

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Probleme bei konventioneller Stereo-Beschallung
beziehungsweise -Panoramisierung
und mögliche Alternativen

am Fallbeispiel "Wiener Festwochen-Eröffnung 2008"

Verfasserin

Doris Jandl

angestrebter akademischer Grad

Mag. phil.

Wien, 2008

Studienkennzahl lt. Studienblatt:
Studienrichtung lt. Studienblatt:
Betreuer:

A 316
Musikwissenschaft
Ass.-Prof. Dr. Emil H. Lubej

Inhaltsverzeichnis

<i>Vorwort</i>	5
<i>Einleitung</i>	7
A Theoretischer Teil	8
1.0 Ziele	8
2.0 Probleme	10
2.1 Schalldruckpegel und Frequenzgang.....	10
2.1.1 Akustische Grundlagen.....	10
A Schall.....	10
B Kugelschallwellen und Zylinderschallwellen.....	12
C Kohärente und inkohärente Signale.....	15
D Crest-Faktor.....	18
E Open-air-Faktoren.....	19
F Absorption und Reflexion.....	20
2.1.2 Lautsprecheraufstellung bei konventioneller Stereobeschallung.....	23
A Zu erreichender Schalldruckpegel.....	23
B Erhöhte Anbringung der Lautsprecher.....	25
C Kombination von Lautsprechern.....	25
D "Mittenloch".....	27
E Delayline.....	27
F Frequenzgang.....	28
2.2 Realistische Abbildung und Panoramisierung.....	29
2.2.1 Psychoakustische Grundlagen zur Stereophonie.....	30
2.2.1.1 Lokalisationstheorien.....	30
A Lokalisation durch Intensitätsunterschiede.....	30
B Lokalisation durch Laufzeitunterschiede.....	32
C Lokalisation durch Kopfabschattung.....	34
2.2.2 Die "korrekte" Stereo-Lautsprecheranordnung.....	35
2.3 Zusammenfassung.....	38
3.0 Lösungen	40
3.1 Schalldruckpegelverteilung und Frequenzgang.....	40
3.1.1 Zusätzliche Lautsprecher.....	40
A Midfill / Outfill.....	46
B Frontfill / Ground Support.....	48
C Delayline.....	52
D Line Array.....	53
3.2 Realistische Abbildung und Panoramisierung.....	56
3.2.1 Zusätzliche Lautsprecher.....	57
A Verteilung der linken und rechten Stereosummen-Seite.....	58
B Direkte Ansteuerung.....	59
C Laufzeitanpassung zwischen den Lautsprechergruppen.....	61
3.2.2 Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo.....	61
A Energy Preservation.....	62
B Lokalisation.....	63

C Preservation Decoder.....	63
D Composite Preservation Decoder.....	65
E Improvement Decoder.....	65
F Composite Improvement Decoder.....	67
3.2.3 Spektrale Panoramisierung.....	67
3.2.4 Weitere Ansätze.....	70
A Wall of Sound (Grateful Dead).....	70
B Bose.....	71
C Delta-Stereophonie.....	72
D Wellenfeldsynthese.....	73
3.3 Zusammenfassung.....	75
B Praktischer Teil.....	77
4.0 Wiener Festwocheneröffnung 2008.....	78
4.1 Das Veranstaltungsprogramm.....	78
4.2 Besondere Herausforderungen.....	78
5.0 Tontechnische Realisierung.....	81
5.1 Lautsprecheraufstellung der PA.....	81
5.2 Lautsprecher-signale.....	86
6.0 Erstellung der Signale.....	86
6.1 Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo.....	87
A 5 x 2 Composite Preservation Decoder.....	88
B 5 x 2 Composite Improvement Decoder.....	90
C Mögliche Verbesserung des 5x2 Composite Improvement Decoder.....	90
6.2 Vor- und Nachteile der Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo.....	91
6.3 Spektrale Panoramisierung.....	92
6.4 Vor- und Nachteile der spektralen Panoramisierung.....	95
7.0 Programmierung im soundweb.....	95
8.0 Conclusio.....	99
<i>Literaturhinweis.....</i>	<i>101</i>
<i>Anhang.....</i>	<i>104</i>
I Konzertbeschallung in Mogno (CH).....	104
II Abstract.....	106
III Lebenslauf.....	107

Vorwort

"Indem ich die Früchte achtjähriger Arbeit der Öffentlichkeit übergebe, habe ich zugleich noch eine Pflicht der Dankbarkeit zu erfüllen."

Helmholtz (1862)
(Helmholtz, 1983: Seite V)

Zwar kommt die Zeit der Recherche für die vorliegende Arbeit nicht an zitierte acht Jahre heran. Ich möchte meine "Früchte" auch keineswegs mit denen des Herrn Helmholtz vergleichen. Dennoch fühle auch ich mich dazu angehalten, mich an dieser Stelle bei einigen Menschen zu bedanken.

Diese sind namentlich Emil Lubej, für einzigartige Betreuung und darüber hinausreichende Unterstützung in meiner Arbeit als angehende Tonmeisterin.

A. "Tuchel" Tögel, für den interessanten und durchaus fordernden Unterricht in Beschallung, das Vertrauen in meine Arbeit und hervorragende Unterstützung und Hilfestellung bei dieser Diplomarbeit.

Ulrich Vette für die wertvolle Hilfe und detaillierte Informationen zum Thema *Spektrale Panoramisierung*.

Ein großes Dankeschön geht ebenfalls an

Hermann Freiberger und Balthasar Fischer für die Überwachung aller mathematischen Details dieser Arbeit sowie ganz speziell auch an

Jürg Jecklin, der mich nicht nur durch sein unglaubliches Fachwissen, sondern vor allem auch durch seine menschlichen Qualitäten beeindruckt.

Zu guter Letzt möchte ich mich auch noch bei meinen Kollegen Martin Tscherner, Thomas Schröttner und Volker Werner für intensive und dennoch stets lustvolle Zusammenarbeit bei so manchen höchst lehrreichen Projekten bedanken.

Diese Arbeit wurde nach den Formatvorlagen und Richtlinien zur Verfassung einer Diplomarbeit an der Universität Wien verfasst.

Hinsichtlich der verwendeten Bilder und graphischen Darstellungen habe ich mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit einzuholen. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Finden sich keine weiteren Angaben zur Herkunft mancher Abbildungen, wurden diese von der Autorin selbst erstellt.

Auf *gender*-gerechte Sprache wurde aus Gründen des besseren Leseflusses in dieser Arbeit verzichtet.

Es wird so manchen Leser erstaunen, dass in Zeiten, wo selbst bei Großbeschallungen des Öfteren *surroundsound* gefordert und auch realisiert wird, noch eine Arbeit über Stereophonie verfasst wird. Ich möchte in diesem Zusammenhang darauf hinweisen, dass sich viele der im Folgenden beschriebenen Probleme auch bei Konzeption von *surround*-Beschallungsanlagen ergeben. Zudem lassen sich viele der angeführten möglichen Alternativen und Lösungsansätze prinzipiell auch in die Konzeption einer *surround*-Anlage implementieren.

Da die vorliegende Arbeit jedoch auch als Dokumentation über die tontechnische Planung der Wiener Festwocheneröffnung 2008, welche eine Stereo-Beschallung

vorsah, zu sehen ist, kann das Thema *surround* hier keine weitere Berücksichtigung finden.

Die besagte Veranstaltung fand zudem im Freiluft-Bereich, also *open-air* statt. Um den Umfang dieser Arbeit nicht zu sprengen wird eine Betrachtung der besonderen Umstände, die es bei Beschallungen in geschlossenen Räumen zu beachten gilt, ebenfalls nicht in detaillierter Art und Weise geschehen.

Aufgrund meines persönlichen Bildungsweges ist es mir ein Anliegen, die folgenden Kapitel sowohl für den fachkundigen und praxisorientierten Tonmeister, als auch für den möglicherweise lediglich theoretisch interessierten Musikwissenschaftler verständlich zu gestalten. Ich bitte daher um Nachsicht, wenn einige Komponenten dieser Arbeit, wie zum Beispiel der einführende theoretische Teil, ausführlichere Erläuterung finden, als es dem erfahrenen Fachmann notwendig erscheint.

So ergab sich auch die Einteilung der vorliegenden Arbeit in die entsprechenden Kapitel aus dem Bemühen, eine klare, nachvollziehbare Linie zu verfolgen. Eine große Varianz bezüglich des Umfangs der einzelnen Kapitel und Unterkapitel geht aus diesem Bemühen um größtmögliche Klarheit hervor.

Es erscheint mir auch hinsichtlich der nun folgenden Einleitung nicht unpassend, an dieser Stelle noch einmal Herrn Helmholtz zu Worte kommen zu lassen, indem ich mir erlaube zu zitieren:

"Dasselbe [das vorliegende Buch] wendet sich also an einen Kreis von Lesern, welche einen sehr verschiedenartigen Bildungsgang durchgemacht haben und sehr abweichende Interessen verfolgen; es wird deshalb nicht unnötig sein, wenn der Verfasser gleich von vornherein sich darüber ausspricht, in welchem Sinne er die Arbeit unternommen und welches Ziel er dadurch zu erreichen gesucht hat."

Helmholtz (1862)
(Helmholtz, 1983: Seite 1)

Einleitung

Im Zuge dieser Arbeit sollen Problemstellungen, die sich bei der Konzeption von Beschallungsanlagen ganz allgemein ergeben erläutert, und einige speziell bei großräumigen Abhörbereichen und *open air*-Situationen auftretende Probleme aufgedeckt werden.

Es stellt sich zunächst die Frage nach den grundsätzlichen Anforderungen, die bei der Konzeption einer Beschallungsanlage berücksichtigt werden sollten.

Welches Ziel soll durch eine Beschallung erreicht werden?

Kapitel 1 beschäftigt sich mit dieser Frage, die als essentiell zu betrachten ist. Um den Stellenwert dieses zwar kurzen Abschnitts zu unterstreichen, wurde dieser Fragestellung ganz bewusst ein eigenständiges Kapitel gewidmet. Das Inhaltsverzeichnis gibt bereits zu erkennen, dass der gesamte Aufbau der vorliegenden Arbeit auf die durch Kapitel 1 gewonnenen Aspekte gründet. Es handelt sich dabei um die Themen

"Schalldruckpegel und Frequenzgang"

sowie

"realistische Abbildung und Panoramisierung".

Die Einteilung der Kapitel 2 und 3 richtet sich nach diesen beiden Aspekten.

Probleme, die sich aufgrund akustischer und psychoakustischer Faktoren in dem Unterfangen, die in Kapitel 1 dargestellten Ziele zu erreichen ergeben, finden in Kapitel 2 Erläuterung.

In weiterer Folge sollen Techniken beziehungsweise Alternativen aufgezeigt werden, die als Lösungsansätze zu verschiedenen Problemen dienen können. Kapitel 3 beschäftigt sich mit diesem Thema.

Besonderes Augenmerk wird dabei auf zwei Methoden gelegt, die zu testen und zu vergleichen die Veranstaltung "Wiener Festwocheneröffnung 2008"¹ Gelegenheit bot.

Es handelt sich dabei um eine

Matrix nach Michael Gerzon,

sowie um ein System, das auf

Filterung nach speziellen Ohrkurven

beruht. Diese zweitgenannte Methode der so genannten spektralen Panoramisierung erreichte besonders durch die Arbeit von Ulrich Vette² ihre Einsatzfähigkeit für die besagte Veranstaltung.

Erkenntnisse, die sich durch den Vergleich der beiden Systeme "Spektrale Panoramisierung" und "Gerzon-Matrix" im Zuge der diesjährigen Wiener Festwocheneröffnung ergaben, werden im Praxisteil erläutert.

Die Programmierung der Matrix nach Gerzon und der spektralen Panoramisierung im *soundweb* der Firma BSS war Aufgabe der Autorin und soll ebenfalls beschrieben werden.

¹ Die Wiener Festwocheneröffnung fand am 9. Mai 2008 am Rathausplatz in Wien statt.

² Professor am Tonmeister-Institut der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien

Diese Arbeit versteht sich somit auch in großem Maße als Dokumentation über die tontechnische Konzeption der besagten Veranstaltung und weist daher einen großen Praxisbezug auf. Dieser Umstand bedingt die Entscheidung, lediglich den zwei eben genannten Alternativen im Zuge des dritten Kapitels erhöhte Aufmerksamkeit zu schenken. Um jedoch nicht den Eindruck zu erwecken, es existierten nicht viele weitere alternative Techniken, soll im selben Kapitel eine kurze Aufzählung einiger bekannter Methoden stattfinden.

Die Einteilung der vorliegenden Arbeit in einen Theorie- sowie einen Praxisteil liegt aufgrund der einleitenden Schilderungen nahe.

A Theoretischer Teil

"Man soll die Dinge so nehmen, wie sie kommen. Aber man sollte auch dafür sorgen, dass die Dinge so kommen, wie man sie nehmen möchte"

Curt Götz³

(zitiert nach www.zitate-online.de)

Diese wahrlich weisen Worte stehen aus gutem Grund am Beginn dieses Abschnitts. Denn damit die Dinge so kommen, wie man sich selbige zu nehmen im Stande sieht, ist man auch in technischen Dingen gut daran beraten, die Theorie der Sache zu verinnerlichen, bevor man sich enthusiastisch in die praktische Umsetzung stürzt.

Der nun folgende Teil dieser Arbeit befasst sich daher auf theoretischer Ebene mit einigen psychoakustischen und akustischen Grundlagen, die bei der Konzeption einer Beschallungsanlage grundsätzlich beachtet werden sollten.

Zudem werden prinzipielle Ziele definiert, die durch eine Beschallung erreicht werden sollten. Diese Ziele bilden die Grundlage aller weiteren Betrachtungen dieser Arbeit und sind daher als essentiell zu betrachten

Herausforderungen und Problemstellungen, die sich unter der Berücksichtigung der dargestellten psychoakustischen und akustischen Grundlagen in dem Bestreben, die in Kapitel 1 postulierten Ziele einer Beschallung zu erreichen ergeben, sollen anhand der Ausführungen in Kapitel 2 erkennbar werden, um in weiterer Folge auf mögliche Lösungsansätze und Alternativen zur in dieser Arbeit so genannten "konventionellen" Stereo-Beschallung zu sprechen zu kommen.

1.0 Ziele

"I learned early on that it's important to remember that the ultimate goal is to please the audience"

John Meyer,

(*Meyer Full Line Catalog*, 2007: Seite 4)

³ Curt Götz, 1888-1960. Deutsch-schweizerischer Schriftsteller und Schauspieler.

Ein durchaus nobles Ziel, das John Meyer hier postuliert. Es stellt sich nun die Frage, welchen Anforderungen eine Beschallungsanlage gerecht werden sollte, um dem Publikum ein positives Klangerlebnis zu ermöglichen.

