70,8	72,8	2	53,8	56,2	2,4
125	83,8	85,0	1,2	69,8	72,3	2,5	52,7	55,6	2,9
160	81,3	82,2	0,9	67,4	69,5	2,1	50,2	52,7	2,5
200	76,1	77,1	1	62,1	64,4	2,3	44,7	47,4	2,7
250	78,8	80,2	1,4	64,8	67,4	2,6	47,0	50,1	3,1
315	78,9	80,0	1,1	64,8	67,1	2,3	46,7	49,5	2,8
400	75,9	77,2	1,3	61,8	64,3	2,5	43,4	46,4	3
500	69,3	70,5	1,2	55,2	57,5	2,3	36,3	39,1	2,8
630	69,6	70,8	1,2	55,4	57,8	2,4	36,1	39,1	3
800	68,9	70,3	1,4	54,6	57,2	2,6	34,9	38,0	3,1
1k	69,6	70,6	1	55,1	57,4	2,3	34,8	37,5	2,7
1,25k	69,3	70,5	1,2	54,9	57,2	2,3	33,7	36,6	2,9
1,6k	70,1	71,3	1,2	55,4	57,8	2,4	33,1	35,9	2,8
2k	64,7	65,9	1,2	49,8	52,2	2,4	25,7	28,6	2,9
2,5k	63,1	64,9	1,8	47,7	50,8	3,1	20,4	23,8	3,4
3,15k	59,3	60,0	0,7	43,5	45,3	1,8	12,0	14,1	2,1
4k	57,0	58,4	1,4	40,1	42,8	2,7	2,5	6,0	3,5
5k	53,4	54,6	1,2	34,8	37,0	2,2	-14,6	-11,7	2,9
6,3k	51,4	52,8	1,4	31,3	33,7	2,4	-31,9	-29,0	2,9
8k	47,5	48,2	0,7	22,5	24,4	1,9	-70,2	-68,4	1,8
10k	45,6	46,3	0,7	15,9	16,6	0,7	-107,6	-107,3	0,3
12,5k	41,3	42,6	1,3	3,9	6,2	2,3	-168,1	-164,3	3,8
L – Ges. dB	92,4	93,6	1,2	78,4	80,8	2,4	61,3	64,2	2,9
L – Peak dB	104,9	106,1	1,2	90,9	93,3	2,4	73,8	76,7	2,9
A - Ges. dB(A)	80,7	81,9	1,2	66,4	68,8	2,4	47,5	50,4	2,9
Alle Pegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar									

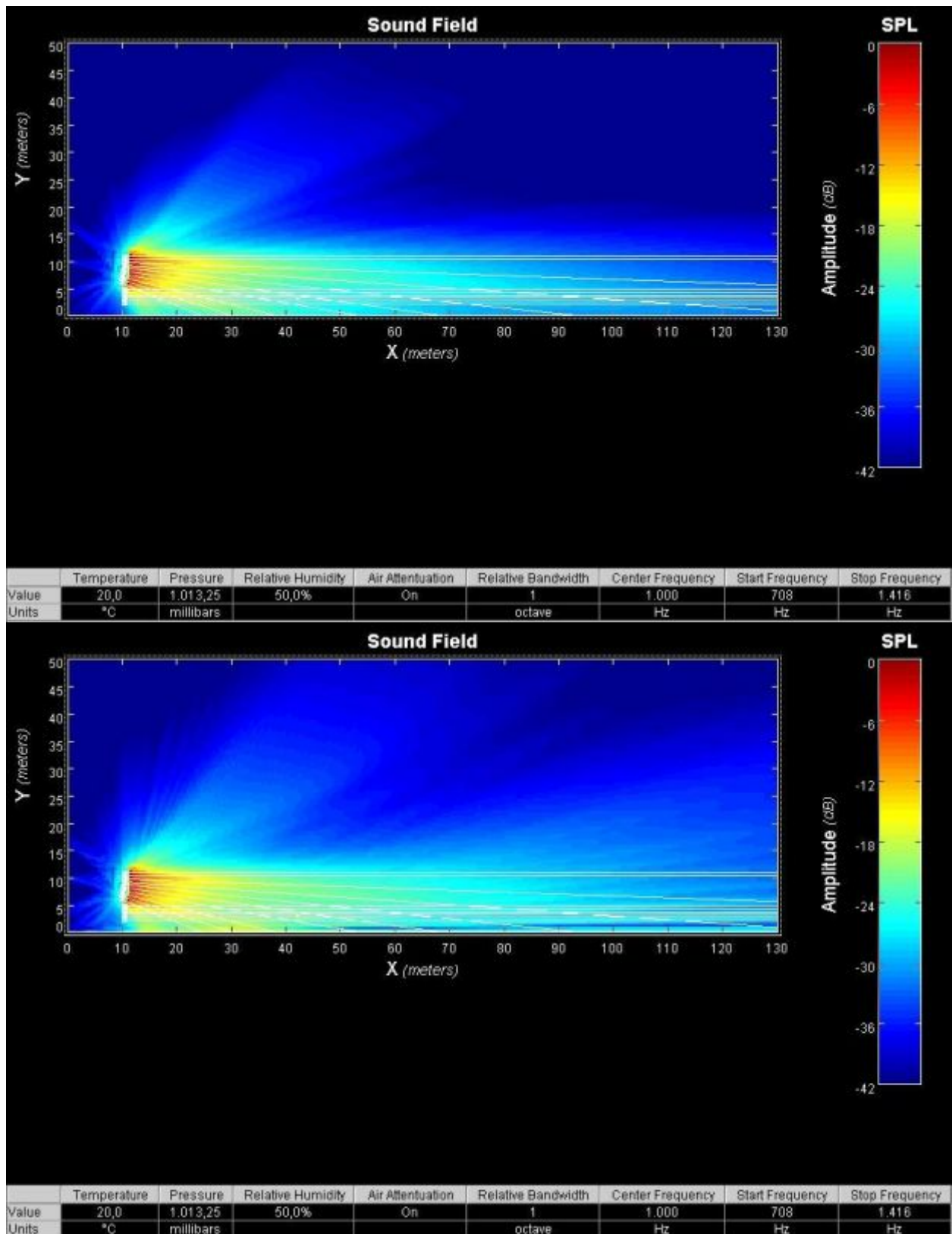
Anlage A 13-6: Immissionspegel bei drei Entfernungen. Immissionsorte liegen direkt auf der Verbindungslinie beider Boxen (querab). Meyersound – System M3D. Seitlicher Abstand der zwei Boxen zueinander: 20 m.



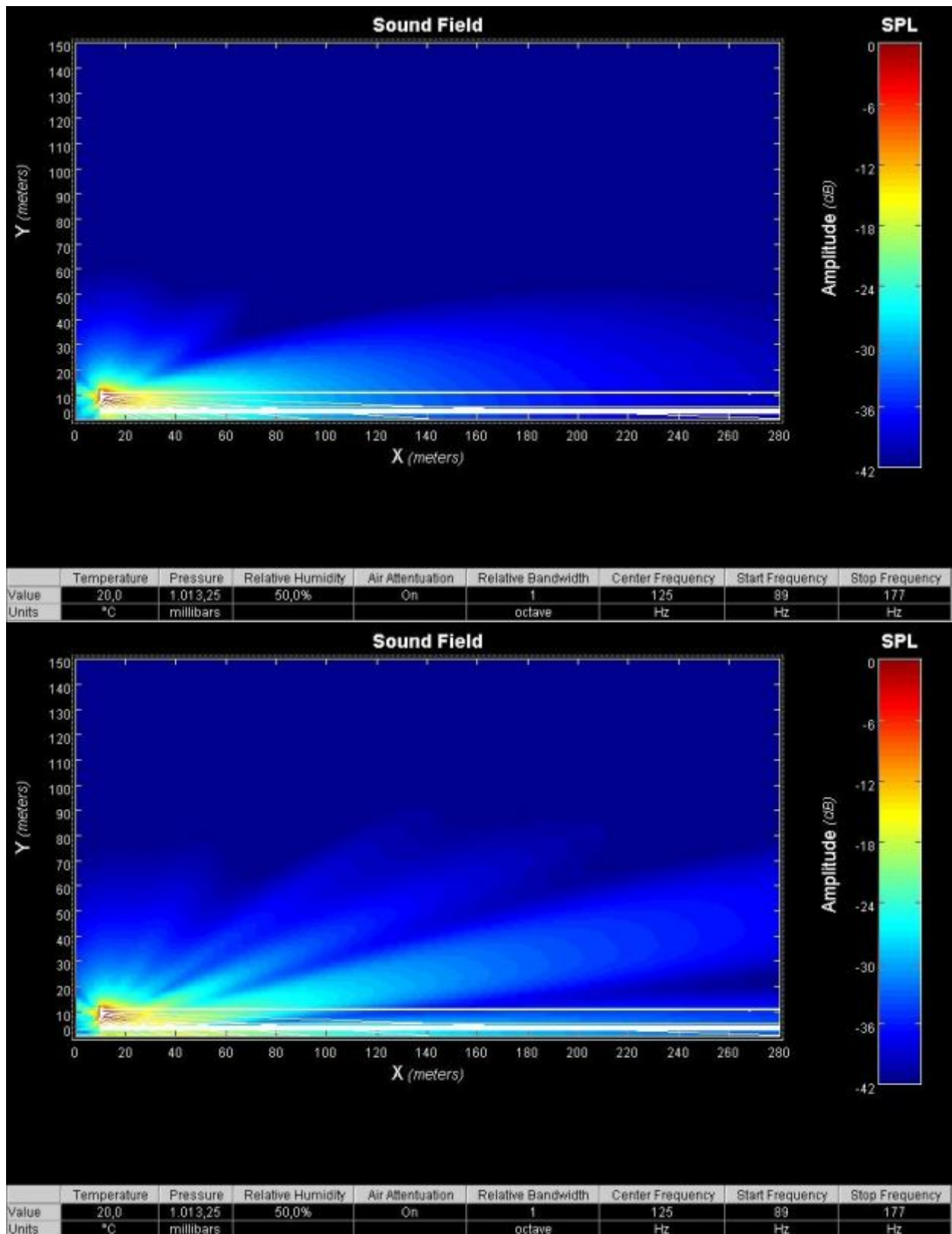
Anlage A 13-7: Schallfeld (Breitband - Mittelung und unbewertet) zweier mit einem seitlichen Abstand von 20 m nebeneinander stehender Lautsprechergruppen. Jede Gruppe besteht aus zwei übereinander stehende Meyersound – MSL - 4 Boxen. Frequenzband von 100Hz – 10 kHz. Berechnet mit EASE /1/. Schallfeldabmessungen: Breite 800m, Länge 1060 m (-60m + 1000m)