An dieser Stelle sollen zwei der durch Bob McCarthy in der Publikation *"Meyer Sound Design Reference"* aufgestellten Anforderungen an eine Beschallungsanlage, herausgegriffen werden⁴, da diese die Aufgabenstellung meiner Meinung nach am besten beschreiben:

- "Provide a consistent sound pressure level and frequency response over the listening area"
- "Create realistic sonic image"

(Bob McCarthy, 1997: Seite 8)

Der Hörer möchte also an jedem Punkt des zu beschallenden Bereiches in ausreichender Lautstärke und Klarheit⁵ hören, was auf der Bühne passiert⁶. Eine Beschallungsanlage wird im Regelfall notwendig sein, um die auf der Bühne produzierten Signale zu verstärken.

Eine pegelmäßig ausgewogene, wohlklingende Mischung der einzelnen Signale am Ort des Hörers ist wünschenswert.

Zudem soll es möglich sein, einzelne Schallquellen als "vom Ort der Entstehung kommend" wahrzunehmen.

Bei der Konzeption einer Beschallungsanlage gilt es demnach, den Ansprüchen nach konstantem Schallpegel und linearem Frequenzgang⁷ sowie realistischer Abbildung⁸ der wiedergegebenen Schallquellen im gesamten Publikumsbereich gerecht zu werden, um sich dem beschriebenen Ziel "das Publikum zu erfreuen", anzunähern.

Welche Problemstellungen und Herausforderungen sich dabei ergeben, soll anhand des folgenden Kapitels verdeutlicht werden.

4 Andere, ebenfalls von Bob McCarthy definierten Ziele, wie beispielsweise Sicherheit bei der Bedienung des Systems werden im Zuge dieser Arbeit außer Acht gelassen.

5 Siehe dazu Kapitel 2.1.1 F.

6 Es wird in diesem Fall davon ausgegangen, dass sich die zu verstärkenden Schallquellen auf der Bühne befinden. Handelt es sich um die Zuspieldung einer CD, deren akustischer Inhalt keine optische Entsprechung auf der Bühne findet, stellt sich die Lage unter Umständen anders dar. Ein solches Szenario soll im Zuge dieser Arbeit allerdings keine nähere Betrachtung finden.

7 Als "linearen Frequenzgang" bezeichnet man die Eigenschaft eines Wiedergabesystems, den gleichen Schalldruckpegel für jede Frequenz im Hörbereich herzustellen. Dadurch kann eine konstante Schallpegelverteilung über den wahrnehmbaren Frequenzbereich erreicht werden. Der Frequenzgang eines elektroakustischen Wiedergabesystems wird aufgrund der frequenzabhängigen Schallabstrahlung von Lautsprechern, wie sie in Kapitel 2.1.1 B näher erläutert wird, jedoch vom Ort der Messung abhängen. Er kann anhand von Diagrammen dargestellt werden, deren x-Achse Frequenz, und deren y-Achse Schalldruckpegel widerspiegelt. Die Verbindung der Punkte, die dem gemessenen erzeugten Schalldruckpegel an einer bestimmten Frequenz darstellen, ergibt eine Linie, die als Darstellung des Frequenzgangs dient.

8 Als Abbildung bezeichnet man die wahrgenommene Verteilung von Schallquellen innerhalb einer durch die Stereo-Lautsprecheranordnung darstellbare Stereoabbildungsbreite bei Wiedergabe über ein elektroakustisches Stereo-Lautsprechersystem. Siehe dazu Kapitel 2.2.

2.0 Probleme

"Wir haben es ständig mit großartigen Gelegenheiten zu tun, die ganz brillant als unlösbare Probleme verkleidet sind."

John Gardner⁹

(zitiert nach <http://www.dgaqs.de/forum/20027tb2002-06.pdf>)

Im Zuge dieses Kapitels sollen zunächst grundsätzliche Betrachtungen zu den Themen "Schalldruckpegel und Frequenzgang" sowie "Realistische Abbildung und Panoramisierung" bei Beschallungsanlagen angestellt werden. Die entsprechenden Erläuterungen dazu finden sich in den Unterkapitel 2.1 sowie 2.2.

2.1 Schalldruckpegel und Frequenzgang

Einige Akustische Grundlagen sollen in Erinnerung gerufen werden, um daraus resultierende Herausforderungen und Problemstellungen bei der Realisierung von Beschallungsanlagen in Bezug auf konstante Schalldruckpegelverteilung und linearen Frequenzgang erkennbar zu machen.

2.1.1 Akustische Grundlagen

Es folgen einige zu beachtende physikalischen Eigenschaften von Schall beziehungsweise von Lautsprechern.

A Schall

Als Schall wird eine sich in einem elastischen Medium ausbreitende, mechanische Schwingung¹⁰ bezeichnet. Im Medium Luft handelt es sich um eine Schwankung um den statischen Luftdruck, der in Standardatmosphäre 1013,25 hPa beträgt. Diese Schwankung kann zwischen $20 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}$ ¹¹ und 20 Pa ¹² betragen. Dies ist ein sehr breiter Bereich, weshalb man den Schalldruck üblicherweise als Pegel, also als logarithmische Größe in Relation zu p_0 nach folgender Formel angibt:

$$L_p = 20 \log(p_1/p_0)$$
$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa (beziehungsweise N/m}^2\text{)}$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von Schall ist frequenzunabhängig, jedoch abhängig von anderen Faktoren wie Dichte des Mediums und Temperatur. Bei 20°C beträgt die Schallgeschwindigkeit 343 m/s.

Die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde wird als Frequenz, f , bezeichnet. Die Einheit lautet Hertz [Hz].

⁹ John Gardner (1717-1808), US-amerikanischer Politiker und Landwirt

¹⁰ Zur graphischen Darstellung dieser Schwingung siehe Abbildung 1-3.

¹¹ Hörschwelle bei 1kHz; 0dB

¹² 120 dB

Für jede Frequenz kann nach den folgenden Formeln eine Wellenlänge λ , sowie eine Periodendauer¹³ T ermittelt werden:

$$\lambda = c/f ; \quad [\text{m}]$$

$$T = 1/f ; \quad [\text{s}]$$

Die folgenden Darstellungen 1 und 2 zeigen die Frequenz 1000 Hz:

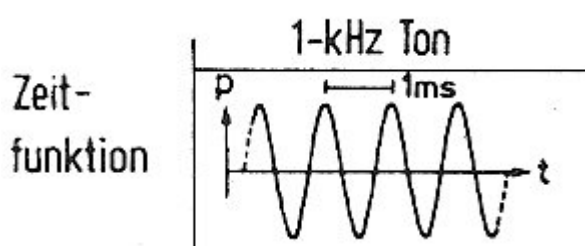


Abbildung 1

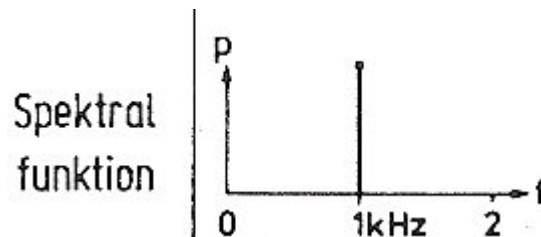


Abbildung 2
(Zwicker, 1982: Seite 18)

Abbildung 1 zeigt die Amplitude (p ; y-Achse) der Frequenz 1 kHz in Abhängigkeit von der Zeit (t ; x-Achse). Es handelt sich hier also um eine Zeitdarstellung. Die Periodendauer für eine Schwingung der Frequenz 1 kHz, also 1000 Hz, beträgt 1 ms.

Abbildung 2 zeigt die Amplitude (p , y-Achse) der Frequenz 1 kHz (f ; x-Achse) als Spektralfunktion. Es handelt sich hier also um eine Frequenzdarstellung.

Abbildung 3 zeigt den Zusammenhang zwischen einer sinusförmigen Schwingung, wie Sie bei der Erzeugung eines 1 kHz-Tones entsteht, und einer Kreisbewegung, deren Drehgeschwindigkeit ω frequenzabhängig ist. Die Formel dazu lautet:

$$\omega = 2\pi f$$

Es handelt sich dabei also um das Produkt aus einer vollen Drehbewegung, die durch den Winkel 2π definiert ist, und der Frequenz der Schwingung, welche sich demnach auch in Abhängigkeit eines Winkels darstellen lässt.

Im Zuge einer solchen Winkeldarstellung sieht man die x-Achse als Winkelachse, während die y-Achse ihre Funktion als Pegelachse beibehält. Eine einzelne Schwingung erstreckt sich damit über den Bereich 2π ¹⁴, beziehungsweise 360° .

Siehe dazu Abbildung 4.

¹³ Als Periodendauer bezeichnet man die Zeit, die eine volle Schwingung beansprucht.

¹⁴ In Abbildung 4 durch einen gelben Punkt gekennzeichnet.

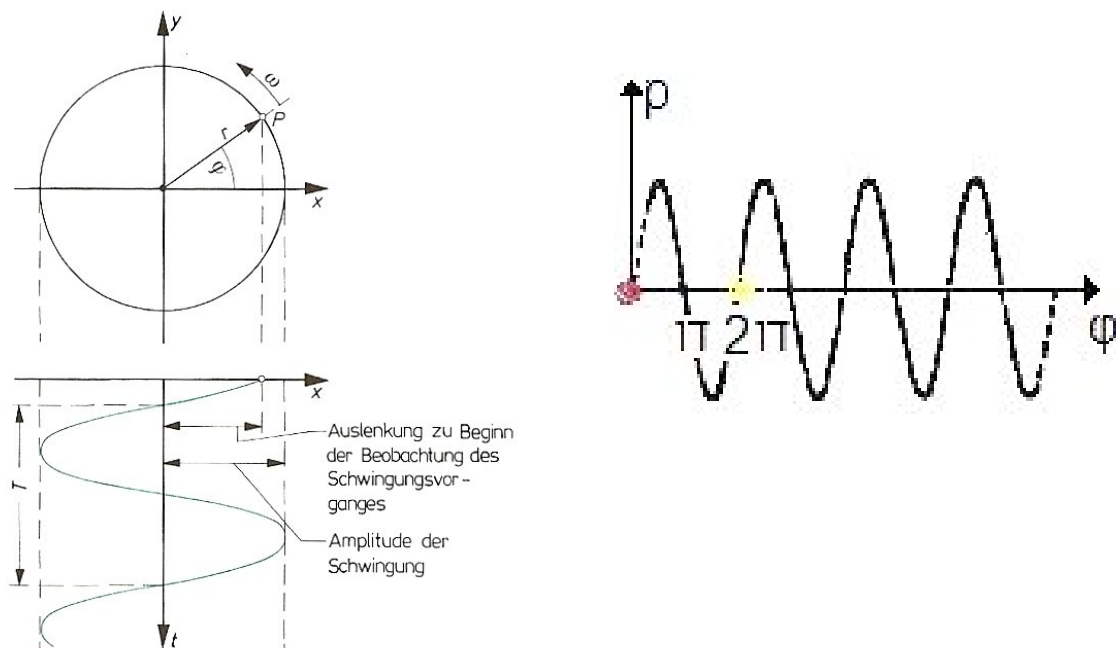


Bild 1.2. Zusammenhang zwischen Kreisbewegung und harmonischer (sinusförmiger) Schwingung

Abbildung 3
(Veit, 2005: Seite 15)

Abbildung 4

Beginnt eine sinusförmige Schwingung am Ursprung, also am Koordinatenpunkt $(0|0)$ ¹⁵, nicht bei der Amplitude 0 um zunächst in den positiven Bereich auszulenken, liegt eine Phasenverschiebung vor. Diese wird als Winkelangabe φ gekennzeichnet.

Liegt beispielsweise eine Phasenverschiebung $\varphi = 180^\circ$ beziehungsweise $\varphi = 1\pi$ vor, beträgt die Amplitude am Ursprung zwar auch 0 dB, doch neigt sich die Schwingung zunächst in den negativen Bereich. Die noch folgenden Abbildungen 8 und 9 zeigen eine graphische Darstellung dieser Bewegungen. Der Auslenkungszustand einer Schwingung zu einem Zeitpunkt beziehungsweise an einem bestimmten Winkel kann demnach durch Angabe der Phasenlage gekennzeichnet werden.

B Kugelschallwellen und Zylinderschallwellen

Konventionelle Lautsprecher strahlen Schall in Form von Kugelschallwellen, also in alle Richtungen¹⁶ ab. Der Schalldruckpegel einer Kugelschallwelle nimmt aufgrund der mit der Distanz zum Kugelmittelpunkt wachsenden Kugeloberfläche¹⁷ mit Entfernungsverdoppelung um 6 dB ab.

Die folgende Tabelle soll zunächst den Zusammenhang zwischen Entfernung vom Ort der Schallerzeugung, also dem Lautsprecher, und entsprechendem Pegelabfall veranschaulichen.¹⁸

¹⁵ In Abbildung 4 durch einen roten Punkt gekennzeichnet.

¹⁶ Dies jedoch frequenzabhängig, wie in weiterer Folge auch anhand der Abbildungen 5 und 6 ersichtlich wird.

¹⁷ $A = 4\pi r^2$

¹⁸ Weitere dieser Tabelle zu entnehmende Zusammenhänge werden anhand der Informationen des folgenden Unterkapitels 2.1.1 C verdeutlicht.

<u>Entfernung</u> vom Ort der Schallerzeugung in [m]	<u>Pegelabfall</u> in Bezug auf den Ort der Schallerzeugung in [dB]
1	0
2	6
3	10
5	14
10 (= 2 x 5)	20 (= 6 + 14)
...	...

Tabelle 1¹⁹

Es stellt sich allerdings heraus, dass dieser Pegelabfall bei Schallwiedergabe über einen Lautsprecher nicht für alle Frequenzen in alle Richtungen gleichermaßen stattfindet. Die physikalischen Abmessungen des Lautsprechers beeinflussen die Schallausbreitung:

Für Frequenzen, deren Wellenlängen groß²⁰ im Verhältnis zu den Abmessungen des Lautsprechers sind, stellt der Lautsprecher kein Hindernis dar. Sie werden daher kugelförmig, also auch nach hinten abgestrahlt.

Frequenzen, deren Wellenlängen jedoch klein im Verhältnis zu den Abmessungen des Lautsprechers sind, werden durch den Lautsprecher abgeschattet. Sie können sich daher, je nach Relation der Wellenlänge zur Lautsprechergröße, möglicherweise lediglich nach vorne ausbreiten.

Wäre es möglich, einen Lautsprecher unendlich kleiner Größe zu realisieren, stellten sich dieses Problem der frequenzabhängigen Abstrahlcharakteristik nicht.

Das Abstrahlverhalten eines Lautsprechers kann jedoch durch verschiedene Baumaßnahmen beeinflusst werden. Setzt man dem Treiber des Lautsprechers beispielsweise einen Trichter in Form eines Horns voran, kann die Abstrahlenergie des Lautsprechers in die Richtung der Hornöffnung gebündelt werden. Der Lautsprecher strahlt dann mit größerer Direktivität in die gewünschte Richtung.

Gelingt diese Erhöhung der Direktivität in annähernd gleichem Maße für einen Großteil des wiederzugebenden Frequenzbereiches, wird diese Eigenschaft als *constant directivity* bezeichnet. Besonders für tiefe Frequenzen ist eine solches Abstrahlverhalten jedoch aufgrund der großen Wellenlängen sehr schwer zu realisieren. Wie bereits angedeutet, müsste der Lautsprecher groß im Verhältnis zur Wellenlänge sein, um eine Richtwirkung für die entsprechende Frequenz zu erzeugen.

Die aus den physikalischen Bedingungen beziehungsweise baulichen Maßnahmen resultierende Abstrahlcharakteristik und die damit verbundene vertikale und horizontale Richtwirkung eines Lautsprechers kann einerseits anhand von so genannten Isobaren-Diagrammen, andererseits anhand eines so genannten Polardiagramms für eine bestimmte Frequenz dargestellt werden. Zumindest eine dieser beiden Diagrammart findet sich üblicherweise im Datenblatt des entsprechenden Lautsprechermodells.

¹⁹ Die Pegelwerte der Tabelle 1 können zudem mit Hilfe der Formel $Pegelabfall [dB] = 6 \cdot \lg Entfernung [m]$. (Emil Lubej im Gespräch am 6.1.2009)

²⁰ Für $\lambda \geq$ Abmessungen des Lautsprechers.

Abbildung 5 zeigt als Beispiel das Isobaren-Diagramm eines Lautsprechers des Modells d&b C4.

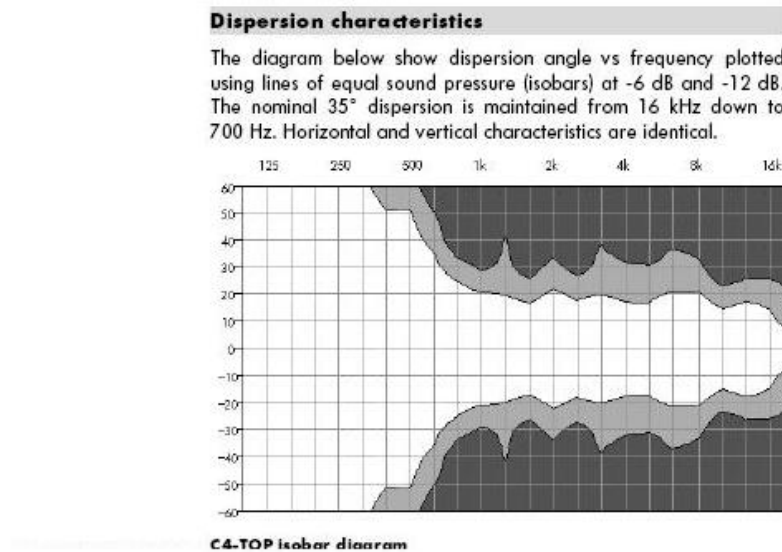


Abbildung 5
(C4 Top Manual, Seite 6)

Die dargestellten Linien verbinden Punkte gleichen Schalldruckpegels, wobei die grau markierten Bereiche einen Abfall um 6 dB beziehungsweise 12 dB in Relation zur 0-Achse kennzeichnen. Es lässt sich dieser Abbildung beispielsweise entnehmen, dass im Winkel von 30° bei 4 kHz ein Pegelabfall um gut 6 dB stattfindet. Die folgende Abbildung 6 zeigt als Beispiel das Polardiagramm eines Lautsprechers des Modells JBL 2360.

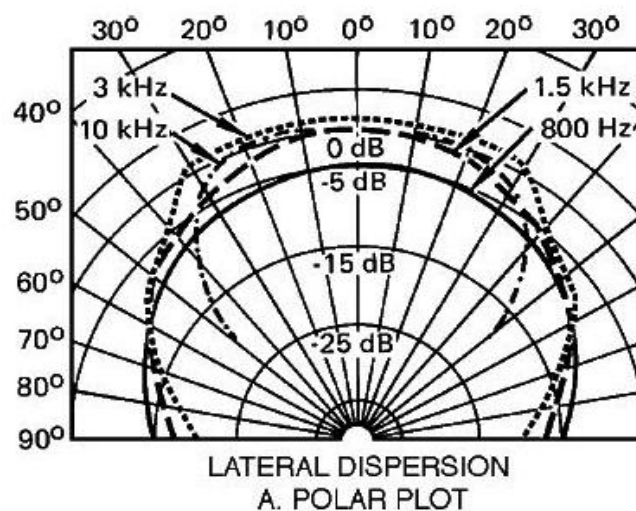


Abbildung 6
(JBL Sound Design Reference Manual, Seite 25)

Es lässt sich dieser Abbildung beispielsweise entnehmen, dass der Schalldruckpegel im Winkel von 40° bei 1500 Hz um gute 5 dB kleiner ist als der bei derselben Frequenz abgestrahlte Pegel an der 0-Achse.

Ein so genannter Nennabstrahlwinkel zur Kennzeichnung der Richtwirkung sowohl horizontaler als auch vertikaler Ebene wird ebenfalls dem Datenblatt zu entnehmen sein. Diese Angabe kennzeichnet den Winkel in Bezug zur jeweiligen 0-Achse, an dem der Pegel um 6 dB gegenüber der Abstrahlung auf der jeweiligen 0-Achse abfällt. Dieser Winkel kann zum Beispiel im Falle des Lautsprechermodells d&b C4 $35^\circ \times 35^\circ$, beziehungsweise 70° betragen. Der abgestrahlte Pegel fällt also an einem Winkel von $\pm 35^\circ$ zur 0-Achse um 6 dB ab.

So genannte *Line Arrays* sind durch besondere Konstruktionsmaßnahmen in der Lage, Schall in Form von Zylinderwellen abzustrahlen. Im Falle dieser Form der Schallausbreitung tritt bei Distanzverdopplung ein Pegelverlust von lediglich 3 dB auf. Aufgrund der physikalischen Bedingungen und abhängig von den Abmessungen des *arrays* gelingt die Herstellung von Zylinderwellen jedoch nur für einen gewissen Frequenzbereich. Zudem bricht die Zylinderwelle ab einer frequenzabhängigen, so genannten *border distance* vom Lautsprecher wieder in eine Kugelwelle auf.

Welche Probleme die Verwendung von *Line Arrays* daher mit sich bringt, wird in Kapitel 2.1.2 erläutert.

Ein weiterer Faktor, der den Schalldruckpegel mit der Distanz schwächt, ergibt sich durch Dämpfung des Schalls durch Luftmoleküle, auch *Dissipation* genannt. Diese wirkt sich aufgrund der Relation von Molekülgröße und Wellenlänge vor allem für hohe Frequenzen aus.²¹

So beträgt die zusätzliche Dämpfung durch Dissipation pro 100 m für die Frequenz 2 kHz beispielsweise 1 dB.

Es gilt dabei jedoch zu beachten, dass dieser zusätzliche Pegelabfall bei trockener Luft für hohe Frequenzen stärker zu tragen kommt als bei höherer relativer Luftfeuchte.

C Kohärente und inkohärente Signale

Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass Schallquellen weitgehend inkohärente Signale, also Signale, deren Phasenlage, Pegel und Frequenzzusammensetzung nicht exakt übereinstimmen, abstrahlen.

Wie in weiterer Folge auch anhand der Abbildungen 8 und 9 für einzelne Sinus-Schwingungen veranschaulicht werden soll, tritt bei Abstrahlung von gleichen Signalen bei gleicher Phasenlage eine Verstärkung auf. Weisen die Signale jedoch eine unterschiedliche Phasenlage, also auch eine gewisse Laufzeitdifferenz auf, kann es, je nach Grad des Unterschiedes, sogar zu einer vollständigen Auslöschung kommen.

Im Falle der Überlagerung von so komplexen Signalen wie Musik entsteht durch eine Phasenlagendifferenz im resultierenden Frequenzgang der Signalüberlagerung eine

²¹ Entsprechende Tabellen können in der Fachliteratur gefunden werden.

Pegelerhöhung bei jenen Frequenzen, deren Wellenlänge ein Vielfaches der entsprechenden Laufzeitdifferenz entspricht. Frequenzen dazwischen werden abhängig von der Relation ihrer Wellenlänge zur bestehenden Laufzeitdifferenz mehr oder weniger ausgelöscht. Dieser Erscheinung wird als Kammfiltereffekt bezeichnet.

Die folgende Abbildung 7 soll dies verdeutlichen:

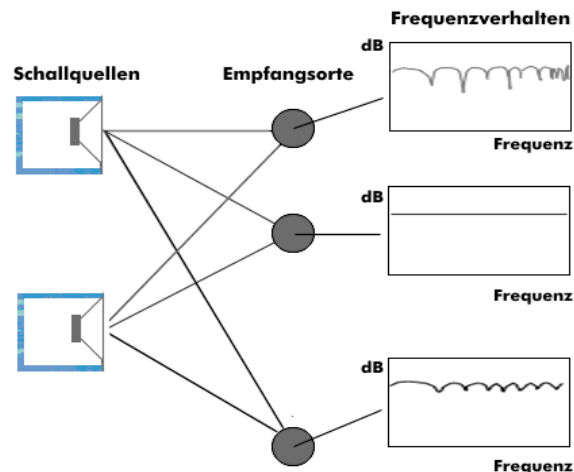


Abbildung 7

(<http://www.itwissen.info/bilder/auspraegung-des-kammfiltereffekts-bei-verschiedenen-standorten.png>)

Im Falle einer solchen inkohärenten Signalabstrahlung über zwei Lautsprecher erhöht sich der resultierende Schalldruckpegel gegenüber der Abstrahlung eines einzelnen Lautsprechers um 3 dB.

Dieselbe Pegelerhöhung ergibt sich bei Abstrahlung eines Signals über einen einzelnen Lautsprecher, dessen Eingangsleistung verdoppelt wird.

Die folgende Tabelle 2 veranschaulicht den Pegelgewinn durch wahlweise Abstrahlung inkohärenter Signale über mehrere Lautsprecher oder Erhöhung der elektrischen Eingangsleistung eines einzigen Lautsprechers.

Die linke Spalte gibt Auskunft über die Anzahl der Wiedergabelautsprecher, beziehungsweise über den Faktor, um den die elektrische Eingangsleistung bei Wiedergabe über einen Lautsprecher erhöht werden müsste um eine Pegelerhöhung zu erzielen, wie sie in der entsprechenden rechten Spalte in [dB] angeführt ist.

<u>Anzahl der Wiedergabelautsprecher</u> eines inkohärenten Signals	<u>Pegelgewinn</u> in [dB]
beziehungsweise	
<u>Faktor der Erhöhung der elektrischen Eingangsleistung</u> eines Lautsprechers	<u>Pegelgewinn</u> in [dB]
1	0
2	3
3	5
5	7

Tabelle 2

Strahlen zwei Lautsprecher, wie es in seltenen Anwendungen der Fall ist, jedoch kohärente Signale ab, also jeweils das gleiche Signal mit gleicher Amplitude und gleicher Phasenlage, und erweisen sich die Abmessungen dieser Lautsprecher beziehungsweise deren Abstand zueinander als klein im Verhältnis zur Wellenlänge des wiedergegebenen Signals, so ergibt sich durch die Erweiterung des Systems um einen Lautsprecher ein Pegelgewinn von 6 dB.

Die folgende Abbildung 8 veranschaulicht diesen Pegelgewinn:

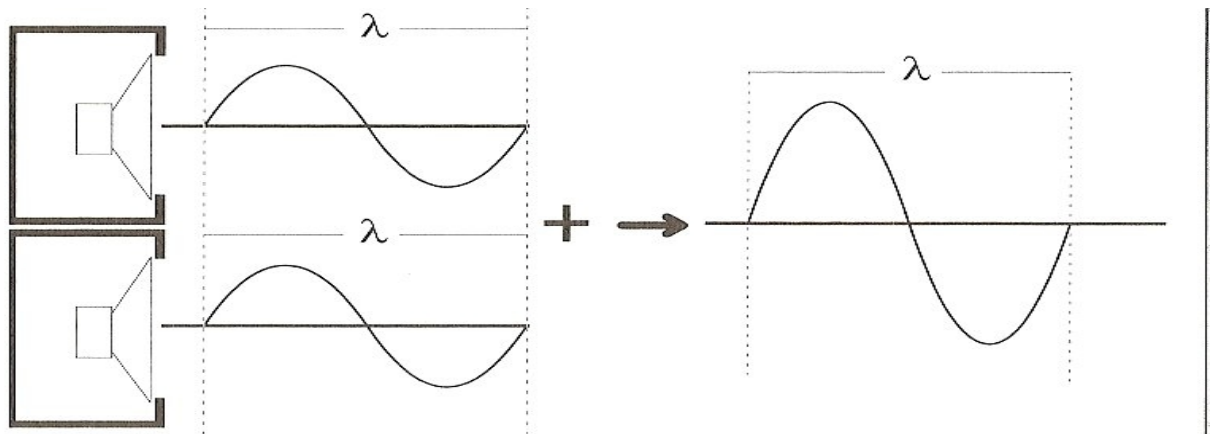


Abbildung 8
(Pieper, 2001: Seite 28)

Die Verhältnisse zwischen Anzahl der Wiedergabelautsprecher und damit einhergehendem Pegelgewinn können anhand der in Kapitel 2.1.1 B dargestellten Tabelle 1 abgelesen werden, sofern man die Angaben der linken Spalte als Anzahl der Wiedergabelautsprecher anstatt einer Entfernungsangabe in [m] erkennt.

Strahlt einer der beiden Lautsprecher das gleiche Signal jedoch gegenphasig ab, also um 180° gedreht in Relation zu dem vom anderen Lautsprecher abgestrahlten Signal, ergibt sich durch Überlagerung eine Auslöschung:

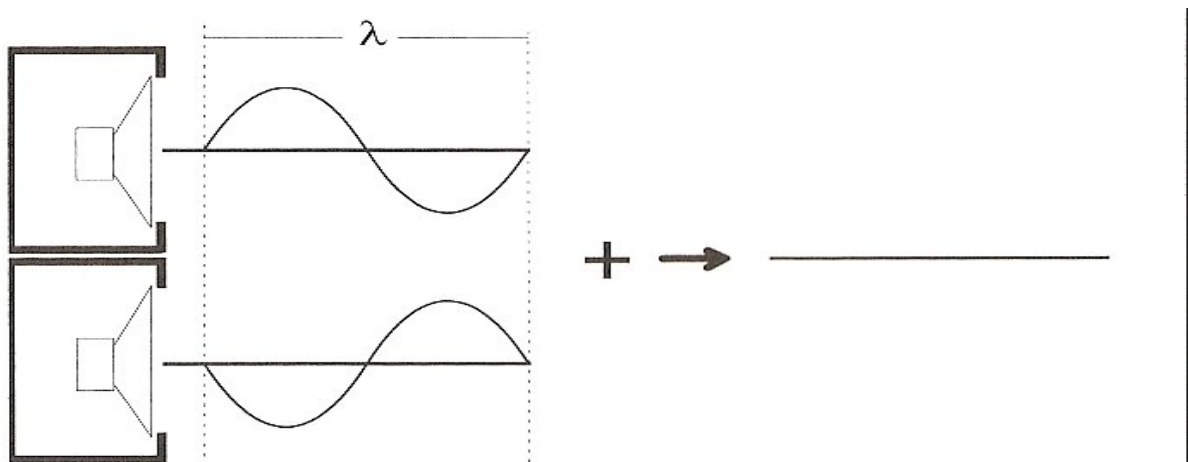


Abbildung 9
(Pieper, 2001: Seite 31)

D Crest-Faktor

Als Crestfaktor (C), beziehungsweise Scheitelwert, bezeichnet man das Verhältnis von Spitzenwert ($U_{\max}$) einer Wechselgröße zu seinem Effektivwert (U_{eff}).