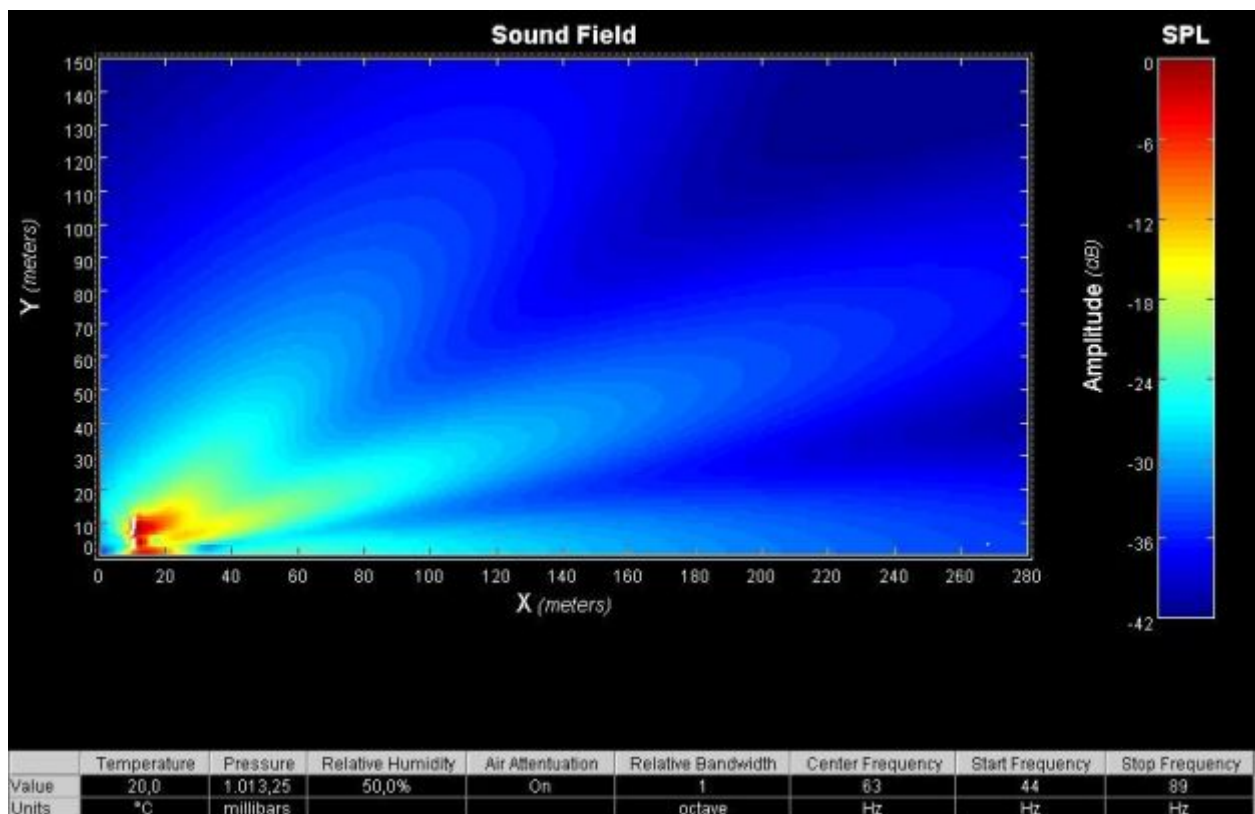
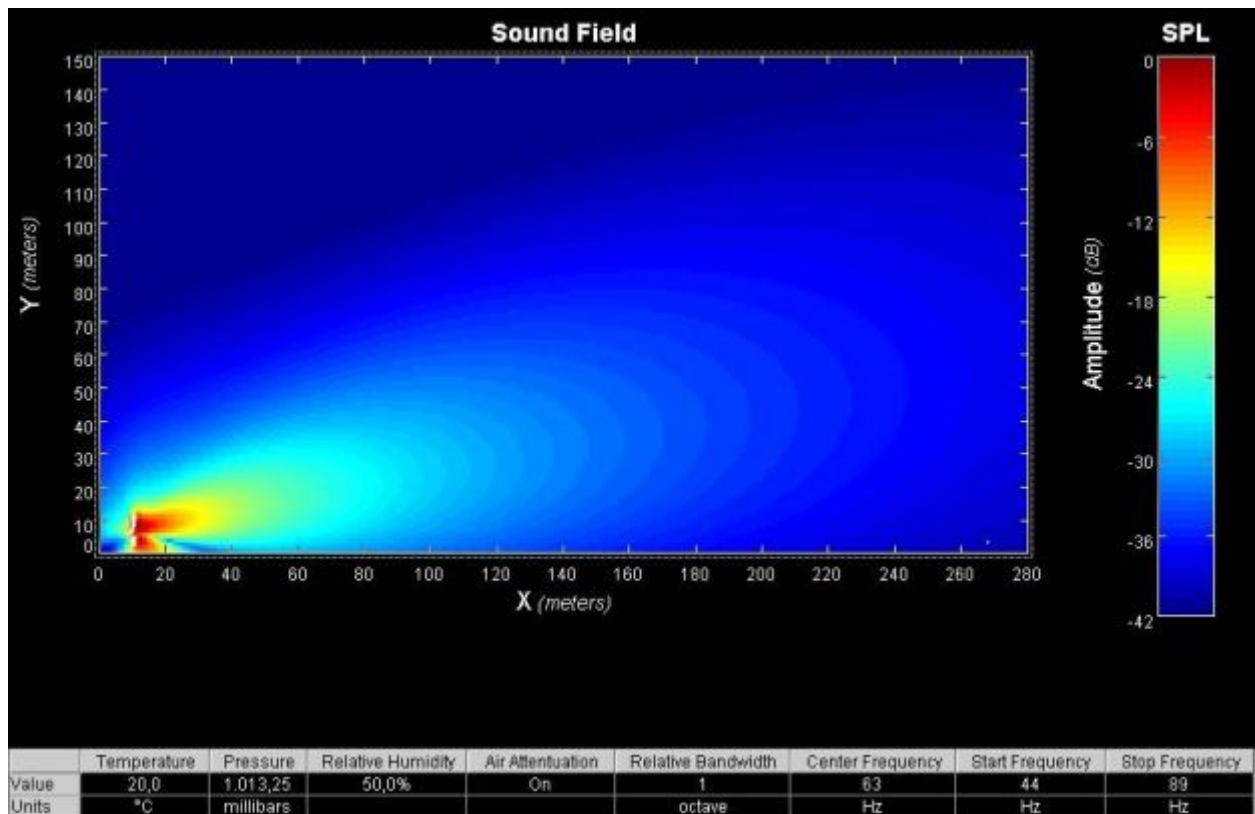
Anlage A 13-8: Schallfeld (Breitband - Mittelung und unbewertet) nur einer der in Anlage A 13-7 angeführten Lautsprechergruppen (zwei übereinander stehende Meyersound – MSL -4 Lautsprecherboxen. Frequenzband von 100Hz – 10 kHz. Berechnet mit EASE /1/
Schallfeldabmessungen: Breite 800m, Länge 1060 m (-60m + 1000m)



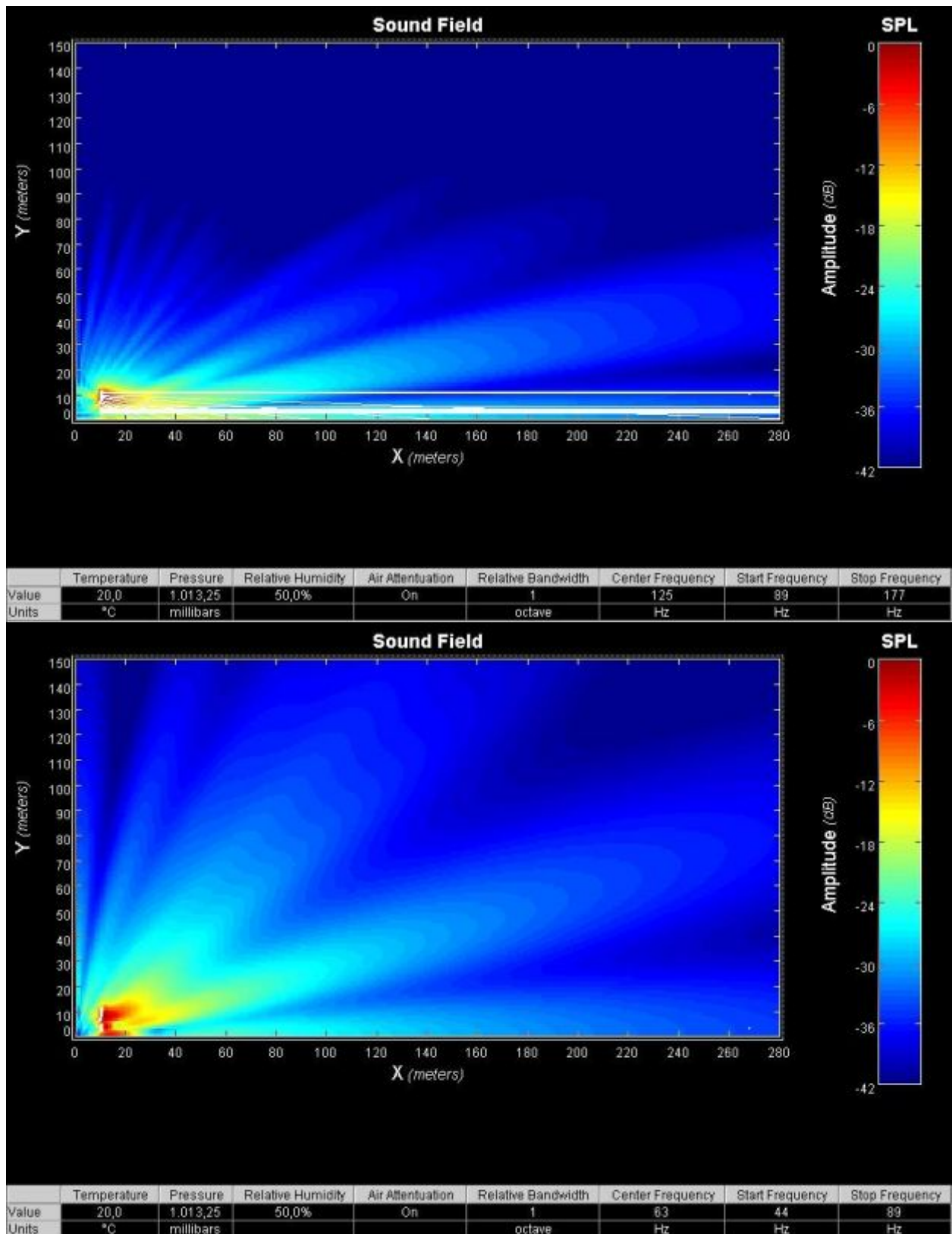
Anlage A 14-1: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 1 kHz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)



Anlage A 14-2: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 125 Hz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)



Anlage A 14-3: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. 63 Hz – Oktave. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild ohne und unteres Bild mit Bodenreflexionen. (Pegelanzeige in dB relativ)



Anlage A 14-4: Schallfeld eines M3D – Arrays der Fa. Meyersound (10 M3D gekurvt aufgehängt + 6 M3D-SUB übereinander). Schnitt durch die Vertikalebene. Ausbreitungsrechnung mit Absorption, mit Bodenreflexionen und den Reflexionen von einer 10 m hinter der Anlage stehenden Wand, ohne Beugungseinflüsse. Oberes Bild 125 Hz- Oktave, unteres Bild 63 Hz - Oktave. (Pegelanzeige in dB relativ)