Die Zusammenhänge sollen anhand der folgenden Formeln, sowie der Abbildung 10 veranschaulicht werden:

$$U_{\text{eff}} = U_{\max} / \sqrt{2}$$
$$C = U_{\max} / U_{\text{eff}}$$

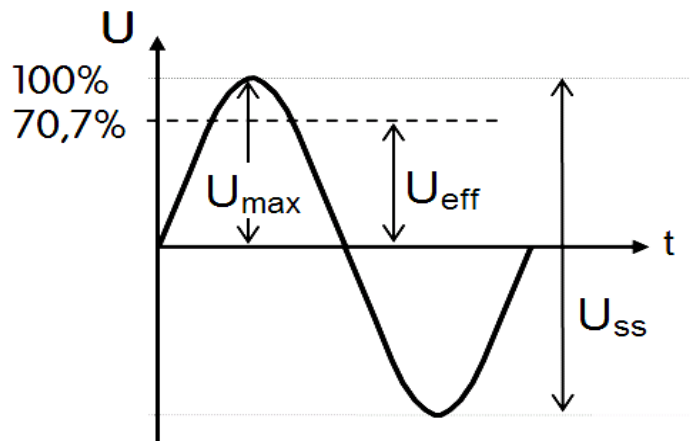


Abbildung 10
(<http://www.dj4uf.de/lehrg/e02/bild2-11a.gif>)

Eine Rolle spielt dieser Faktor bei der Dimensionierung von Beschallungssystemen, zumal jedem wiederzugebenden Signal ein bestimmter *Crest-Faktor* zu Eigen ist:

SIGNALART	CREST-FAKTOR
Sinus	1,41
Dreieck	1,73
Rechteck	1
Sägezahn	1,73

Tabelle 3

Die Leistungsangaben eines Verstärkers umfassen wiederum sowohl eine (kurzfristig) maximal zu erreichende Leistung als auch eine längerfristig zu erhaltende Leistung, auch Arbeitspegel genannt. Auch in diesem Fall wird das Verhältnis dieser beiden Faktoren als *Crest-Faktor* angegeben.

Das von einer Tonanlage wiederzugebende Signal sollte demnach keinen höheren *Crest-Faktor* aufweisen, als vom System getragen werden kann.

Bei Sprach- und Musiksignalen handelt es sich zwar um komplexe Signale, doch kann auch hierfür ein *Crest* - Faktor ermittelt werden.

In der Literatur finden sich folgende Werte, beziehungsweise bei der Dimensionierung von Systemen folgende zu berücksichtigende Pegel:

MUSIK	5^{22} auch höher als 10 bei großer Dynamik ²³ beziehungsweise 12 dB ²⁴ 13 dB ²⁵
SPRACHE	$4-10^{26}$

Tabelle 4

Ein *Crest-Faktor* im Wert von 5 bedeutet, dass der Pegel für Signalspitzen bis zu 5 mal höher sein kann als der Effektivwert des selben Signals.

Es zeigt sich eine große Varianz bei den Angaben zu Musiksignalen, die wohl folgendermaßen begründet werden kann:

"Sprache und Musik werden - auch wenn sie abschnittsweise Ähnlichkeit mit deterministischen Signalen haben können (...), in der Signaltheorie als stochastische Signale betrachtet, da sich ihr Verlauf nicht mathematisch vorhersagen lässt. Wie Rauschsignale können sie dabei sehr unterschiedliche Scheitelfaktoren aufweisen."

(Weinzierl, 2008: Seite 12)

In Bezug auf Musiksignale lässt sich anhand der hier angestellten Betrachtungen feststellen, dass die Art und Weise der Mischung den Wert des *Crest-Faktors* erheblich beeinträchtigen kann. Bei großzügigem Einsatz von Kompressoren und Limitern wird dieser Faktor geringer ausfallen, als bei einer Mischung (desselben Signals), die gänzlich auf diese Komponenten verzichtet. Grundsätzlich kann an dieser Stelle festgehalten werden, dass klassische Musik in der Regel einen höheren Dynamikumfang aufweist, als Populärmusik.

E *Open-air*-Faktoren

Während die bisher im Zuge dieser Arbeit beschriebenen Faktoren als allgemein gültig betrachtet werden können, sollen anhand dieses Abschnitts Umstände zur Sprache kommen, die besonders bei *open-air*-Situationen das Ergebnis der Beschallung beeinflussen können.

Trifft eine Schallwelle im Zuge ihrer Ausbreitung in relativ kalten Luftschichten auf eine relativ warme Luftschicht, wird die Schallwelle nach oben abgelenkt. Dies geschieht aufgrund der Temperaturabhängigkeit der Schallgeschwindigkeit²⁷. Abbildung 11 verdeutlicht diesen Umstand, der sich aufgrund stärker gebündelter Abstrahlung hoher Frequenzen durch den Lautsprecher vor allem in eben diesem Frequenzbereich bemerkbar macht.

22 <http://www.hifi-forum.de/viewthread-42-71.html>

23 Weinzierl, 2008: Seite 12

24 Siehe dazu Abschnitt 2.1.2.

25 Für das Instrument Trompete. *JBL Sound System Design Reference Manual*, Seite 22

26 Weinzierl, 2008: Seite 12

27 Bei Temperaturzunahme steigt auch die Schallgeschwindigkeit.

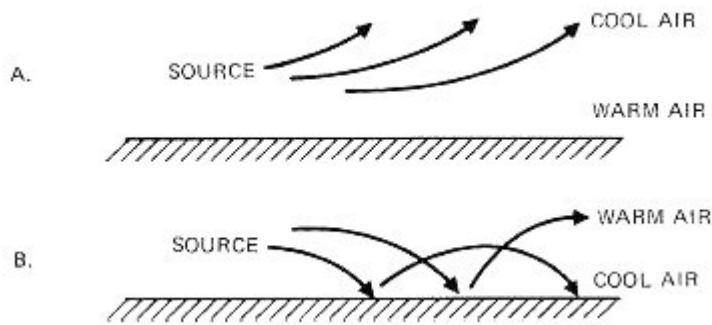


Abbildung 11
(JBL Sound System Design Reference Manual, Seite 12)

Schall, der gegen die Windrichtung abgestrahlt wird, wird nach oben abgelenkt. Schall, der in Windrichtung abgestrahlt wird, wird nach unten abgelenkt. Abbildung 12 soll diesen Effekt veranschaulichen, der sich ebenfalls vor allem für den hohen Frequenzbereich bemerkbar macht.

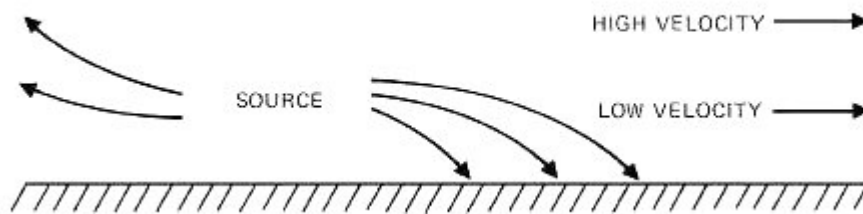


Abbildung 12
(JBL Sound System Design Reference Manual, Seite 12)

F Absorption und Reflexion

Trifft Schall auf einen Gegenstand oder eine Fläche, deren Abmessung groß im Verhältnis zur Wellenlänge der auftreffenden Frequenz ist, wird der Schall reflektiert.²⁸ Im Falle des Auftreffens auf eine glatte Oberfläche findet eine gespiegelte Reflexion, im Falle des Auftreffens auf eine raue Oberfläche eine diffuse Reflexion statt:

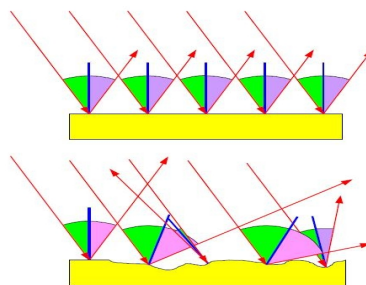


Abbildung 13
(http://www.educa.ch/tools/68965/files/Reflexion_Lr.pdf)

²⁸ Trifft Schall auf einen Gegenstand, dessen Abmessungen im Bereich der Wellenlänge der auftreffenden Frequenz liegen, findet eine Beugung des Schalls um diesen Gegenstand statt. Die ursprüngliche Ausbreitungsrichtung der Schallwelle wird so verändert. Sind die Abmessungen des Gegenstandes kleiner als die Wellenlänge der auftreffenden Schallwelle, findet keine Beeinflussung der Schallwelle beziehungsweise deren Ausbreitung statt.

Abhängig von Größe und Beschaffenheit einer Fläche oder eines Gegenstandes kann bei Auftreffen einer Schallwelle auch eine Absorption stattfinden. So absorbieren weiche, verformbare und poröse Gegenstände und Flächen einen höheren Schallanteil als Gegenstände und Flächen, die weniger weich, verformbar und porös sind.

Gegenstände und Flächen größerer Abmessung absorbieren tiefere Frequenzen als solche kleinerer Abmessung.

Bei der Konzeption einer Beschallungsanlage für große Plätze sollte berücksichtigt werden, dass auch Menschen Schall absorbieren. Durch die Anwesenheit von Publikum wird demnach Schall, der ansonsten abhängig von der Beschaffenheit des Bodens von selbigem mehr oder weniger stark reflektiert wird, absorbiert.

Durch die Absorption des Publikums und dem damit einhergehenden Verlust der Reflexionsfläche am schallharten Boden²⁹ ergibt sich meist ein Pegelabfall bei höheren Frequenzen.

Ein weiterer Faktor, den es im Zusammenhang mit diesem Abschnitt zu berücksichtigen gilt, ist das Verhältnis zwischen Direkt- und Diffusschall. Als Diffusschall, beziehungsweise Nachhallzeit wird jener Schallanteil am Ort des Hörers bezeichnet, der sich aufgrund von Reflexionen, wie sie beispielsweise an Raumbegrenzungsflächen entstehen, bildet.

Nach dem Akustiker Sabine³⁰ ist die Nachhallzeit als jener Zeitabschnitt definiert, innerhalb welchem nach Abschalten einer Schallquelle der Schalldruckpegel in einem Raum um 60 dB abnimmt.

Die folgende Abbildung 14 soll die Verhältnisse verdeutlichen:

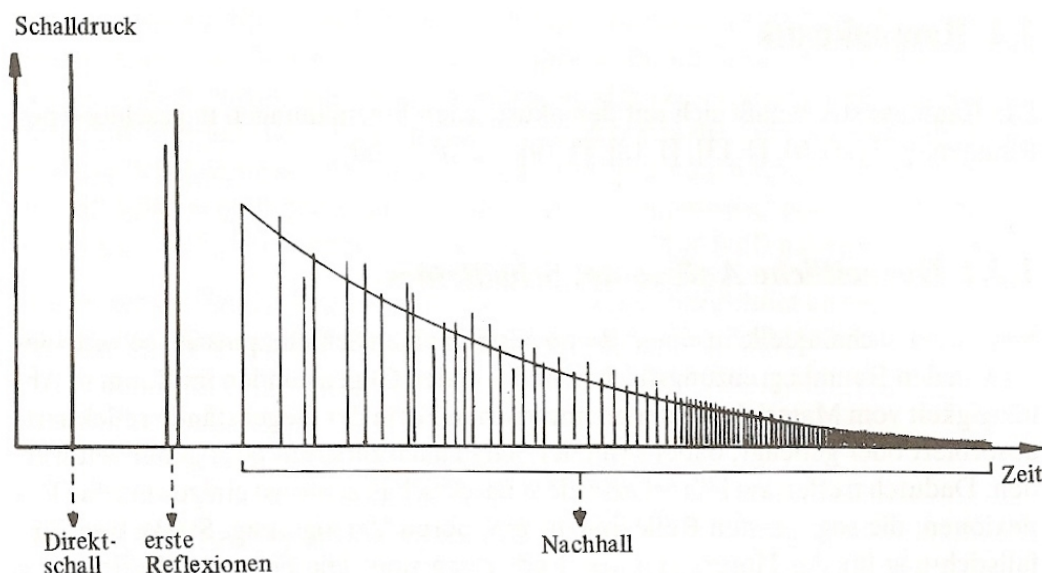


Abbildung 14
(Dickreiter I, 1997: Seite 26)

²⁹ Falls es sich beispielsweise um eine Betonfläche handeln sollte. Im Falle einer Rasenfläche ergibt sich, wie aus den vorangegangenen Erörterungen gefolgert werden kann, kein so deutlicher Absorptionseffekt.

³⁰ Wallace Clement Sabine, 1868-1919.

Ist man bemüht, dem Publikum ein klares Klangbild zu verschaffen, ist es in manchen Fällen notwendig, mit Hilfe einer Beschallungsanlage den Direktschallanteil zu erhöhen.

Die folgende Abbildung 15 soll die Verhältnisse verdeutlichen:

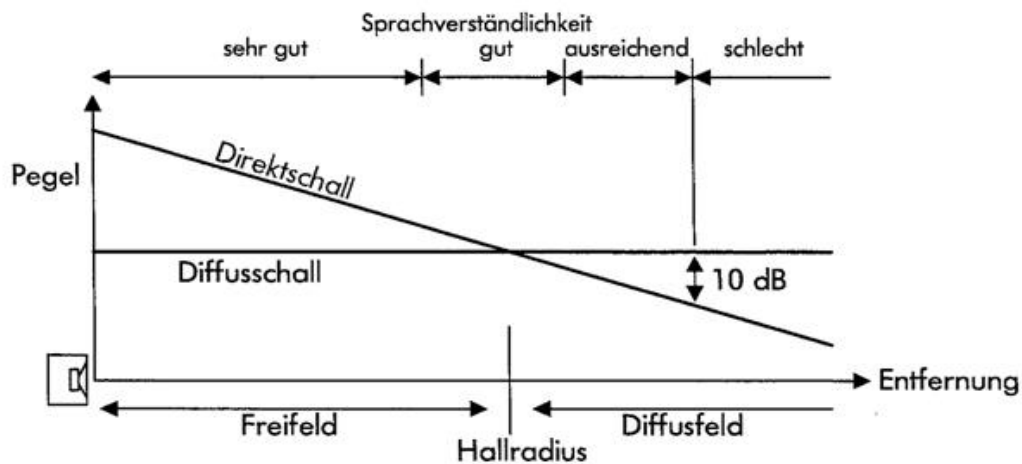


Abbildung 15
(Grundzüge der Akustik und Beschallung, Seite 15)

Anhand dieser Abbildung lässt sich erkennen, dass die Sprachverständlichkeit ab einem Diffusschallanteil von 10 dB über Direktschall nicht mehr gegeben ist.

Der in Abbildung 15 dargestellte Hallradius bezeichnet den Abstand von der Schallquelle, an welchem Diffus- und Direktschallanteil gleich groß sind.

Dieser Hallradius r_H eines Raumes lässt sich anhand der folgenden Formel³¹ ermitteln:

$$r_H = 0,057 \cdot \sqrt{(V/T)}$$

V Volumen des Raumes in [m³]

T Nachhallzeit in [s]

Diese Formel gilt allerdings lediglich für gleichartige Schallabstrahlung der Quelle in alle Richtungen. Dies ist jedoch, wie bereits in Kapitel 2.1.1 B für Lautsprecher dargestellt, selten der Fall. Ein so genannter *effektiver Hallradius* unter der Berücksichtigung einer frequenzabhängig gebündelten Schallabstrahlung kann mit Hilfe der folgenden Formel³² ermittelt werden:

$$r_H = 0,057 \cdot \sqrt{\gamma} \cdot \sqrt{(V/T)}$$

γ Bündelungsgrad der Schallquelle (dimensionslos)

³¹ Dickreiter I, 1997: Seite 36

³² Dickreiter I, 1997: Seite 37

2.1.2 Lautsprecheraufstellung bei konventioneller Stereobeschallung

Unter Berücksichtigung der soeben dargestellten physikalischen Begebenheiten und der im Zuge des Kapitel 1 dargestellten Ziele gilt es bei der Konzeption der Lautsprecheraufstellung für Stereo-Beschallungen hinsichtlich konstanter Schallpegelverteilung folgende Parameter zu beachten:

- zu erreichender Schalldruckpegel
- Größe des zu beschallenden Bereiches

Die folgende Abbildung 16 zeigt die schematische Darstellung einer konventionellen Stereobeschallung, wie sie zwar des Öfteren vorgefunden wird, sich jedoch keineswegs als völlig unproblematisch erweist:

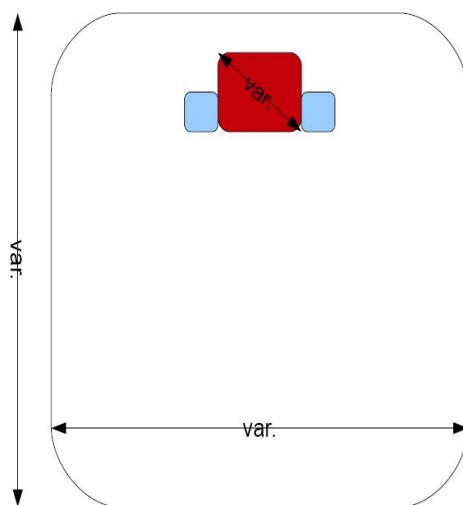


Abbildung 16

Die Position der Lautsprecher für die Wiedergabe einer Stereomischung kann zumeist links und rechts neben einer Bühne³³, deren Position und Abmessungen variieren, vorgefunden werden.

Der zu beschallende Bereich variiert ebenfalls in Größe und Beschaffenheit. Im Fall des folgenden Beispiels zur konventionellen Stereobeschallung eines Konzertes sei jedoch eine zu beschallende Fläche von 15 m Breite und 20 m Länge angenommen.

Es ist nötig, Informationen über die örtlichen Begebenheiten wie Position und Maße der Bühne, sowie gegebenenfalls Informationen über besondere Umstände wie Bühnenbildvorgaben oder Ähnliches einzuholen. Lautsprecherpositionen erweisen sich damit möglicherweise bereits als vorgegeben und kaum veränderbar.

A Zu erreichender Schalldruckpegel

Für die Beschallung eines Konzertes könnte beispielsweise ein zu erreichender Schalldruckpegel von 100 dB an einem 20 m vom Lautsprechersystem entfernten Punkt angenommen werden.

³³ Die Positionierung neben der Bühne erfolgt aus Gründen, die in Kapitel 2.2.2 näher erläutert werden. Sie ist auch in allen folgenden schematischen Darstellungen blau markiert, während der Bühnenbereich durch rote Farbgebung gekennzeichnet ist.

Der von den Lautsprechern zu erzeugende Schalldruckpegel SPL_n für Musiksignale lässt sich näherungsweise anhand der folgenden Formel³⁴ ermitteln:

$$SPL_n = SPL_x + y + 12 \text{ dB} - 3 \text{ dB}$$

SPL_n	Vom Lautsprecher zu erzeugender Schalldruckpegel (im Abstand von einem Meter vor dem Lautsprecher)
SPL_x	geforderter Schalldruckpegel
y	Pegelfall zwischen Ort der Schallerzeugung und dem Ort, an dem SPL_x erreicht werden soll

Unter Zuhilfenahme der in Kapitel 2.1.1 B angeführten Tabelle 1 lässt sich für den Abstand von 20m (=2m x 2m x 5m) ein Pegelfall von 26 dB (= 6dB + 6 dB +14 dB) ermitteln.

Die in der oben beschriebenen Formel angeführten +12 dB ergeben sich aus dem angenommen Verhältnis von Spitzen- und Mittelwert bei Musiksignalen.³⁵

Die angegebenen -3 dB ergeben sich durch die Überlagerung inkohärenter Schallsignale von linker und rechter Lautsprecherseite.

Der von den Lautsprechern in einem Meter Abstand zu erzeugende Schalldruckpegel SPL_n beläuft sich in diesem Beispiel also auf 135 dB.

Stünden die Lautsprecher "auf Ohrhöhe" und damit in direkter Abstrahlung zum Publikum, könnten die Zuhörer der ersten Reihe die musikalische Darbietung unter Umständen nur mäßig genießen. Es lässt sich anhand der folgenden Abbildung 17 erkennen, dass ein solcher Schalldruckpegel von 135 dB als schmerzhaft empfunden wird.

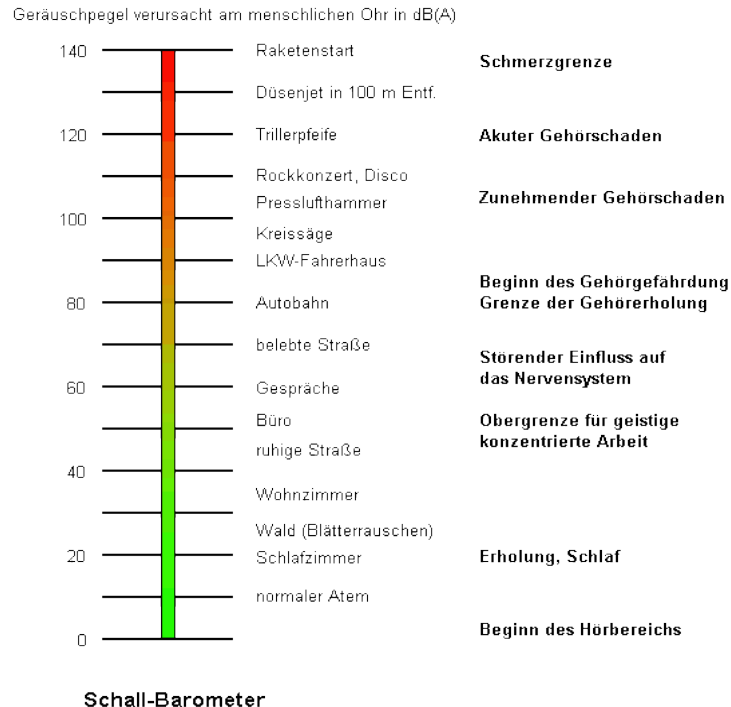


Abbildung 17

(<http://www.schroederundlange.de/images/barometer.gif>)

³⁴ Grundzüge der Akustik und Beschallung, Seite 16

³⁵ Siehe dazu auch Kapitel 2.1.1 D.

Es gilt zudem im Sinne einer gleichmäßigen Schallpegelverteilung als wenig akzeptabel, eine Schallpegeldifferenz von 26 dB zwischen der ersten Reihe des Publikums und dem Publikum im Abstand von 20 m zu erzeugen. Eine mögliche Gegenmaßnahme, wie sie in Kapitel 3 noch nähere Erläuterung findet, ist eine erhöhte Anbringung der Lautsprecher.

B Erhöhte Anbringung der Lautsprecher

Durch eine solche Vorgehensweise kann es passieren, dass zwar der hintere Bereich der zu beschallenden Fläche abgedeckt wird, der Bereich der vordersten Publikumsreihen jedoch vernachlässigt wird. In der folgenden Abbildung 18 soll dieser Umstand schematisch dargestellt werden:

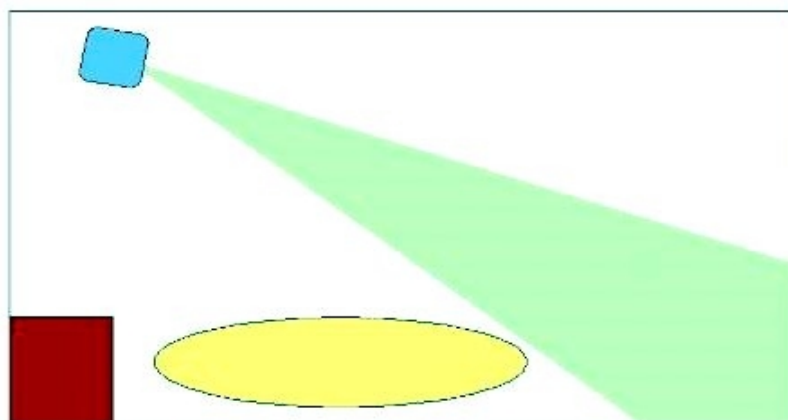


Abbildung 18

Bei dieser Darstellung handelt es sich um die Seitenansicht einer Bühne (roter Bereich). Der blau gekennzeichnete Bereich stellt einen Lautsprecher dar, dessen vertikale Abstrahlcharakteristik durch den grün markierten Bereich gekennzeichnet werden soll. Es zeigt sich, dass der vordere Publikumsbereich (gelbe Markierung) nicht ausreichend erfasst wird. Mögliche Verbesserungen dazu werden in Kapitel 3 erläutert.

Welche Problematik diese erhöhte Anbringung der Lautsprecher in Bezug auf das Erzeugen einer realistischen Abbildung mit sich bringt, soll durch Kapitel 2.2 verdeutlicht werden.

C Kombination von Lautsprechern

Das Aufstellen zusätzlicher Lautsprecher, wie in Kapitel 3 näher beschrieben, kann sowohl in Bezug auf gleichmäßige Schallpegelverteilung, als auch in Bezug auf die Erzeugung einer realistischen Abbildung Abhilfe schaffen. Diese Maßnahme führt jedoch auch dazu, dass Lautsprecher sich in ihrem Abstrahlverhalten überschneiden und damit Kammfiltereffekte hörbar werden könnten.

Derselbe Effekt könnte in folgenden Fällen, die eine Kombination mehrerer Lautsprecher erfordern, eintreten:

- Erzeugung des erforderlichen Schalldruckpegels
- Abdeckung eines breiteren Bereiches als aufgrund der horizontalen beziehungsweise vertikalen Richtwirkung des verwendeten Lautsprechers durch einen einzigen solchen abgedeckt werden kann³⁶

Die folgenden Abbildungen verdeutlichen die aus der Kombination von Lautsprechern resultierende Problematik:

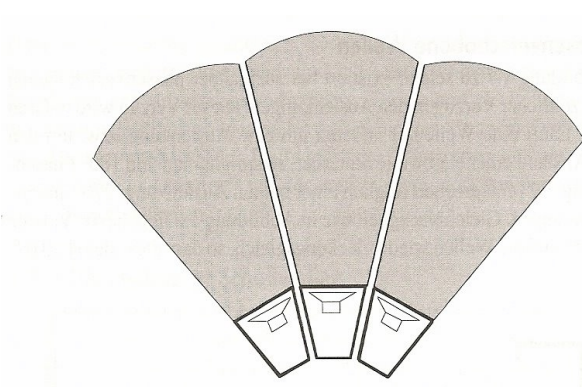


Abbildung 19

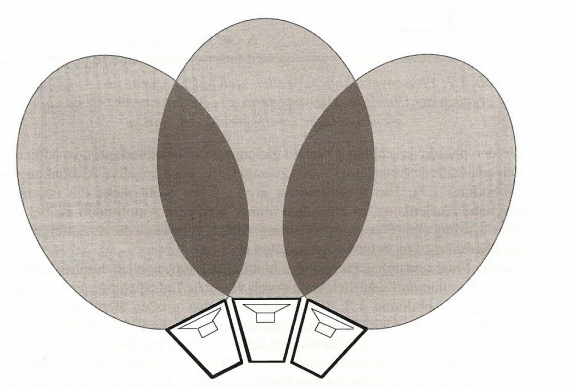


Abbildung 20
(Pieper, 2001: Seite 30)

Abbildung 19 zeigt das ideale Richtverhalten von Lautsprechern. In einem solchen Fall entstünden an den Übergangsbereichen keine Kammfiltereffekte. Abbildung 20 zeigt hingegen die realen Verhältnisse aufgrund der frequenzabhängigen Richtwirkung von Lautsprechern.

Die folgende schematische Darstellung zeigt den Einsatz einer Lautsprecherkombination zum Zwecke der Abdeckung eines breiteren Bereiches als aufgrund der horizontalen Richtwirkung eines einzelnen Lautsprechers erreicht werden kann. Eine solche Anordnung kann als *outfill* bezeichnet werden.

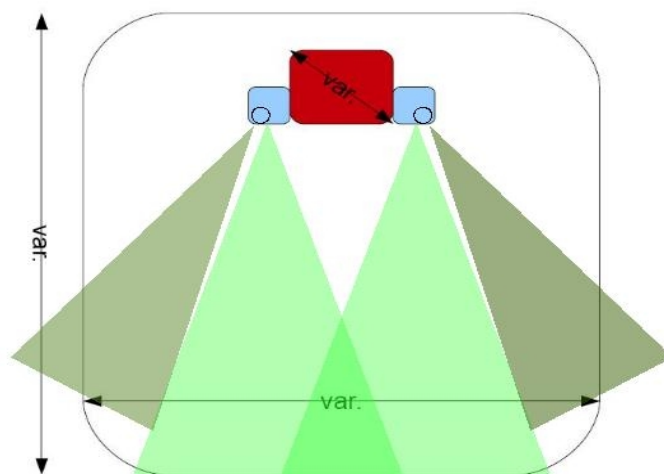


Abbildung 21

³⁶ Siehe dazu Abbildung 21.

D "Mittenloch"

Ein weiterer Faktor, der möglicherweise den Einsatz zusätzlicher Lautsprecher erforderlich macht, ist der Umstand, dass in einem mittleren Bereich der zu beschallenden Fläche, der weder durch die rechte, noch durch linke Lautsprecherseite abgedeckt wird³⁷, ein so genanntes "Mittenloch" entsteht. Es ist dies also ein Bereich, der aufgrund des horizontalen Abstrahlverhaltens der verwendeten Lautsprecher an den Stereoseiten nicht mit ausreichend hohem Schalldruckpegel versorgt wird.