Hersteller	Meyersound										
Lautsprecheranlage:	Eine Bühnenseite: 10 M3D gekurvt + 6 M3D-SUB vertikal gestapelt										
Bodenreflexion	nein	ja		nein	ja		nein	ja		ja+W.	
Entfernung s in m	36	36		64	64		256	256		256	
Höhe Mikrofon ü. Boden in m	3	3		3	3		10	10		10	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB										
			Diff			Diff			Diff		
20	59,9	66,1	6,2	53,7	59,8	6,1	41,4	47,5	6,1	49,4	8
25	81,2	87,7	6,5	74,6	81	6,4	61,7	68,2	6,5	68,1	6,4
31,5	95,4	100,9	5,5	89,7	95,3	5,6	78,2	83,8	5,6	84,8	6,6
40	98,4	102,3	3,9	93,5	98,3	4,8	82,8	87,9	5,1	87,3	4,5
50	99,2	97,7	-1,5	95,5	98,9	3,4	85,5	90	4,5	90,5	5
63	102,4	101,3	-1,1	98,8	102,2	3,4	88,5	93	4,5	93,1	4,6
80	103,9	100,5	-3,4	99,4	102,7	3,3	88,4	93	4,6	92,9	4,5
100	101,4	93,3	-8,1	96,4	99,1	2,7	84,9	89,1	4,2	89	4,1
125	100	93,1	-6,9	94,3	95,9	1,6	81,6	85,2	3,6	85,3	3,7
160	100,9	99,5	-1,4	94,9	93,6	-1,3	81,2	83	1,8	83,1	1,9
200	102,7	104,4	1,7	96,7	88	-8,7	81,9	80,1	-1,8	80	-1,9
250	101,5	104	2,5	95,4	88,6	-6,8	79,2	74,9	-4,3	76,8	-2,4
315	101,7	104,1	2,4	96,1	98,3	2,2	79,1	82,6	3,5	82,7	3,6
400	99,5	96,3	-3,2	94,3	99,6	5,3	77,9	85,1	7,2	85,1	7,2
500	95,9	98,7	2,8	91,9	96,2	4,3	77,1	83,6	6,5	83,6	6,5
630	94,6	95,7	1,1	92,6	88,3	-4,3	77,3	79,1	1,8	79	1,7
800	95,1	99,1	4	93,3	95	1,7	76,6	82,5	5,9	82,5	5,9
1k	95	97,2	2,2	91,1	94	2,9	76	81,8	5,8	81,8	5,8
1,25k	95,3	97,6	2,3	89,4	92,2	2,8	76,5	82	5,5	82	5,5
1,6k	94,5	96,6	2,1	88,8	89,9	1,1	75,5	79,5	4	79,5	4
2k	89,2	92,4	3,2	84,5	88,3	3,8	73,4	75,3	1,9	75,3	1,9
2,5k	92	94,3	2,3	86,4	88,3	1,9	70	73,9	3,9	74	4
3,15k	89,6	91,3	1,7	86,4	87,3	0,9	71,5	71,4	-0,1	71,4	-0,1
4k	91	93	2	82,7	88,3	5,6	69	72,3	3,3	72,3	3,3
5k	84,9	87,9	3	80,8	82,4	1,6	61,5	64,3	2,8	64,3	2,8
6,3k	83	86,4	3,4	77,1	78,5	1,4	55,9	56,8	0,9	56,8	0,9
8k	85,2	87,6	2,4	76,5	79,5	3	49,4	51,7	2,3	51,7	2,3
10k	87,8	88,2	0,4	77,4	79,7	2,3	38,2	40,4	2,2	40,4	2,2
12,5k	85,3	87,2	1,9	68,5	73	4,5	18,6	19,9	1,3	19,9	1,3
L – Ges. dB	112,6	113,1	0,5	107,7	110	2,3	95,2	99,4	4,2	99,5	4,3
L – Peak dB	125,1	125,6	0,5	120,2	122,5	2,3	107,7	111,9	4,2	112,0	4,3
A - Ges. dB(A)	105,4	107,5	2,1	100,7	102,9	2,2	85,9	90,3	4,4	90,3	4,4
Alle Pegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar											

Anlage A 14-5: Vergleich der Immissionspegel bei drei Entfernungen jeweils mit und ohne Bodenreflexion (Beton als Bodenfläche). In der vorletzten Spalte die Werte, wenn zusätzlich 10 m hinter dem Array eine Ziegelwand als Reflektor wirkt. Positionen direkt vor dem Array. Schallquelle: 10 M3D gekurvt (vertikal) aufgehängt + 6 M3D-SUB gestapelt darunter. Ausbreitungsrechnung ohne Beugungseinflüsse

Hersteller	HKAUDIO					
Lautsprecheranlage:	Links und rechts der Bühne je 6 RT 112F hängend					
Bodenreflexion	nein	ja		nein	ja	
Entfernung s in m	30	30		100	100	
Höhe Mikrofon ü. Boden in m	4	4		4	4	
Hz	Unbewerteter (linearer) Immissionspegel in dB					
			Diff			Diff
100	110,0	109,3	-0,7	100,0	104,8	4,7
125	106,0	101,3	-4,7	96,2	100,6	4,4
160	99,3	93,4	-5,9	89,7	93,5	3,7
200	99,2	97,6	-1,6	89,8	92,5	2,7
250	100,8	101,4	0,5	91,7	92,7	1,1
315	98,2	98,6	0,4	89,1	87,9	-1,2
400	94,5	95,2	0,7	85,7	82,0	-3,7
500	96,3	96,6	0,3	88,1	84,8	-3,3
630	94,9	94,6	-0,4	87,5	86,6	-1,0
800	98,7	98,7	0,0	92,5	92,8	0,2
1k	98,6	98,7	0,0	93,3	93,5	0,2
1,25k	96,2	96,1	-0,1	91,0	91,5	0,5
1,6k	91,0	91,1	0,1	87,4	87,6	0,2
2k	86,5	86,6	0,1	84,1	83,8	-0,3
2,5k	86,4	86,8	0,4	84,4	84,4	0,1
3,15k	84,6	84,5	-0,1	82,2	82,3	0,1
4k	84,2	84,2	0,0	79,9	79,7	-0,1
5k	77,7	78,0	0,2	74,5	74,6	0,1
6,3k	78,2	78,3	0,0	72,9	73,4	0,5
8k	81,1	81,1	0,0	68,0	68,4	0,4
10k	68,6	68,7	0,1	63,3	63,2	-0,1
L – Ges. dB	113,2	112,1	-1,1	104,2	107,5	3,2
A - Ges. dB(A)	105,2	105,1	-0,1	99,2	99,5	0,3
Alle Pegel mit Dämpfung: Temperatur 20° C, Feuchte 50%, Luftdruck 1013 mbar						

Anlage A 14-6: Vergleich der Immissionspegel bei zwei Entfernungen jeweils mit und ohne Bodenreflexion (Beton als Bodenfläche, darüber mit Publikum besetzte Holzstühle). Schallquelle: Je Bühnenseite 6 RT 112F (vertikal) aufgehängt. Immissionsorte: Jeweils mittig vor der Bühne in 4 m Höhe ü. Gelände. Berechnet mit dem Softwareprogramm EASE /1/ (phasenbezogene Verknüpfung).

Hz	Pop-Titel, normale Verstärkung, LLeq=104,5 dB, LAeq=92,3 dB(A). dB	Pop-Titel, volle Verstärkung, LLeq=111,8 dB, LAeq=98,1 dB(A). dB	Diff dB
20	63	63,9	0,9
25	61,8	62,9	1,1
31,5	67,9	74,4	6,5
40	83,9	90,8	6,9
50	92,4	101,1	8,7
63	96,3	103,9	7,6
80	97,6	104,9	7,3
100	99,8	107	7,2
125	93,8	101,4	7,6
160	93,5	99,7	6,2
200	84	90,1	6,1
250	83,9	89,3	5,4
315	82,3	86,8	4,5
400	79,9	84,7	4,8
500	79,3	85,5	6,2
630	85,4	89,5	4,1
800	83,1	90	6,9
1k	87,1	91,7	4,6
1,25k	77,7	83,4	5,7
1,6k	70,8	76,6	5,8
2k	73,9	80	6,1
2,5k	76,3	83,1	6,8
3,15k	78,1	84,7	6,6
4k	71,9	78,6	6,7
5k	69	75,5	6,5
6,3k	70,3	76,5	6,2
8k	68,9	75	6,1
10k	67,1	73,5	6,4
12,5k	64,7	71,1	6,4
A in dB(A)	92,3	98,1	5,8
LL in dB	104,5	111,8	7,2

Anlage A 15-1: Vergleich der Immissionspegel eines Pop-Titels, der einmal mit der für die Veranstaltung vorgesehenen normalen Verstärkung und als Vergleich mit einer für die Anlage maximalen Verstärkung abgespielt wurde.

Messposition: Mischpult, mittig vor der Bühne in 30m Abstand.

Aufnahme während des Soundchecks für eine Open – Air - Veranstaltung für ca. 15.000 Zuschauer.

Hz	A (Rock) dB	B (rockiger Pop) dB	D (Pop, Mix) dB	E (Pop, Mix) dB
25	-33,5	-23,7	-33,7	-36,5
31,5	-9,9	-9,2	-18,7	-24,7
40	-1,9	0,0	-5,0	-11,1
50	0,0	-2,1	0,0	-0,3
63	-3,8	-5,8	-2,1	0,0
80	-7,8	-8,9	-3,6	-5,4
100	-18,9	-17,3	-6,3	-9,0
125	-21,4	-26,9	-13,4	-12,8
160	-18,0	-27,3	-20,6	-19,2
200	-17,5	-18,7	-16,8	-19,1
250	-15,6	-19,6	-16,9	-16,3
315	-16,5	-14,6	-15,4	-18,7
400	-16,0	-12,3	-11,5	-22,2
500	-11,8	-14,3	-10,3	-19,6
630	-12,2	-15,9	-14,1	-20,1
800	-15,0	-23,4	-16,1	-15,1
1k	-18,7	-25,4	-16,9	-14,2
1,25k	-22,3	-25,5	-18,7	-16,4
1,6k	-22,2	-20,4	-19,7	-19,5
2k	-23,4	-19,3	-22,1	-22,5
2,5k	-24,5	-22,8	-22,9	-21,5
3,15k	-24,7	-25,9	-23,4	-23,4
4k	-25,8	-31,0	-24,3	-24,7
5k	-29,8	-30,9	-27,3	-27,3
6,3k	-33,4	-30,9	-27,6	-25,5
8k	-34,4	-30,4	-29,0	-29,0
10k	-38,1	-34,4	-33,6	-31,5
12,5k	-41,2	-36,3	-34,6	-35,6
Summe:	4,2	3,8	4,8	4,3

Anlage A 15-2: Normierte lineare Frequenzspektren von vier Freiluftveranstaltungen (Terz mit dem Maximalpegel auf 0 dB gesetzt, die anderen Terzen dementsprechend reduziert). Graphische Darstellung: Bild 8

Hz	A (Rock) dB	B (rockiger Pop) dB	D (Pop, Mix) dB	E (Pop, Mix) dB
31,5	-3,2	0,5	-8,0	-14,4
63	0,0	0,0	0,0	0,0
125	-16,3	-16,5	-8,5	-10,7
250	-13,6	-12,3	-14,7	-16,5
500	-10,1	-9,2	-10,1	-19,2
1k	-14,8	-19,9	-15,5	-13,9
2k	-20,4	-15,9	-19,7	-19,7
4k	-23,4	-23,8	-23,0	-23,6
8k	-32,0	-26,8	-27,8	-26,7

Anlage A 15-3: Normierte lineare Frequenzspektren von vier Freiluftveranstaltungen (Oktave mit dem Maximalpegel auf 0 dB gesetzt, die anderen Oktaven dementsprechend reduziert).

Anlage A 15-4:

Charakteristik der Beschallungsanlagen bei den Kurven A, B, D und E:

Kurve A:

- Open – Air – Konzert für ca. 15. 000 Zuschauer
Typ: Rock (Peter – Maffay – Open Air Konzert)
- Hauptbeschallung: Pro Seite 10 Stück Meyersound M3D (Vertikalarray),
plus 6 Stück Subbass M3DSub (zwei Stapel zu je 3 Stück nebeneinander), plus 2
Stück MSL4 als Nahbeschallung (auf dem Subbass – Stapel je 1 MSL4).
- Hersteller: Meyer Sound Laboratories Inc. (www.meyersound.com)
- Maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]):
M3D: 145 dB/1m (35 Hz - 16 kHz),
M3DSUB: 140 dB/1m (28 Hz - 100 Hz),
MSL-4: 140 dB/1m (65 Hz – 18 kHz).