Die folgende schematische Darstellung soll diesen Umstand verdeutlichen:

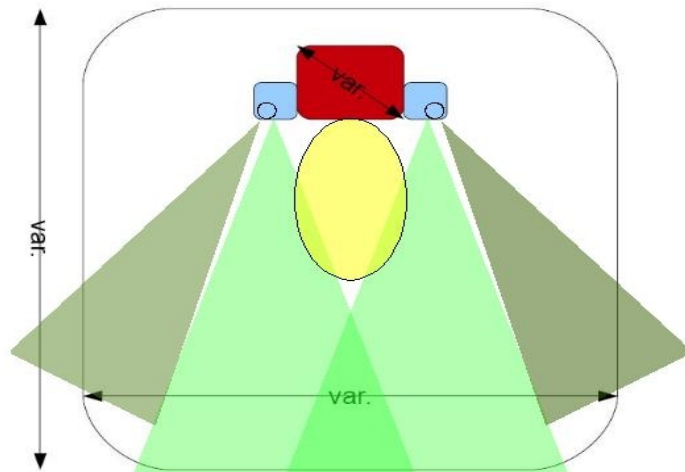


Abbildung 22

Der gelb markierte Bereich verdeutlicht die Bildung eines "Mittenlochs" bei unzureichender Abdeckung durch die Lautsprecher an den Stereoseiten.

E Delayline

Erstreckt sich der zu beschallende Bereich über größere Distanzen, bietet sich die Möglichkeit, eine oder mehrere so genannte *delaylines* einzusetzen.³⁸

Es handelt sich dabei um die Aufstellung weiterer Lautsprecher an einem Ort, der sich in einem für die entsprechenden örtlichen Begebenheiten und den zu erreichenden Schalldruckpegel sinnvollen Abstand zur Bühne befindet.

Es gilt dabei die folgende Problematik zu berücksichtigen:

Das von den Lautsprechern der *delayline* wiedergegebene Signal wird nicht nur nach vorne, sondern frequenzabhängig in alle Richtungen³⁹ unterschiedlich stark abgestrahlt und beeinflusst damit auch den Klang des im Bereich vor dem von der *delayline* zu beschallenden Gebiets. Kapitel 3 wird auf diesen Umstand noch zu sprechen kommen.

³⁷ Zwar kann eine horizontale Abdeckung durch eine Kombination von Lautsprechern, wie sie in Abbildung 21 demonstriert ist, erreicht werden, doch birgt diese Kombination eben geschriebene Nachteile. Zudem lassen sich möglicherweise durch den Einsatz eines *midfills*, wie in Kapitel 3 näher erläutert, Lautsprecher einsparen.

³⁸ Siehe dazu auch Kapitel 3

³⁹ Siehe dazu Kapitel 2.1.1 B.

Welche Probleme sich beim Einsatz von *delaylines* in Bezug auf eine realistische Abbildung ergeben, wird in Kapitel 2.2 Erläuterung finden.

F Frequenzgang

Ein Umstand, der hier in Bezug auf einen zu erreichenden linearen Frequenzgang in Erinnerung gerufen wird, soll anhand der folgenden Darstellung ersichtlich werden:

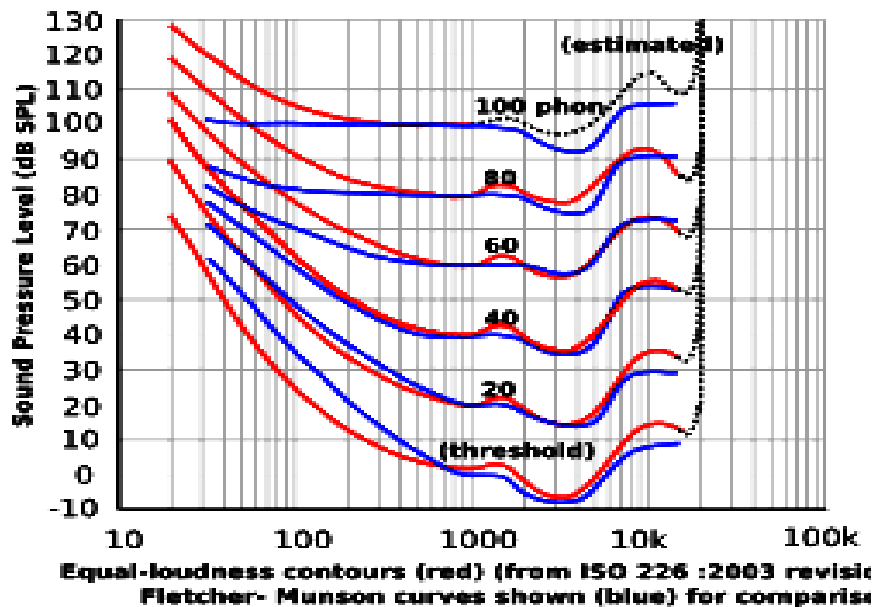


Abbildung 23

(<http://www.lindos.co.uk/cgi-bin/FlexiData.cgi?SOURCE=Articles&VIEW=full&id=17>)

Die aus dieser Abbildung ersichtlichen Kurven gleicher Lautstärke kennzeichnen die Schalldruckpegel, die für die entsprechenden Frequenzen erreicht werden müssen, damit alle Frequenzen im hier dargestellten Hörbereich als gleich laut wahrgenommen werden können.⁴⁰

Bei hohen zu erreichenden Schalldruckpegeln sollten demnach Hoch- und Tieftonbereich⁴¹ entsprechend abgesenkt werden.

Abbildung 23 zeigt die oft zitierten "alten" Kurven nach Fletcher und Munson im Vergleich zu den neuen ISO-Kurven. Es zeigen sich zum Teil deutliche Unterschiede, die wohl unter anderem darin begründet sind, dass die Kurven nach Fletcher und Munson vor 1930 mit Hilfe von Kopfhörern (unbekannter Konstruktion) ermittelt wurden.

Indem bereits erläuterte Faktoren zusammengefasst werden, soll im Folgenden dargestellt werden, warum sich das Bestreben, einen linearen Frequenzgang zu erzeugen, als problematisch erweist:

⁴⁰ Diese Erläuterungen gehören thematisch zwar in den Bereich Psychoakustik, werden aber aus Gründen des Zusammenhangs in diesem Teil der Arbeit angeführt. Zudem sei an dieser Stelle bemerkt, dass der so genannte "lineare" Frequenzgang weniger als "Gerade", sondern vielmehr diesen eben dargestellten "Ohrkurven" entsprechend verlaufend konzipiert werden könnte.

⁴¹ Auf das Gebiet *subwoofer* kann leider nicht näher eingegangen werden. Es ergeben sich in diesem Zusammenhang einige Fragestellungen, die im Rahmen dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden können.

- Lautsprecher strahlen nicht alle Frequenzen in alle Richtungen gleich stark aus.
- Bei Verwendung von *Line Arrays* können zwar für einen gewissen Frequenzbereich, abhängig von der Länge des *arrays*, Zylinderwellen erzeugt werden, diese brechen allerdings nach einer so genannten *border distance* wieder in eine Kugelwelle aus. So kommt es zur Bildung von Bereichen, an denen manche Frequenzen noch 3 dB pro Distanzverdoppelung verlieren, andere jedoch schon 6 dB.
- Ein Höhenverlust kann aufgrund von Absorption durch Publikum, Ablenkung der Schallausbreitungsrichtung durch das Aneinandertreffen von Luftschichten unterschiedlicher Temperatur, Ablenkung der Schallwellen durch Wind und entfernungsabhängig speziell bei geringer Luftfeuchte aufgrund der Luftdämpfung eintreten.
- Der Frequenzgang wird außerdem bei Verwendung von *delaylines* in dem Bereich negativ beeinflusst, der zwar nur von den Lautsprechern an der Bühne beschallt werden sollte, jedoch auch der rückseitigen Abstrahlung der Lautsprecher der *delayline* ausgesetzt ist.

Um folgenden Inhalten nicht vorauszuweichen, soll eine Erläuterung über den in dieser Arbeit gewählten Begriff der "konventionellen" Stereo-Beschallung an dieser Stelle offen bleiben. Im folgenden Kapitel 2.2.2 wird dieses Versäumnis jedoch nachgeholt. Zudem findet im selben Kapitel ein Vergleich zur "korrekten" Stereo-Lautsprecheranordnung statt. Resultierende Problemstellungen in Bezug auf eine realistische Abbildung werden erörtert.

2.2 Realistische Abbildung und Panoramisierung

Zunächst sollen einige psychoakustische Grundlagen in Erinnerung gerufen werden, um daraus resultierende Herausforderungen und Problemstellungen bei der Realisierung von Beschallungsanlagen in Bezug auf Panoramisierung beziehungsweise in Bezug auf die Erzeugung einer realistischen Abbildung erkennbar zu machen. Des Weiteren wird die "korrekte" Lautsprecheraufstellung für die Wiedergabe eines Stereosignals beschrieben, um auf Probleme aufmerksam zu machen, die sich bei der Realisierung von Stereophonie mittels einer konventionellen Stereo-Beschallungsanlage ergeben.

Zwar gestaltet sich die Richtungswahrnehmung von Schallquellen wesentlich komplexer als hier in Kurzform dargestellt werden kann, doch reichen die im Zuge dieser Arbeit angestellten Betrachtungen aus, um auf diesbezüglich bestehende Problemstellungen und mögliche Alternativen bei der Konzeption von Stereo-Beschallungen hinweisen zu können.

2.2.1 Psychoakustische Grundlagen zur Stereophonie

Die Funktionsweisen des menschlichen Gehörs in Bezug auf die Richtungswahrnehmung von Schallquellen, welche über ein elektroakustisches System wiedergegeben werden, sollen im folgenden Abschnitt in stark vereinfachter Form beschrieben werden. Psychoakustische Grundlagen hinsichtlich der bestehenden Lokalisationstheorien⁴² und Eigenschaften von Stereophonie werden betrachtet, um in weiterer Folge Probleme und Herausforderungen zu erkennen, welche sich möglicherweise durch die Umsetzung des Konzeptes "Stereophonie" für größere zu beschallende Bereiche ergeben.

2.2.1.1 Lokalisationstheorien

Die Wiedergabe eines Signals über zwei Lautsprecher ermöglicht es dem menschlichen Gehör, anhand unterschiedlicher Methoden Informationen über die Hörereignisrichtung einer elektroakustisch wiedergegebenen Signalquelle zu erkennen.

Drei anhand von psychoakustischen Untersuchungen zur Lokalisation aufgestellten Theorien sollen im Folgenden beschrieben werden.

A Lokalisation durch Intensitätsunterschiede

Wird von zwei Lautsprechern das selbe Signal, also ein Signal gleicher Frequenzzusammensetzung, Phasenlage und Lautstärke wiedergegeben, ist der Hörer in der Lage, dieses Signal als "aus der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern kommend" zu lokalisieren. Anstatt ein und dasselbe Signal zweimal, also einmal aus dem linken und einmal aus dem rechten Lautsprecher kommend wahrzunehmen, bildet sich demnach eine einzige so genannte "Phantomschallquelle" am Mittelpunkt der Stereobasis⁴³.

Strahlt einer der beiden Lautsprecher dasselbe Signal mit einem höheren Pegel als der zweite Lautsprecher ab, wird das Signal als aus der Richtung des "lauteren" Lautsprechers kommend wahrgenommen. Je höher die Pegeldifferenz zwischen den beiden Lautsprechern, umso weiter wandert in der menschlichen Wahrnehmung die Phantomschallquelle in die Richtung des "lauteren" Lautsprechers.

Die folgende Abbildungen 24 und 25 verdeutlichen die Wertverhältnisse:

⁴² In Zuge dieser Arbeit wird die eindimensionale Lokalisation durch Intensitätsunterschiede beschrieben, die in der Fachliteratur (Zwicker und Fastl) als *Lateralization* bezeichnet wird. Der Begriff *Lokalisation* beinhaltet laut Definition drei Dimensionen, wie sie durch Laufzeitunterschiede dargestellt werden können. Es soll hier jedoch aus Gründen der besseren Verständlichkeit auch für den Fall von Intensitätsunterschieden der Begriff Lokalisation verwendet werden.

⁴³ Als Stereobasis bezeichnet man den Abstand zwischen zwei Lautsprechern innerhalb einer Stereo-Anordnung.

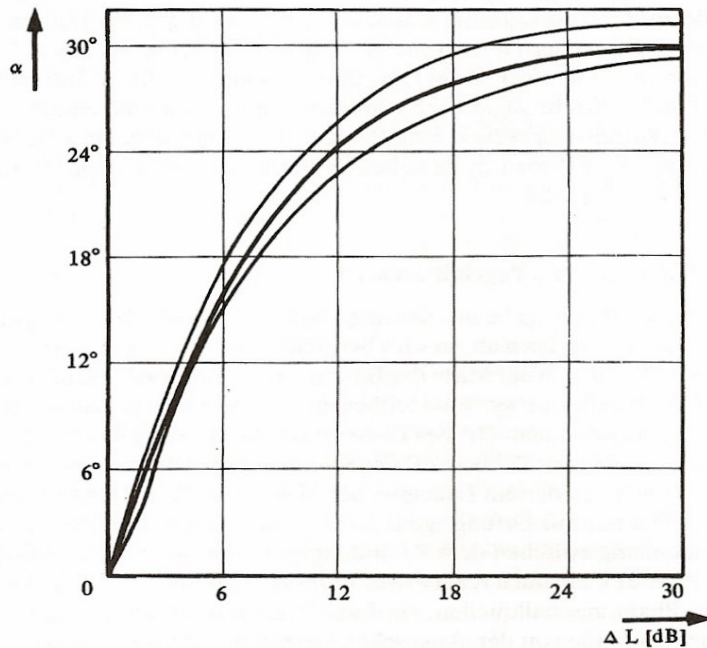


Abb. 3/14. Subjektiv ermittelte Abhängigkeit des Lokalisationswinkels α von der Pegeldifferenz ΔL zwischen den Schallpegeln der Lautsprecher von knackfrei geschalteten Sinustönen (nach Mittelwerten aus [3.27]). Der angegebene Streubereich gilt für Frequenzen von 330 bis 7800 Hz. Die Kurven wurden bei einer Basisbreite der Lautsprecher von 3 m und einem Basisöffnungswinkel von 60° (vom Hörer aus gesehen) aufgenommen (nach [3.28]).