Kurve B:

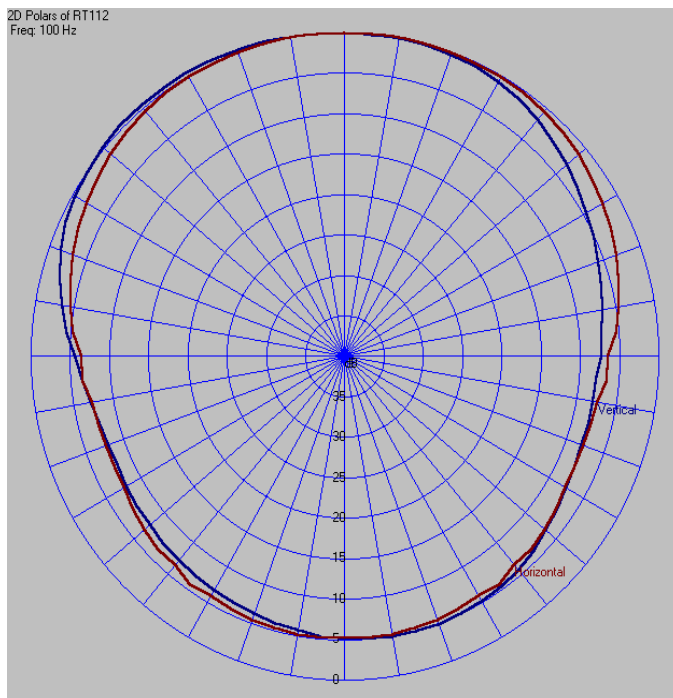
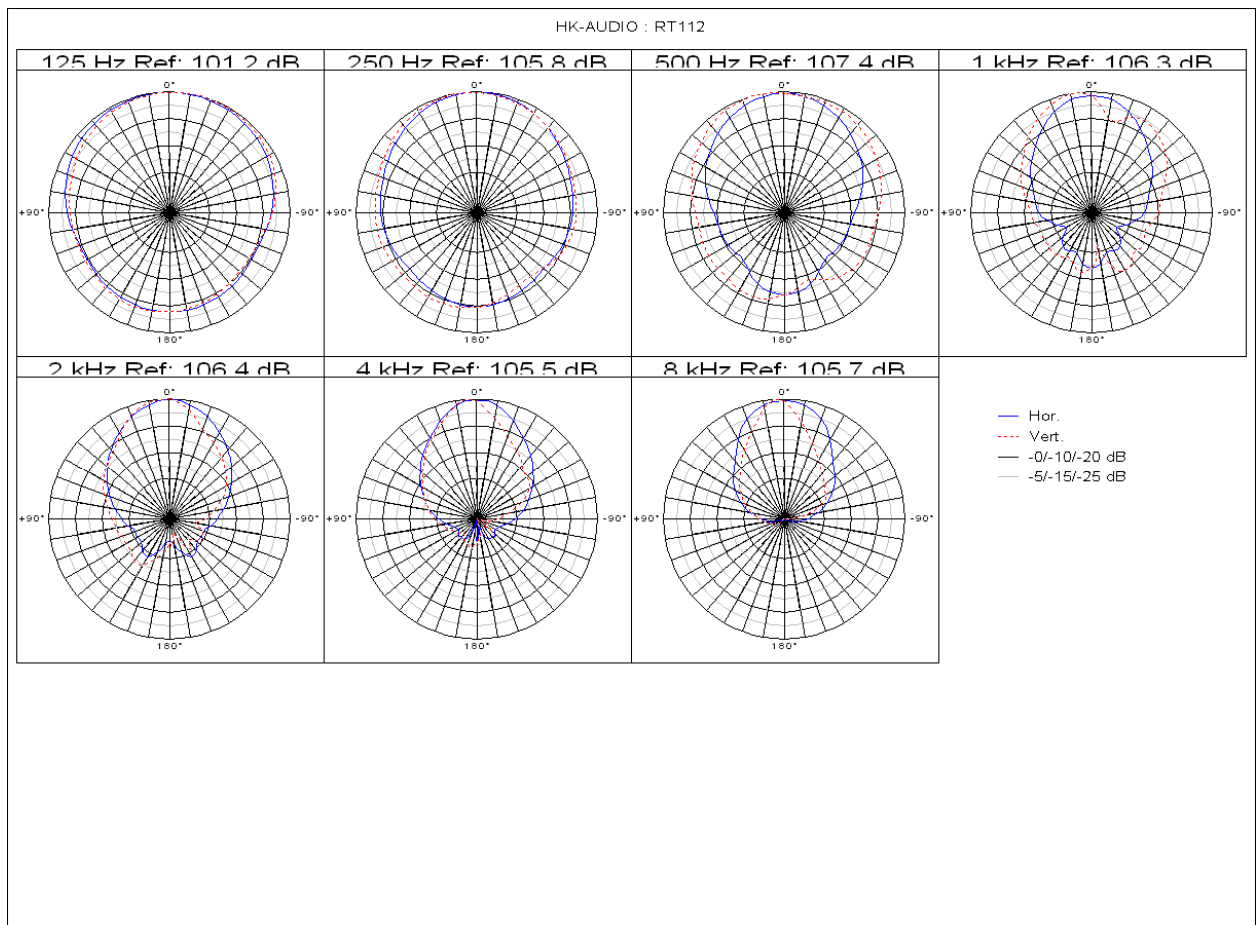
- Open – Air – Konzert für ca. 7. 000 Zuschauer
Typ: Rockiger Pop (Die Prinzen)
- Hauptbeschallung: 4 EAW – KF 750F pro Seite (geflogen) in quadratischer Aufhängung (2
Zeilen, 2 Spalten), 6 EAW – SB 750 pro Seite unter der Bühne als Subbass,
- Hersteller: EAW Eastern Acoustic Works (www.eaw.com)
- Maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]):
KF 750F: 139,8 dB (50 – 250 Hz),
141,0 dB (315 – 1 kHz),
145,0 dB (1,25 – 10 kHz),
SB 750P: 139,0 dB (32 Hz – 100 Hz).

Kurve D:

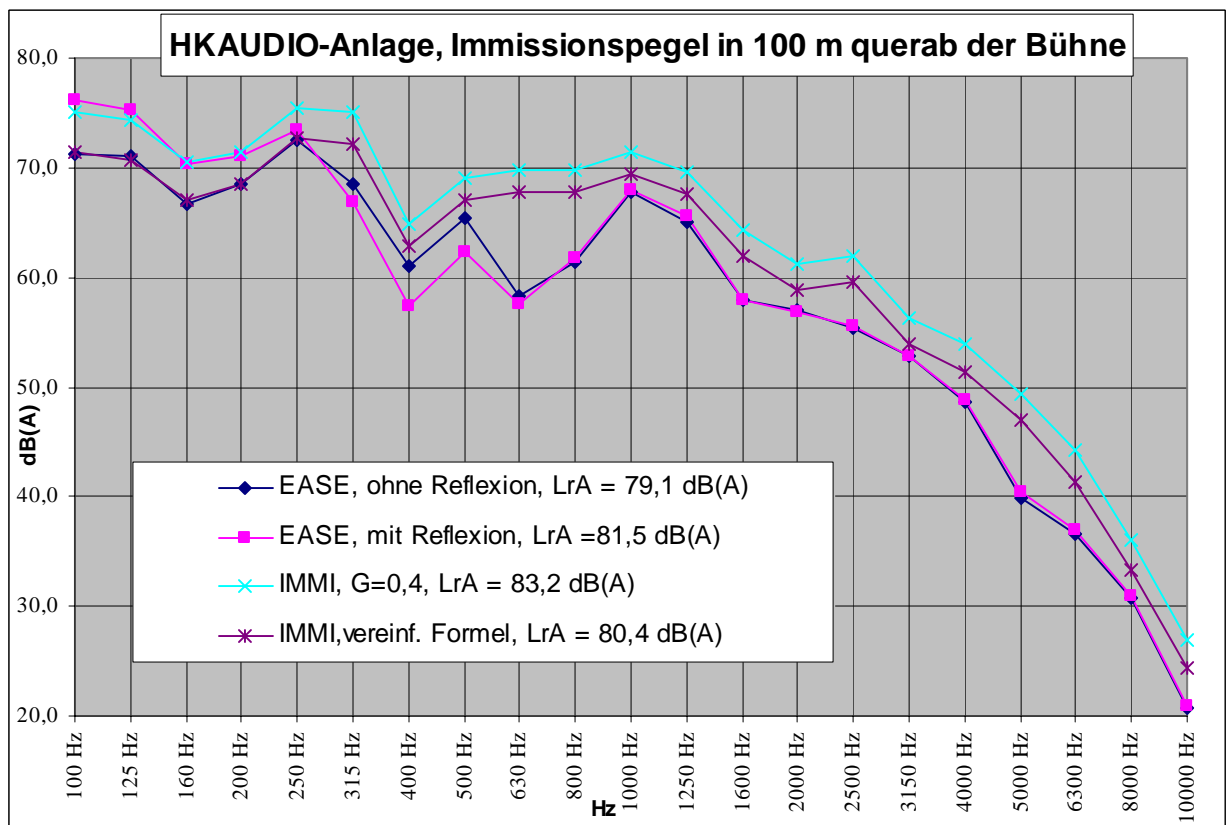
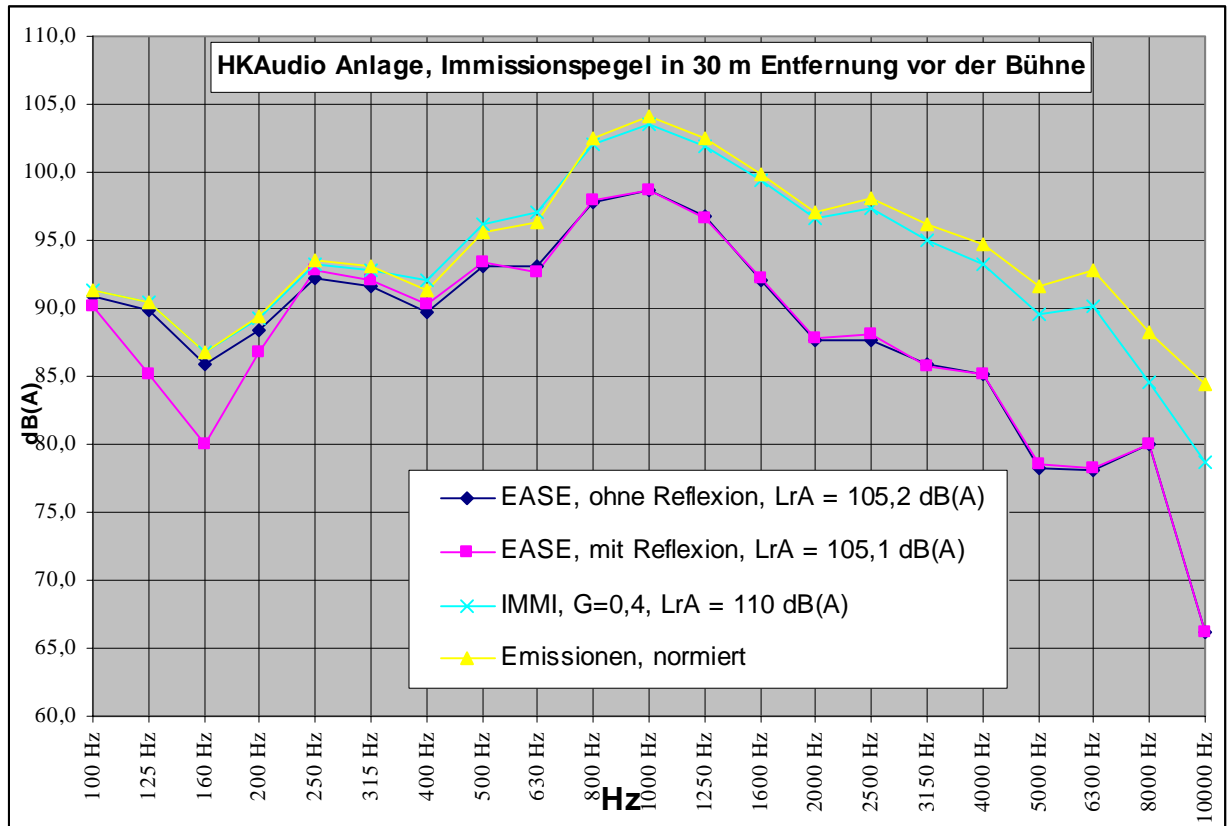
- Open – Air – Veranstaltung für ca. 5. 000 Zuschauer
Typ: gesponserte Veranstaltung mit Einzelinterpreten und Gruppen, hauptsächlich Pop, dazu mit
einem Anteil von ca. 20 % Moderation (Spiele unter Einbeziehung der Zuschauer usw.)
- Hauptbeschallung (gleiche Anlage wie bei Kurve B): 4 EAW – KF 750 pro Seite (geflogen) in
quadratischer Aufhängung (2 Zeilen, 2 Spalten), 6 EAW – SB 750 pro Seite unter der Bühne als
Subbass,
- Hersteller: EAW Eastern Acoustic Works (www.eaw.com)
- Maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]):
KF 750F: 139,8 dB (50 – 250 Hz),
141,0 dB (315 – 1 kHz),
145,0 dB (1,25 – 10 kHz),
SB 750P: 139,0 dB (32 Hz – 100 Hz).

Kurve E:

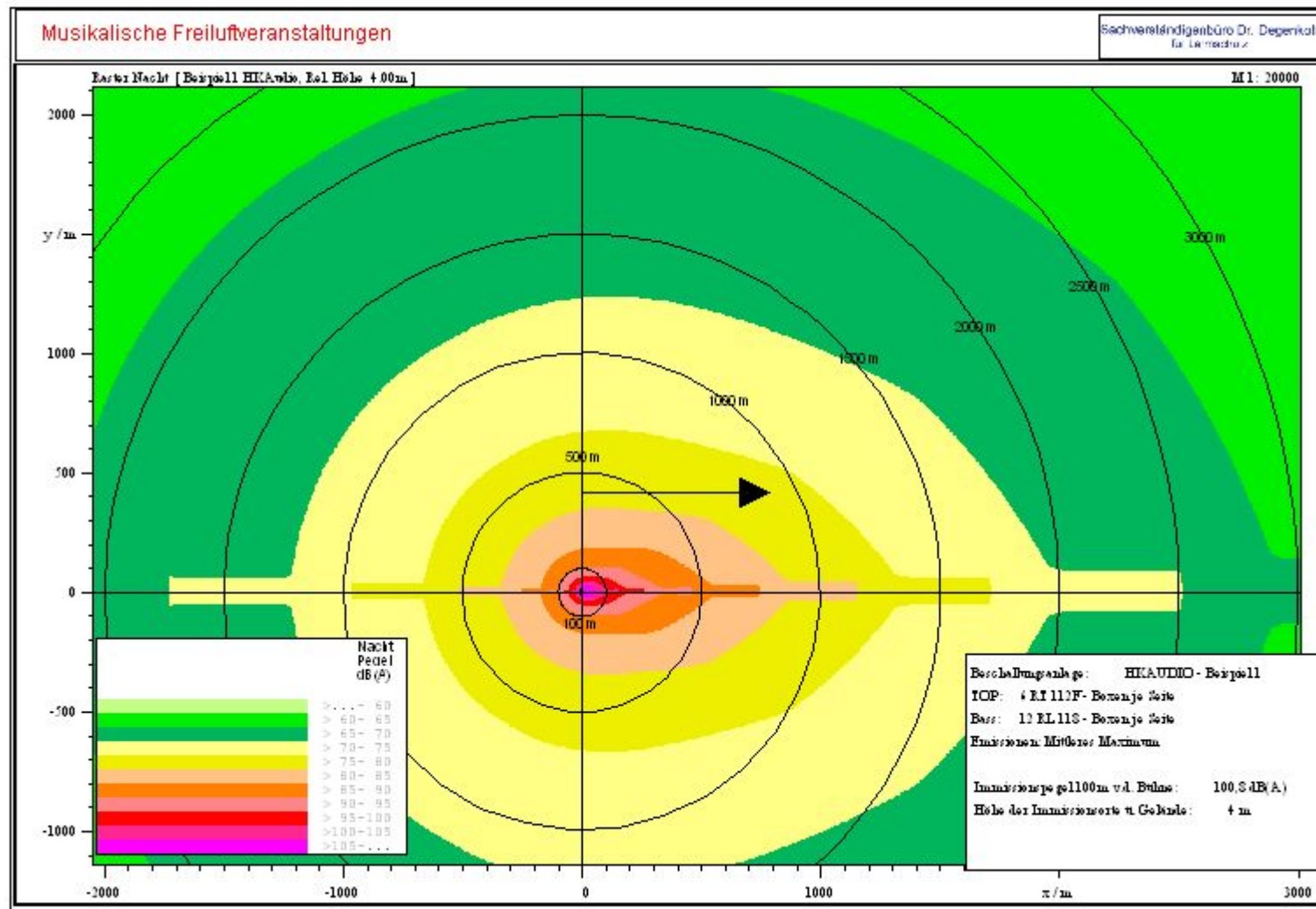
- Open – Air – Veranstaltung für ca. 3. 000 Zuschauer
Typ: gesponserte Veranstaltung mit Einzelinterpreten und Gruppen, Pop, Rock u. a., dazu mit
einem Anteil von ca. 30 % Moderation (Spiele unter Einbeziehung der Zuschauer usw.)
- Hauptbeschallung : 6 RT 112F pro Seite (geflogen), 12 RL 118 pro Seite unter der Bühne als
Subbass,
- Hersteller: HK AUDIO (www.hkaudio.com)
- Maximaler axialer Schalldruckpegel (maximum peak SPL[1m]):
RT 112F: 139 dB (130 – 18 kHz),
RL 118: 138 dB (40 Hz – 250 Hz).



Anlage A 16-1: Richtcharakteristik der Lautsprecherbox HK Audio RT 112F (Quelle /2/ für die Oktaven und /1/ für Terz 100 Hz)



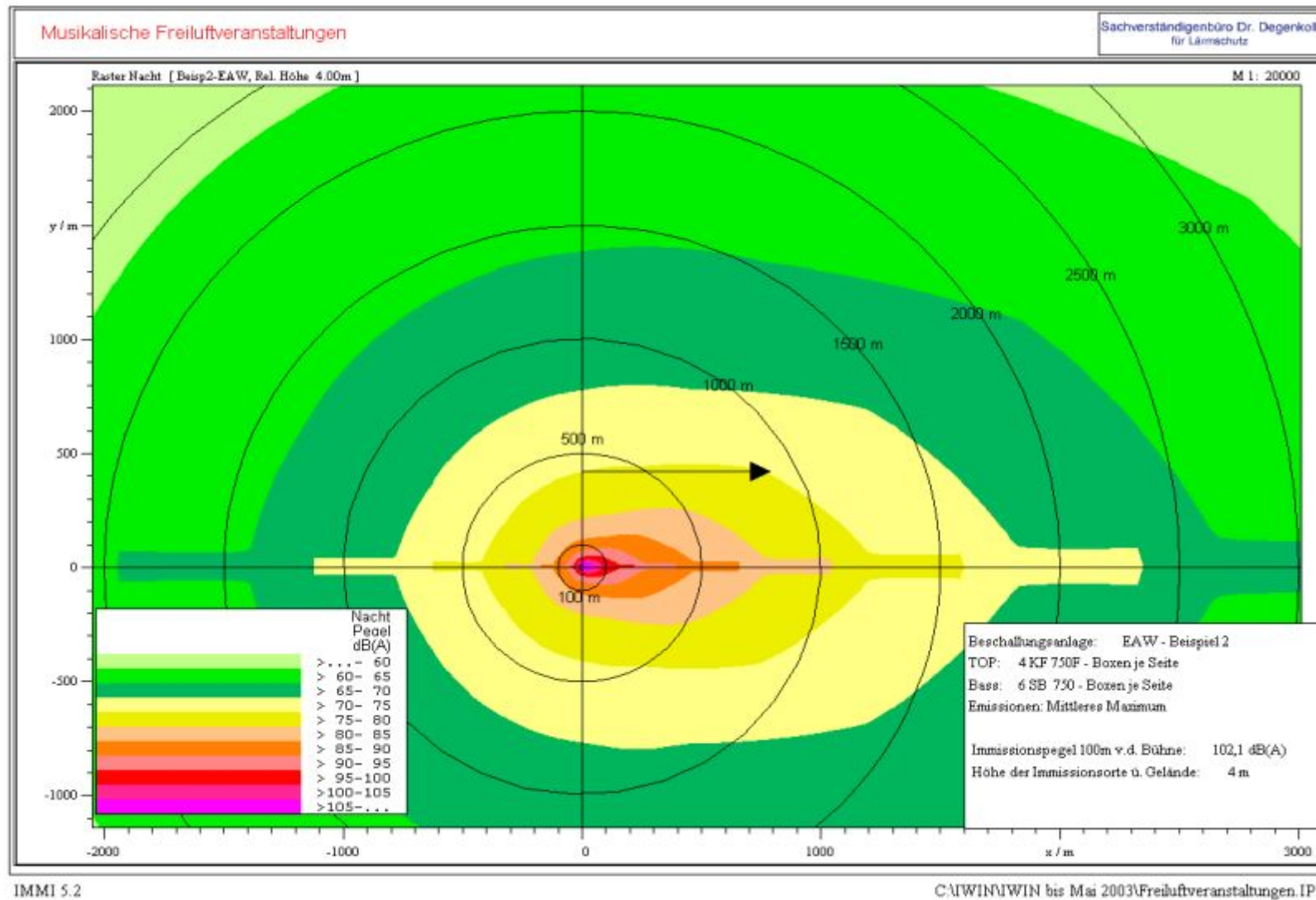
Anlage A 16-2: Simulationsergebnisse des Beispiels 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräushtyp „E“)