Abbildung 24
(Dickreiter I, 1997: Seite 128)

IV. 2 Zweikanalige raumbezügliche stereofonische Übertragung

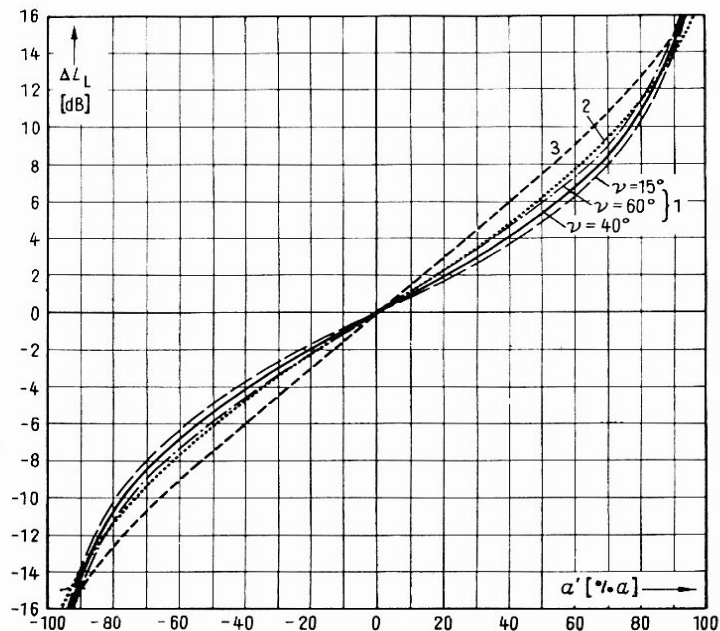


Bild D 9. Ort der scheinbaren Schallquelle zwischen beiden Lautsprechern – gemessen im prozentualen Abstand des halben Lautsprecherabstandes von der Basismitte – bei der Summenlokalisierung aufgrund von Intensitätsunterschieden: Kurven 1: gerechnet nach Gleichung (39) für drei verschiedene Hörwinkel; Kurve 2: empirisch durch den Verfasser; Kurve 3: empirisch durch de Boer

Abbildung 25
(Webers, 1989: Seite 181)

Es sei erlaubt, an dieser Stelle noch folgende Inhalte dieser Arbeit voranzugreifen, indem darauf hingewiesen wird, dass in Abbildung 25 anstelle eines laut Stereonorm "korrekten" Lautsprecheröffnungswinkels von $60^{\circ 44}$ das prozentuale Verhältnis zur Basisbreite, also der prozentuale Anteil des Abstandes zwischen den beiden Wiedergabelautsprechern angeführt ist. Die Werte in Abbildung 25 spiegeln jedoch lediglich die Begebenheiten bei einem Lautsprecheröffnungswinkel von bis zu 100° wieder.

Betrachtet man nun den nötigen Pegelunterschied, der zur Wahrnehmung der Schallquelle an den äußersten Positionen innerhalb der Stereoabbildungsbreite führt, so lässt sich deutlich erkennen, dass der Abstand der Lautsprecher zueinander einen Einfluss auf die Signallokalisation übt.

Es lässt sich allerdings ebenso deutlich erkennen, dass Pegeldifferenzen von bereits ca. 12 - 15 dB zu einer sehr deutlichen Wahrnehmung von Phantomschallquellen an Außenpositionen führen.

Der Lokalisation durch Pegeldifferenzen kommt insofern große Bedeutung zu, als dass man sich üblicherweise bei einer Stereo-Mischung von Signalquellen der Panoramisierung⁴⁵ über eben diese Methode bedient. Mischpulte verfügen gewöhnlich über ein so genanntes *panpot*, einen Drehregler, durch den man die jeweiligen Lautsprecherpegelanteile und damit die zu lokalisierende Schalleinfallrichtung einzelner Signale bestimmen kann.

B Lokalisation durch Laufzeitunterschiede

Wie in Kapitel 2.2.1.1 erläutert, wird ein von beiden Lautsprechern des Stereosystems wiedergegebenes identes Signal, also ein Signal gleicher Frequenzzusammensetzung, Phase und Lautstärke, vom Hörer als "aus der Mitte zwischen den beiden Lautsprechern kommend" wahrgenommen. Die Phantomschallquelle bildet sich also in der Mitte der Lautsprecherbasis. Nicht nur durch Pegel-, sondern auch durch Laufzeitenunterschiede können Phantomschallquellen innerhalb der Stereobasisbreite abgebildet werden.

Strahlt einer der beiden Lautsprecher dasselbe Signal früher als der zweite Lautsprecher ab, wird das Signal als aus der Richtung des früher abstrahlenden Lautsprechers kommend wahrgenommen. Je höher die Laufzeitdifferenz zwischen den beiden Lautsprechern, umso weiter wandert in der menschlichen Wahrnehmung die Phantomschallquelle in die Richtung des früher abstrahlenden Lautsprechers.

Die folgende Abbildung 26 verdeutlicht die Wertverhältnisse:

44 Siehe dazu Kapitel 2.2.2. Es handelt sich bei dem Begriff "Lautsprecheröffnungswinkel" um den Winkel, der sich vom Ort des Zuhörers in Beziehung zu den Lautsprechern ergibt.

45 Als Panoramisierung bezeichnet man die Verteilung der einzelnen Schallquellen über die Stereoabbildungsbreite.

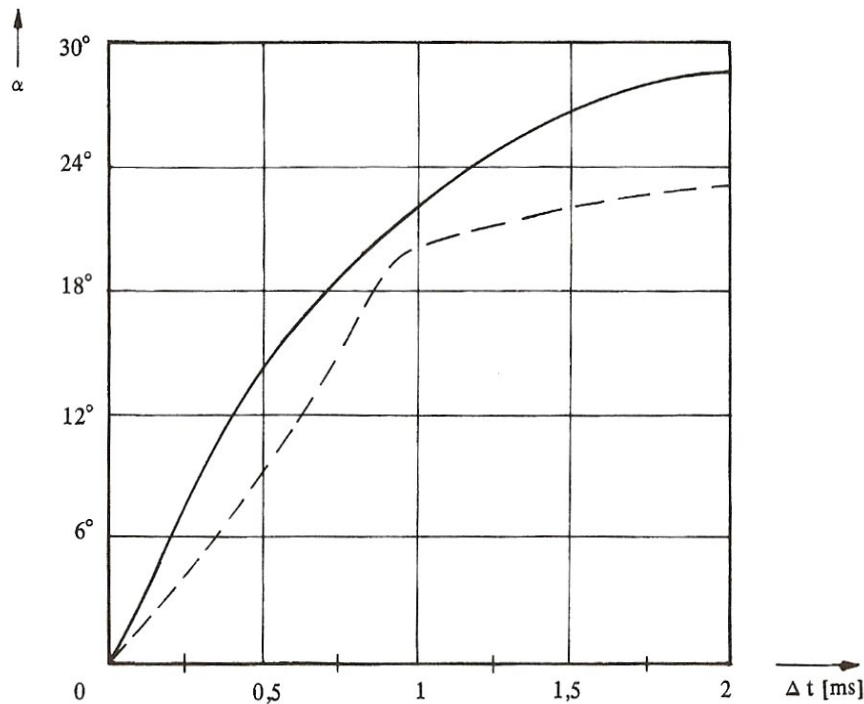


Abb. 3/16. Subjektiv ermittelte Abhängigkeit des Lokalisationswinkels α von der Laufzeitdifferenz Δt zwischen den Lautsprechersignalen.
Durchgezogene Kurve: Mittelwert aus verschiedenen Messungen [3.32], gestrichelte Kurve: Knacke bei fixiertem Kopf [3.30].

Abbildung 26
(Dickreiter I, 1997: Seite 130)

Die graphische Darstellung lässt erkennen, dass bereits eine Laufzeitdifferenz von 2 ms zu einer deutlichen Lokalisation von Phantomschallquellen an Außenpositionen führt.

Beträgt der Laufzeitunterschied zwischen 3 - 30 ms, so tritt das "Gesetz der ersten Wellenfront", auch "Haas-Effekt" genannt, in Kraft.

Dieses Gesetz besagt, dass selbst bei Pegelunterschieden von bis zu 10 dB die Phantomschallquelle am Ort jenes Lautsprechers lokalisiert wird, durch welchen das Signal⁴⁶ zwar leiser, jedoch früher abgestrahlt wird.

Beträgt die Laufzeitdifferenz mehr als 30 ms, so werden zwei getrennte Schallquellen am Ort der Lautsprecher wahrgenommen. Beträgt die Laufzeitdifferenz jedoch mehr als 50 ms, entsteht ein Echoeffekt, der ab ca. 100 ms⁴⁷ sehr unangenehm wird.

Abbildung 27 verdeutlicht diesen Umstand:

⁴⁶ In diesem Fall muss es sich um ein breitbandiges Signal als *input* handeln. Es gilt zudem der Zusammenhang zwischen Pegeldifferenz und Laufzeitdifferenz zu beachten. Im Falle einer Laufzeitdifferenz von 9 ms kann die Pegeldifferenz 10 dB betragen.

⁴⁷ Zwicker; Fastl, 1999: Seite 311

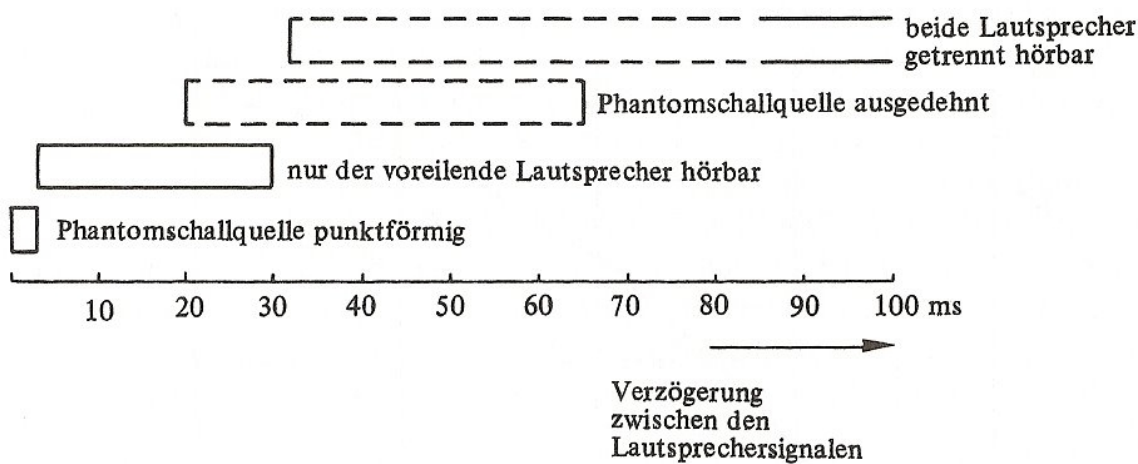


Abb. 3/15. Wirkung der Zeitverzögerung zwischen identischen Signalen bei Stereowiedergabe.

Abbildung 27
(Dickreiter I, 1997: Seite 129)

Die breite Streuung der Werte in Abbildung 26 lässt bereits eine gewisse Signalabhängigkeit vermuten. Tatsächlich beeinflusst die Frequenzzusammensetzung des elektroakustisch wiederzugebenden Signals bei Lokalisation durch Laufzeitenunterschiede im Gegensatz zur Lokalisation durch Intensitätsunterschiede erheblich die Richtungswahrnehmung. So ist beispielsweise bei tiefen Frequenzen eine höhere Laufzeitendifferenz zur Lokalisation des Signals an extremen Außenpositionen nötig als bei hohen Frequenzen. Abbildung 26 zeigt nur eine der zahlreichen voneinander abweichenden Kurven, die in der einschlägigen Literatur zu finden sind.

C Lokalisation durch Kopfabstimmung

Eine weitere Theorie zur Lokalisation beruht auf dem Umstand, dass Größe und Form des Kopfes sowie der Ohrmuschel eine frequenz- und richtungsabhängige Abschattung des wahrgenommenen Signals am "abgewandten" Ohr bewirken. Die folgende Abbildung soll dies verdeutlichen:

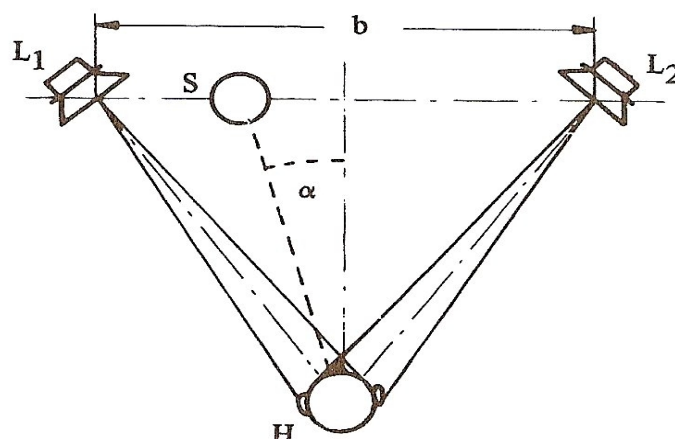


Abbildung 28
(Dickreiter I, 1997: Seite 125)

Im hier dargestellten Fall erreicht die Schallquelle das linke Ohr aufgrund der Laufzeitdifferenz früher. Zudem wird das Signal am linken Ohr lauter wahrgenommen. Diesen Umstand macht sich die konventionelle Panoramisierung zu Nutze.

Aufgrund der Tatsache, dass zwischen beiden Ohren ein Kopf bestimmter Form und Größe sitzt, erweist sich diese Pegeldifferenz, beziehungsweise die Abschattung des Signals am abgewandten Ohr, das ist in diesem Falle das rechte Ohr, allerdings als frequenzabhängig. Demnach kann eine Lokalisation von Schallquellen auch aufgrund von Unterschieden in der Frequenzzusammensetzung des am linken und rechten Ohr ankommenden Signals stattfinden.

Die Abschattung von Kopf und Ohrmuschel hängt auch mit der Schalleinfallrichtung zusammen. Je seitlicher die Schallquelle erklingt, desto stärker die Abschattung am abgewandten Ohr. Die Auswirkungen auf den Frequenzgang des Signals können so einfach allerdings nicht dargestellt werden. Die folgende Abbildung soll diesen Umstand veranschaulichen:

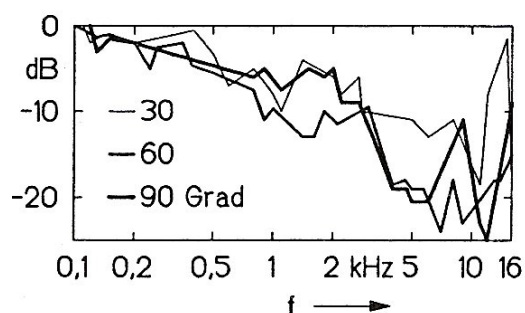


Abb. 9.3. Differenz der Schallpegel im Gehörgang des der Schallquelle abgewandten Ohres und des der Quelle zugewandten Ohres (interaurale Übertragungsfunktion), als Funktion der Frequenz. Beschallung durch einen Lautsprecher in 3 m Entfernung in der Horizontalebene mit den angegebenen Richtungswinkeln. Nach Blauert [96]

Abbildung 29
(Terhardt, 1998: Seite 226)

2.2.2 Die "korrekte" Stereo-Lautsprecheranordnung

Im Zuge dieses Kapitels soll veranschaulicht werden, wie die per Definition "korrekte" Stereo-Lautsprecheraufstellung im Vergleich zu einer Lautsprecheraufstellung, wie sie bei konventionellen Stereo-Beschallungen vorgefunden wird, aussehen sollte.