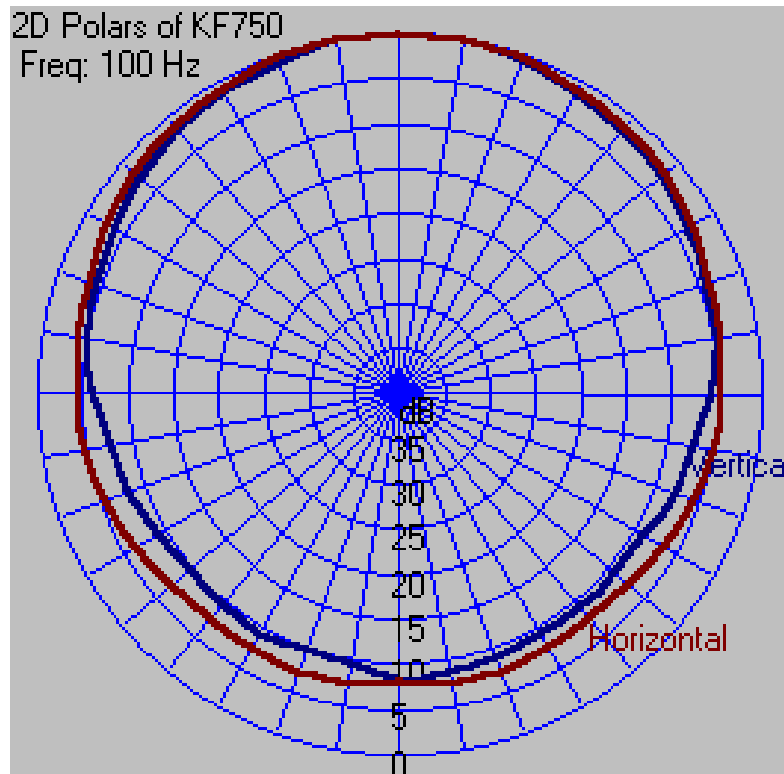
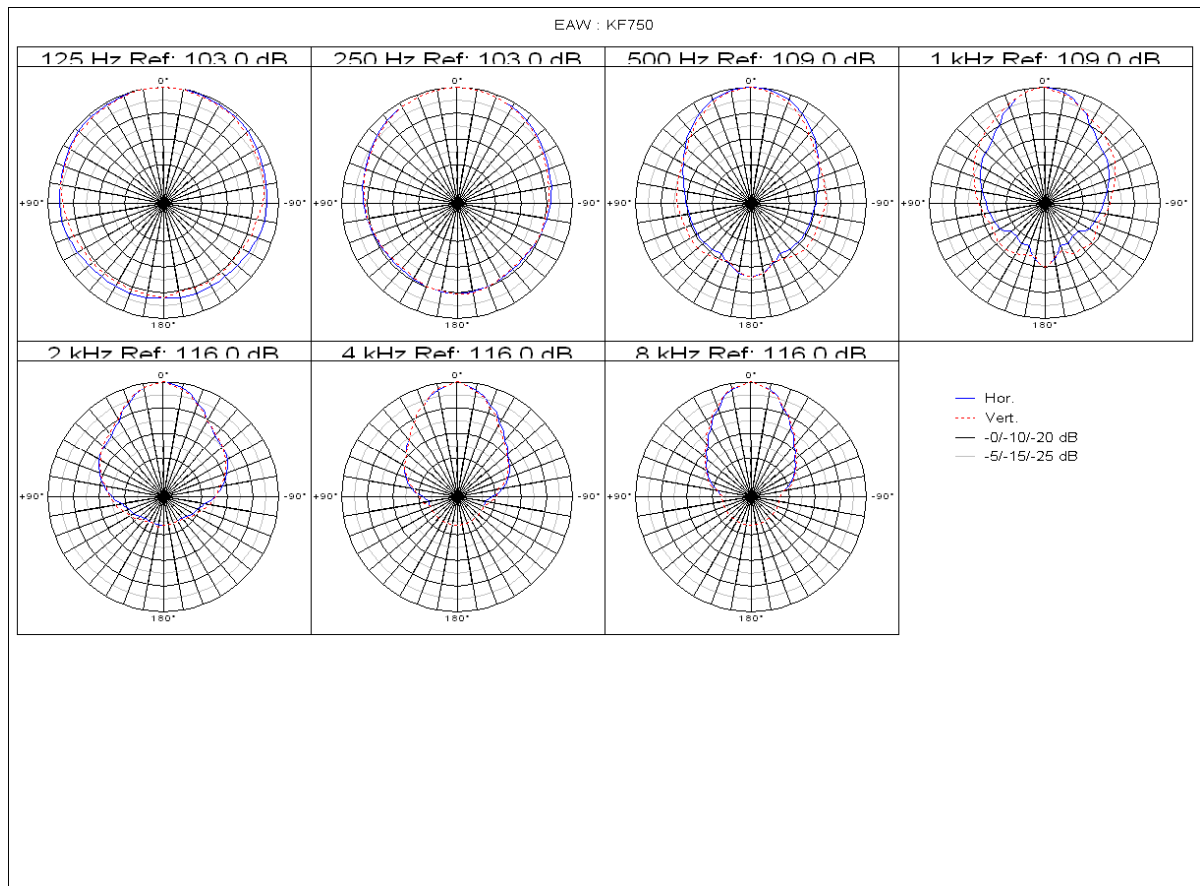
IMMI 5.2

C:\WINNWIN\bis Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

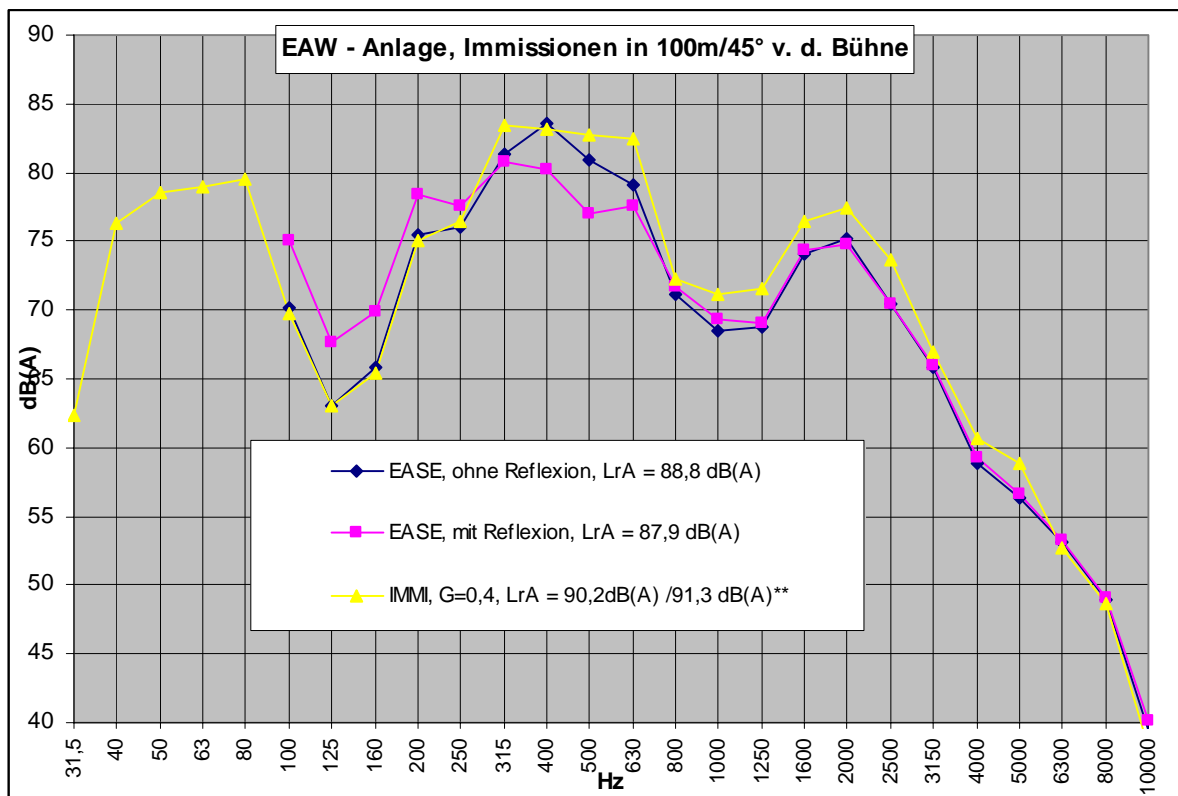
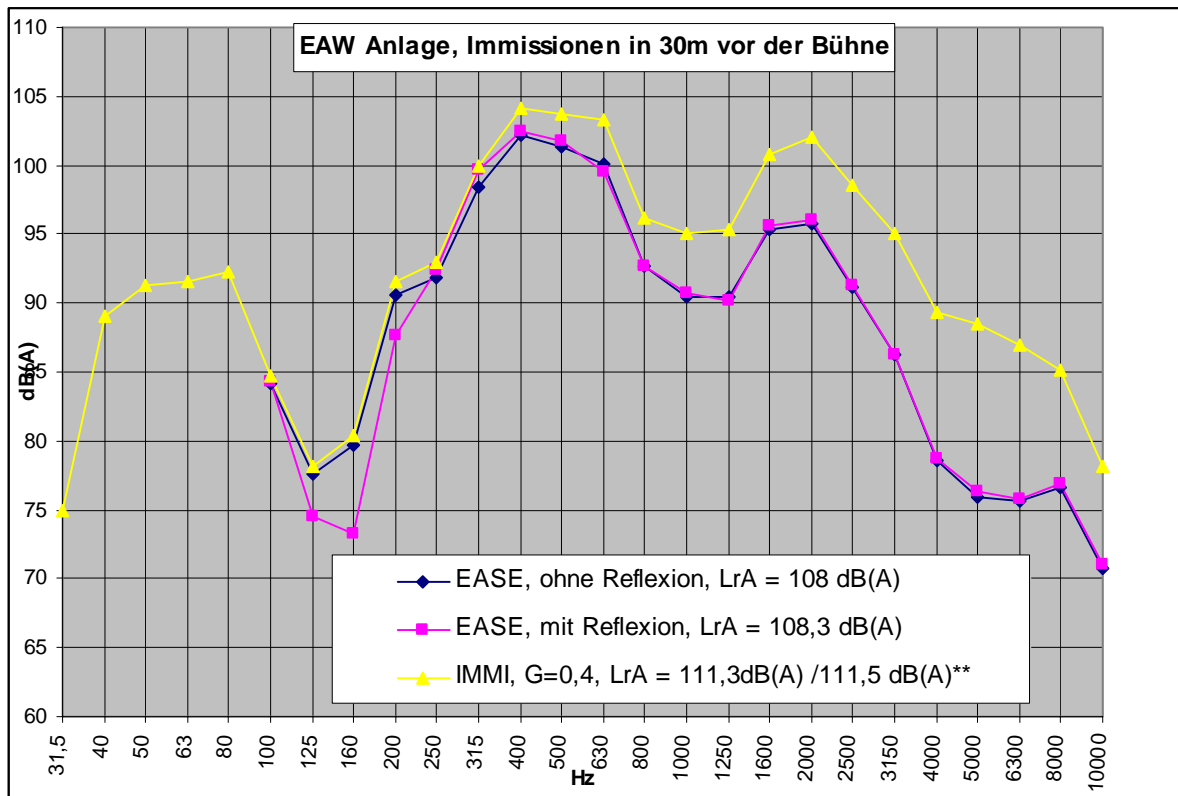
Anlage A 16-3: Simulationsbeispiel 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräuschtyp „E“), Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen“ (mit EASE/1/ berechneter Immissionspegel am IP 30 m v. d. Bühne: 105 dB(A))



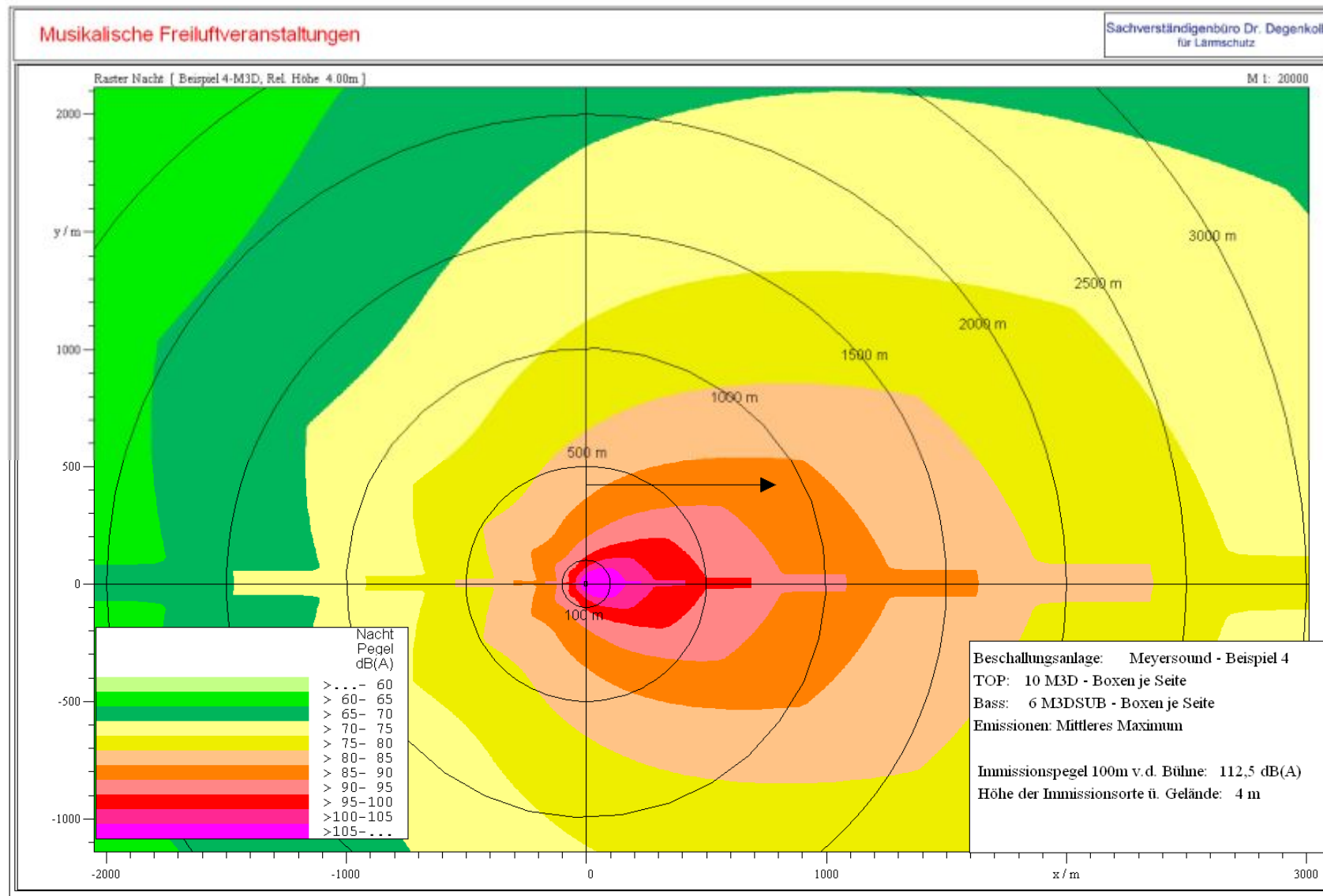
Anlage A 16-4: Simulationsbeispiel 2 (EAW – Anlage, Geräushtyp „B“), Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen“ (mit EASE/1/ berechneter Immissionspegel am IP 30 m v. d. Bühne: 108 dB(A))



Anlage A 16-5: Richtcharakteristik der Lautsprecherbox KF 750 (Quelle: /2/ für die Oktaven und /1/ für Terz 100 Hz)



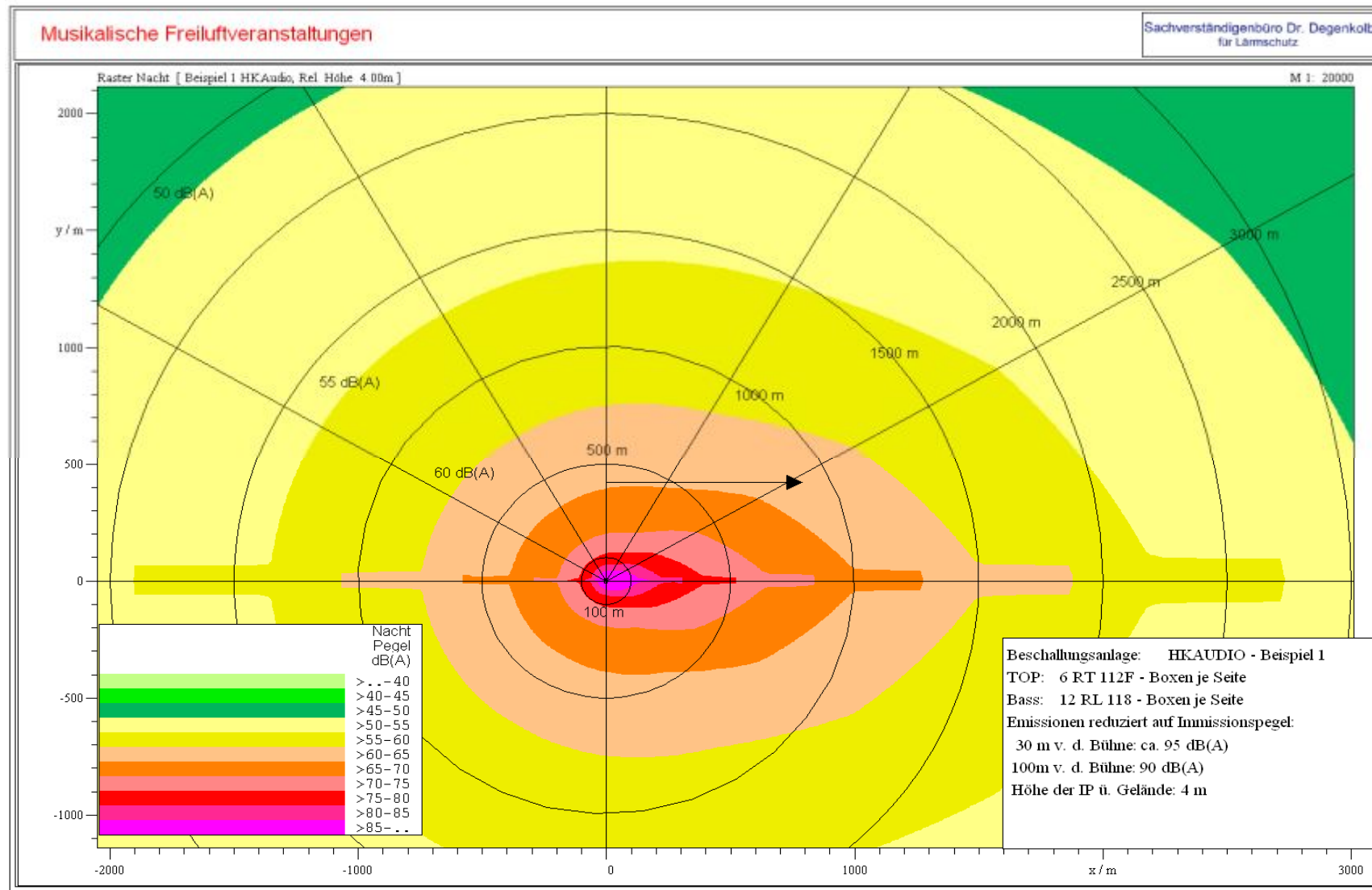
Anlage A 16-6: Simulationsergebnisse des Beispiels 2 (EAW – Anlage, Geräuschtyp „B“)



IMMI 5.2.1

CAIWINTWIN ab Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

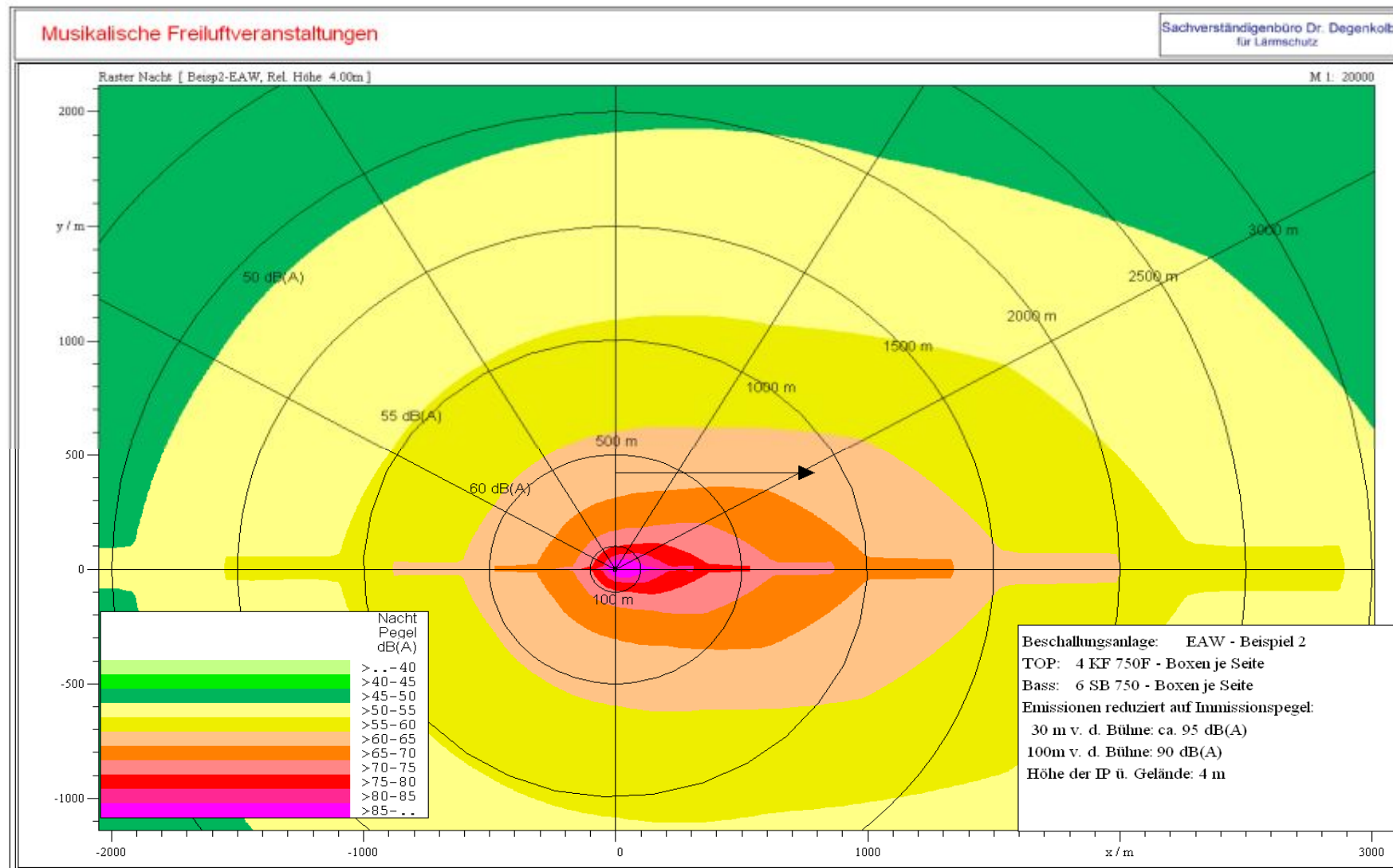
Anlage A 16-7: Simulationsbeispiel 4 (Meyersound – Anlage, Geräuschtyp „A“), Immissionspegel „Mittleres Maximum der Emissionen“



IMMI 5.2.1

CAIWIN\TWIN ab Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

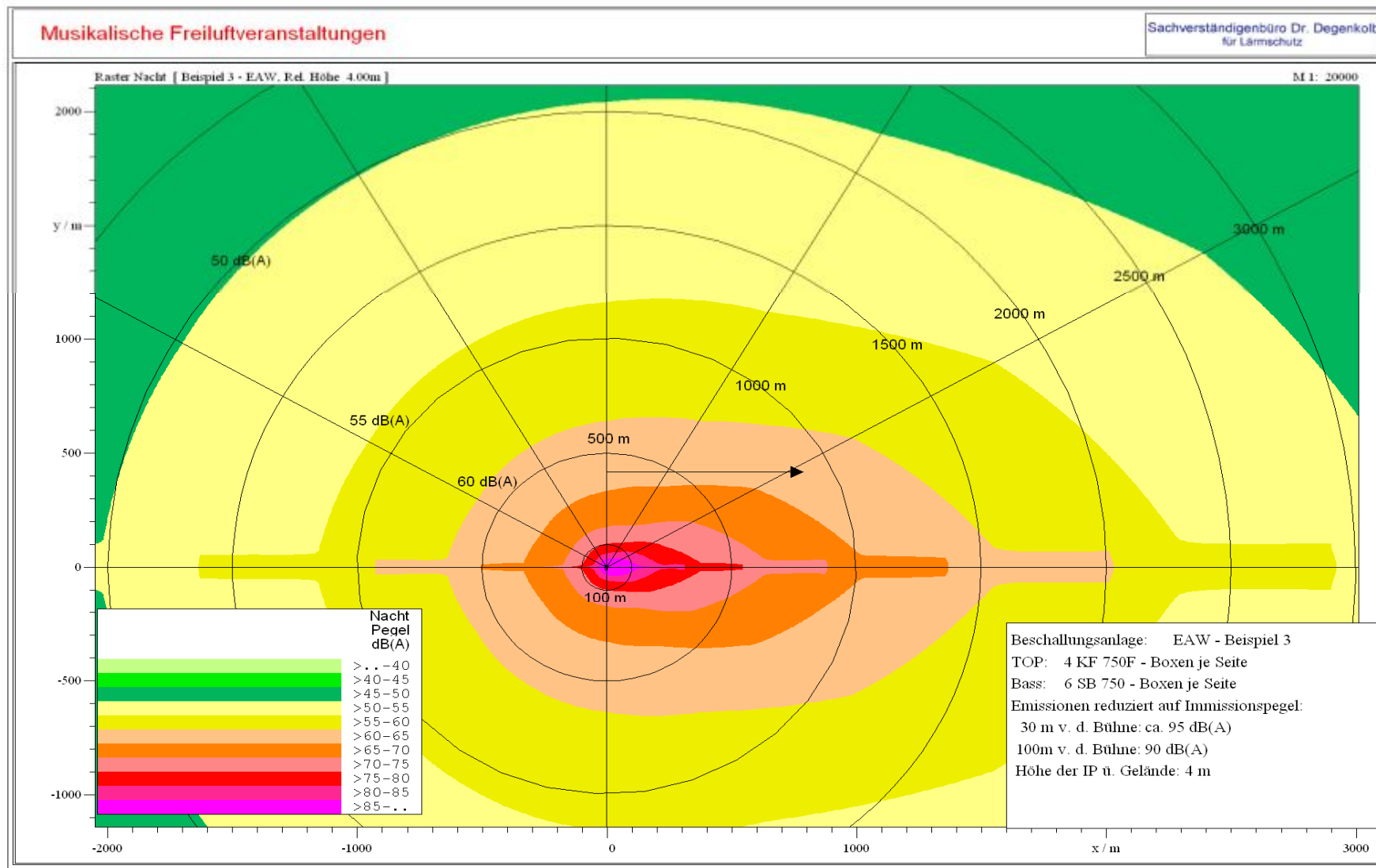
Anlage A 17-1: Beispiel 1 (HKAUDIO – Anlage, Geräuschtyp „E“), Emissionen reduziert auf Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m



IMMI 5.2.1

CAIWINIWIN ab Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

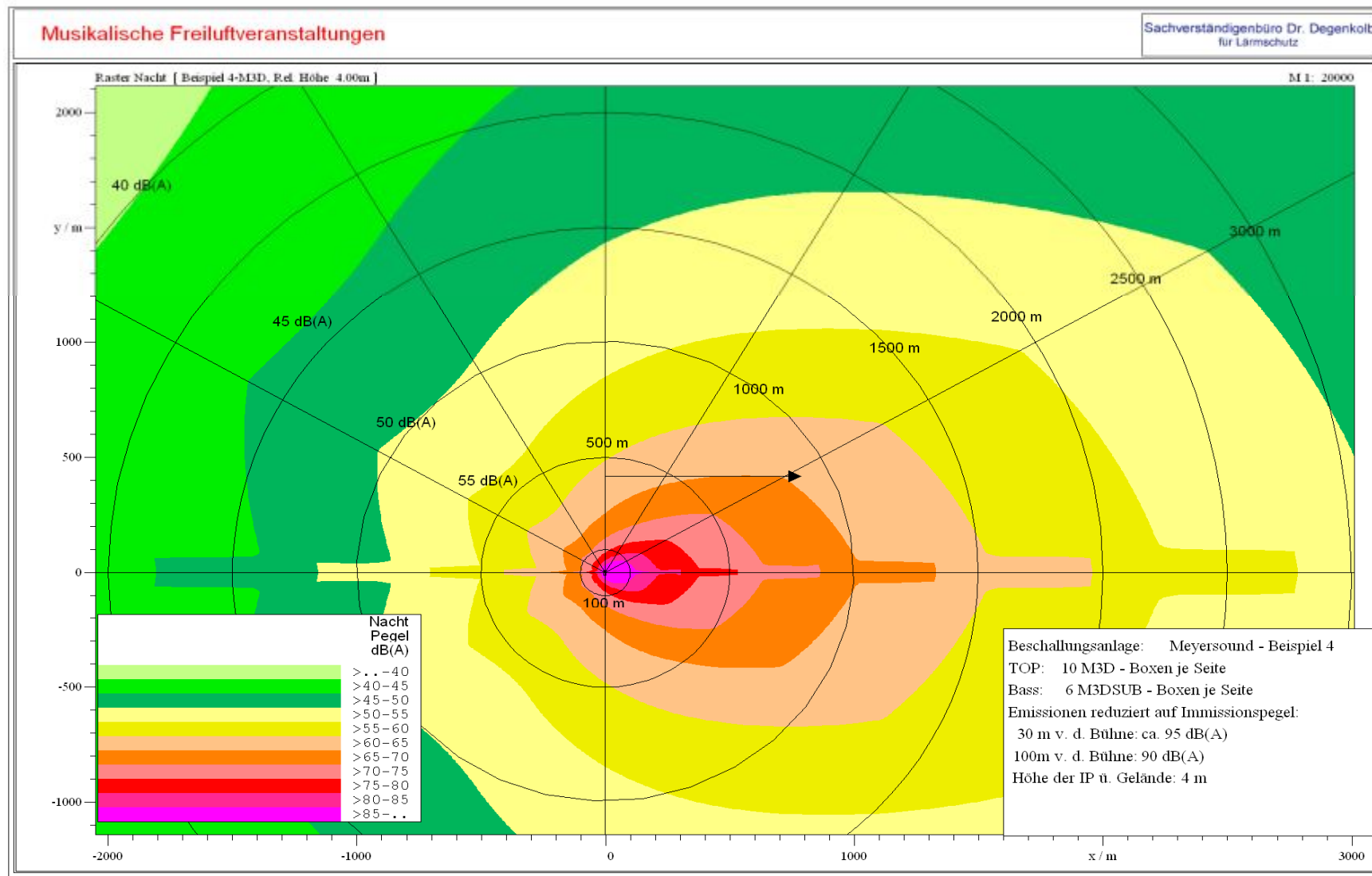
Anlage A 17-2 : Beispiel 2 (EAW – Anlage, Geräushtyp „B“), Emissionen reduziert auf Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m



IMMI 5.2.1

CAIWINIWIN ab Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

Anlage A 17-3 : Beispiel 3 (EAW – Anlage, Geräuschtyp „D“), Emissionen reduziert auf Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m



IMMI 5.2.1

C:\WIN\IWIN ab Mai 2003\Freiluftveranstaltungen.IPR

Anlage A 17-4 : Beispiel 4 (Meyersound – Anlage, Geräuschtyp „A“), Emissionen reduziert auf Immissionspegel von 90 dB(A) bei 100 m

Beispiel 1, HKAUDIO – Anlage (Geräushtyp „E“)							
Reduzierte Emissionen: Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne ca. 90 dB(A).							
Linie gleicher Immissionspegel in dB(A)	Abstand in m von Mitte Bühne bis zur Isophone in Abhängigkeit vom Blickwinkel (0° ist mittig vor der Bühne)						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
45	6260	4560	4290	4160	4090	4120	5700
50	4050	2910	2550	2430	2370	2370	3330
55	2720	1820	1470	1370	1320	1330	1910
60	1890	1160	840	760	720	720	1070
65	1280	710	460	400	370	370	580
70	840	420	240	200	180	190	290

Beispiel 2, EAW – Anlage (Geräushtyp „B“)							
Reduzierte Emissionen: Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne ca. 90 dB(A).							
Linie gleicher Immissionspegel in dB(A)	Abstand in m von Mitte Bühne bis zur Isophone in Abhängigkeit vom Blickwinkel (0° ist mittig vor der Bühne)						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
45	5715	4090	3450	3280	3230	3220	4510
50	4100	2730	2090	1910	1840	1830	2660
55	2890	1800	1250	1100	1050	1030	1560
60	2000	1120	710	600	570	560	890
65	1340	690	400	320	290	280	480
70	870	400	210	170	160	150	240

Beispiel 3, EAW – Anlage (Geräushtyp „D“)							
Reduzierte Emissionen: Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne ca. 90 dB(A).							
Linie gleicher Immissionspegel in dB(A)	Abstand in m von Mitte Bühne bis zur Isophone in Abhängigkeit vom Blickwinkel (0° ist mittig vor der Bühne)						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
45	5940	4250	3730	3530	3430	3400	4730
50	4150	2780	2220	2050	2000	1980	2800
55	2930	1800	1300	1170	1120	1100	1630
60	2030	1142	760	650	610	600	920
65	1370	690	420	340	312	300	510
70	880	400	220	180	170	160	250

Beispiel 4, Meyersound - Anlage (Geräushtyp „A“)							
Reduzierte Emissionen: Immissionspegel in 30 m vor der Bühne ca. 95 dB(A), Immissionspegel in 100 m vor der Bühne ca. 90 dB(A).							
Linie gleicher Immissionspegel in dB(A)	Abstand in m von Mitte Bühne bis zur Isophone in Abhängigkeit vom Blickwinkel (0° ist mittig vor der Bühne)						
	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°
45	5390	4000	3000	2360	1750	1680	1830
50	3870	2800	1900	1430	1060	1060	1160
55	2780	1930	1200	850	630	640	710
60	1960	1290	740	480	340	360	400
65	1330	410	380	260	190	200	220
70	870	500	230	140	110	110	130

Anlage A 17-5: Immissionspegel für die Beispiele 1 bis 4, wenn die Emissionen so reduziert werden, dass mittig vor der Bühne in 100m Entfernung ein Immissionspegel von 90 dB(A) verursacht wird (bedeutet bei 30 m mittig v. d. Bühne ca. 95 dB(A))