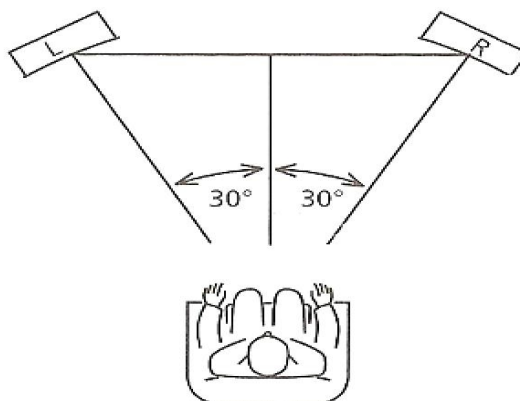


Abbildung 30⁴⁸
(Görne; Bergweiler, 2004: Seite 127)

48 Im Original (Görne; Bergweiler, 2004: Seite 127) sind dieser Abbildung auch *surround*-Lautsprecher zugefügt. Diese wurden aus Gründen der Übersicht für diese Arbeit beiseite gelassen.

Wie aus dieser Abbildung ersichtlich handelt es sich bei der "korrekten" Stereo-Aufstellung laut einschlägiger Literatur um ein Lautsprecherpaar, deren beide Lautsprecher idealerweise in einem Winkel von 60° ⁴⁹ zueinander angeordnet sind. Hörer und Lautsprecher bilden ein gleichseitiges oder beinahe gleichseitiges⁵⁰ Dreieck. Die Entfernung des Hörers von der Stereobasis, also der gedachten Geraden zwischen den beiden Lautsprechern, kann auch gleich groß wie die Stereobasisbreite, also der Abstand zwischen den beiden Lautsprechern sein.⁵¹ Zudem findet sich in der Literatur die Empfehlung, die Hochtöner der Lautsprecher "in Ohrhöhe" anzubringen.⁵²

Sinn und Zweck einer solchen Definition über die exakte Aufstellung der Lautsprecher in Bezug auf den Hörer ist es, den vollen Stereo-Genuss des wiedergegebenen Signals zu gewährleisten. Das wiedergegebene Signal, zum Beispiel eine Musikaufnahme, sollte selbst wiederum mit Bedacht auf die herrschende Konvention erstellt worden sein. Die hier so genannte "korrekte" Aufstellung der Lautsprecher ist also insbesondere für die Arbeit im Tonstudio von großer Bedeutung.

Der Hörer befindet sich bei Beachtung der eben beschriebenen "korrekten" Aufstellung im so genannten *sweet spot*, der laut Definition optimalen Abhörposition. Die Lokalisierung der wiedergegebenen Schallquellen über die gesamte darstellbare Stereobreite und einer damit einhergehenden, möglichst realistischen Abbildung des akustischen Geschehens soll an diesem *sweet spot* demnach optimal möglich sein. Anhand der eben dargestellten Definitionen zeigt sich bereits, dass dieser *sweet spot* räumlich sehr knapp bemessen ist, weshalb eine solche "korrekte" Lautsprecheraufstellung wohl nur für den kleinen, privaten Bereich zu realisieren sein wird.

Wie bereits angesprochen, bedient man sich zur Verteilung der Schallquellen über eine Stereoabbildungsbreite üblicherweise der Panoramisierung mittels *panpot* am Mischpult. Die Richtungsinformation ergibt sich damit durch Intensitätsunterschiede eines Signals an beiden Lautsprechern.

Es gilt dabei jedoch zu beachten, dass die dargestellten Lokalisationstheorien von den für dieser Arbeit zu Rate gezogenen Quellen vornehmlich für Signale untersucht wurden, welche entweder eine Wiedergabe über Kopfhörer oder eine Wiedergabe über eine "korrekte" Abhöre erfuhren⁵³, beziehungsweise von einem im *sweet spot* positionierten Hörer empfangen wurden.

Es stellt sich daher die Frage, ob diese konventionelle Art der Panoramisierung wie sie für die Mischung einzelner Signale zu einer Stereosumme in der Regel angewandt wird, auch für Beschallungen größerer Abhörbereiche beziehungsweise Beschallungen einer größeren Zuhörerschaft geeignet ist, zumal sich in diesem Falle meist nur ein sehr kleiner Teil des Publikums im *sweet spot* wird aufhalten können.

49 Zwicker; Fastl, 1999: Seite 311

50 Dickreiter I, 1997: Seite 124

51 Görne; Bergweiler, 2004: Seite 123

52 Görne; Bergweiler, 2004: Seite 124

53 Falls nicht anders angegeben, wurden die Werte der dargestellten Messkurven von den jeweiligen Autoren oder gegebenenfalls von den jeweiligen zitierten Wissenschaftlern empirisch anhand einer Testgruppe erhoben. Der Testaufbau bestand hinsichtlich der Wiedergabesituation aus einer wie weiter oben beschriebenen, den Konventionen entsprechenden Stereo-Lautsprecheraufstellung. Es gilt bei der Interpretation derartiger in der Literatur vorhandener Messkurven zu berücksichtigen, dass einige davon anhand einer Beschallung durch Kopfhörer gewonnen wurden.

Eine Lautsprecheranordnung für Stereo-Beschallungen größerer Abhörbereiche, ob in *open-air*-Situationen oder bei Veranstaltungen, die in geschlossenen Räumen stattfinden, muss sich nach jeweilig besonderen Faktoren richten. Einige dieser Faktoren, die grundsätzlich bei der Konzeption einer Stereo-Beschallungsanlage berücksichtigt werden sollten, wie beispielsweise der zu erreichende Schalldruckpegel oder die Größe des zu beschallenden Bereiches, wurden auch für den Fall einer *open-air*-Veranstaltung bereits in Kapitel 2.1 erläutert. Eine entsprechende Lautsprecheranordnung wird demnach individuell zu planen sein und, wie bereits erwähnt, lediglich für einen kleinen Teil der zu beschallenden Hörer der "korrekten" Stereo-Lautsprecheranordnung entsprechen.

Die (optimale) Lautsprecheraufstellung für eine konventionelle Stereo- Beschallung kann aus diesem Grund nicht realisiert werden, doch wurde eine schematische Darstellung konventioneller Stereobeschallungen bereits in Kapitel 2.1.2 veranschaulicht.

Aufgrund der einfachen Realisierbarkeit, möglicherweise auch in dem Bestreben, eine realistische Abbildung der wiederzugebenden Schallquellen über die Bühnenbreite zu erreichen, findet man die Lautsprecher meist direkt an der linken und rechten Bühnenseite angeordnet.

Aus Gründen der Pegelverteilung ist es jedoch oft notwendig, die Lautsprecher an der Bühne hoch anzubringen, wodurch allerdings auch die wiedergegebene Abbildung "hoch gezogen" und damit verfälscht wird. Es wird zumeist als äußerst unangenehm und unrealistisch empfunden, die sich auf der Bühne befindlichen Schallquellen "von oben" zu hören.

Werden mehrere Lautsprecher an verschiedenen Positionen entlang der Bühnenkante eingesetzt um die pegelmäßige Abdeckung des geforderten zu beschallenden Bereiches zu gewährleisten, stellt sich die Frage, welches Signal von diesen Lautsprechern im Sinne der Erstellung einer realistischen Abbildung wiedergegeben werden sollte.

Kapitel 3 wird sich mit möglichen Lösungsansätzen befassen.⁵⁴

Ein weiteres Problem ergibt sich durch den Einsatz von einer oder mehreren *delaylines*:

Bei gleichzeitiger Wiedergabe der zu verstärkenden Stereomischung von sowohl den Lautsprechern an der Bühnenkante als auch der *delayline* wird die Abbildung sowohl an der Bühne als auch zwischen den Lautsprechern der *delayline* erkannt. Die *delayline* als solche wird damit wohl unbeabsichtigt wahrnehmbar, wodurch die Abbildung ab einer gewissen Distanz von der Bühne weg "in" die *delayline* rutscht.

Welche Maßnahme man gegen diese "Doppel-Abbildung" und einem unter Umständen damit einhergehenden Echoeffekt ergreifen kann um das Stereobild möglichst auf der Bühne zu belassen, wird in Kapitel 3 erläutert.

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass sich Probleme in Bezug auf Panoramisierung bei Stereo-Beschallungsanlagen zunächst durch vorherrschende örtliche Begebenheiten ergeben. Ist die Bühne sehr breit, beziehungsweise der zu beschallende Bereich sehr groß, müssen linke und rechte Lautsprecherseite möglicherweise sehr weit voneinander entfernt oder im Sinne einer regelmäßigen Schallpegelverteilung sehr hoch positioniert werden.

Hörer in einem schmalen, zentralen Bereich vor der Bühne können die Stereo -

⁵⁴ Siehe dazu Kapitel 3.1.1.

Abbildung wahrnehmen. Dies gilt allerdings lediglich für einen schmalen, linienförmigen Bereich in der Mitte, da hier aufgrund des identen Abstands zu den beiden Lautsprecherseiten der in Kapitel 2.2.1.1 B beschriebene Haas-Effekt nicht zu Tragen kommt. Der Großteil der Hörer wird jedoch außerhalb dieses Bereichs positioniert sein, also an Positionen, an denen eine hohe Laufzeitdifferenz zwischen beiden Lautsprechern stattfindet. An diesen Stellen kann demnach trotz theoretischer Pegelabdeckung durch beide Stereo-Seiten aufgrund des bereits angesprochenen Haaseffekts nur eine Seite der Mischung wahrgenommen werden.

Diesen Umstand sollte man als FOH-Mischer⁵⁵ nicht außer Acht lassen und großzügige Panoramapositionen vermeiden. Schließlich bedient man sich bei konventioneller Stereo-Beschallung der Panoramisierung über Intensitätsunterschiede.

Dieser Unterschied kann bei extremen Außenpositionen, wie bereits erwähnt, bis zu 15 dB betragen. Hört man bei einer solch breiten Stereo- Mischung nur eine Stereo-Lautsprecherseite, wird das akustische Erlebnis nicht befriedigend sein.

Gelingt es nicht, durch alternative Techniken alle Schallereignisse an jedem Ort im Publikumsbereich in ein ausgewogenes Lautstärkenverhältnis ohne störende Verzögerungen zu bringen, wird man unter Zuhilfenahme der konventionellen Panoramisierungsmethode möglicherweise dazu angehalten sein, eine Mischung herzustellen, die eher in Richtung *mono* als in Richtung *stereo* geht.

Es bleibt an dieser Stelle lediglich der in dieser Arbeit verwendete Begriff der konventionellen Stereo-Beschallung zu erläutern:

Dieser Begriff bezieht sich auf eine Beschallung, deren Stereo-Lautsprecheranordnung nach den bereits beschriebenen Parametern⁵⁶ zwar individuell gewählt werden muss, um eine regelmäßige Schallpegelverteilung bei linearem Frequenzgang zu erreichen. Eine solche Lautsprecheranordnung wird nur mäßig der "korrekten" Stereo- Lautsprecheranordnung, wie sie eben beschrieben wurde, entsprechen.

Die Panoramisierung erfolgt jedoch trotzdem zumeist über "konventionelle" *panpots*, wie sie in Kapitel 2.2.1.1 A bereits erwähnt wurden. Dies scheint mir Grund genug, die Bezeichnung "konventionelle" Stereo-Beschallung zu wählen, zumal bei einer solchen Vorgehensweise zwar situationsbedingt bezüglich der Lautsprecheranordnung individuelle, jedoch bezüglich der angewandten Panoramisierungstechnik kaum innovative Elemente gefunden werden können.

2.3 Zusammenfassung

Die bereits beschriebenen Problemstellungen, die sich aufgrund der geschilderten Begebenheiten für Stereo-Beschallungsanlagen in dem Unterfangen, die in Kapitel 1 definierten Ziele zu erreichen ergeben, sollen im Folgenden anhand der Tabelle 5 zusammengefasst werden:

⁵⁵ FOH: *front of house*. Als FOH-Mischer oder FOH-Techniker bezeichnet man den Tontechniker, der für die Mischung der Signale zur Wiedergabe über die Lautsprecher verantwortlich ist, die den Publikumsbereich beschallen sollen. Im Gegensatz dazu steht der *Monitor-Mischer*, der für die Mischung der Signale zur Wiedergabe über die Lautsprecher verantwortlich ist, die den Bühnenbereich beschallen sollen.

⁵⁶ Siehe dazu Kapitel 2.1.2.

Umstand	Problemstellung
Schallabstrahlung durch konventionelle Lautsprecher	Pegelabfall um 6 dB bei Entfernungsverdoppelung
	frequenzabhängiges Abstrahl- und Richtverhalten
	ein Lautsprecher reicht zumeist nicht aus, um den gewünschten Schalldruckpegel zu erreichen
	ein Lautsprecher reicht zumeist nicht aus, um eine Abdeckung des gewünschten Bereiches zu erreichen
Kombination mehrerer Lautsprecher	mögliche Kammfiltereffekte im Übergangsbereich
	Frage nach dem von diesen Lautsprechern wiederzugebenden Signal um eine realistische Abbildung zu erhalten
Breite Lautsprecherbasis aufgrund breiter Bühne	Entstehung eines "Mittenlochs"
Einsatz von <i>delaylines</i>	Echoeffekt aufgrund der Laufzeitunterschiede
	Klangbeeinträchtigung im Bereich vor dem erwünschten geographischen Einsatzgebiet der <i>delaylines</i>
Schallabstrahlung durch <i>line array</i>	Zylinderwelle bricht ab der frequenzabhängigen <i>border distance</i> wieder in eine Kugelschallwelle aus
Großer zu beschallender Bereich	Nur ein kleiner Teil des Publikums kann sich im <i>sweet spot</i> aufhalten
Panoramisierung über Intensitätsunterschiede	Uneinheitliche Mischung an den Stereoseiten, da die jeweils andere Seite zumeist nicht wahrnehmbar ist
Hoch angebrachte Lautsprecher an den Stereo-Seiten	Schallquellen werden "über Kopf" und nicht am Ort der Entstehung geortet
	Der vorderste Publikumsbereich an der Bühne wird möglicherweise nicht ausreichend abgedeckt
Stark im Wert schwankender zu erzeugender Schalldruckpegel (zum Beispiel aufgrund von Publikumsgeräuschen)	Aufgrund der Kurven gleicher Lautstärke (Abb.23) müsste der Frequenzgang des Systems entsprechend dynamisch zu beeinflussen sein.
<i>open-air</i> Beschallung	
warme Luftschicht (Publikum) trifft auf eine kalte Luftschicht (Umgebungsluft)	Schall wird nach oben abgelenkt → Pegelverlust im Hochtonbereich
Wind bläst in oder gegen die Richtung der Lautsprecherabstrahlung	Schall wird abgelenkt → Pegelverlust im Hochtonbereich
Dämpfung (bei geringer Luftfeuchte), Absorption durch Publikum	Pegelverlust im Hochtonbereich

Tabelle 5

3.0 Lösungen

"Inmitten der Schwierigkeit liegt die Möglichkeit."

Albert Einstein
(zitiert nach www.zitate-online.de.)

Die im Zuge dieses Kapitels dargestellten Verfahren können lediglich als Lösungsansätze, oder als "Möglichkeit" zur Verbesserung betrachtet werden. Eine nach akustischen Gesichtspunkten "optimale" Beschallungstechnik ist nach Ansicht der Autorin nicht realisierbar. Der Titel dieses Kapitels wurde deshalb im Sinne einer klaren Strukturierung gewählt.

Kapitel 3.1 soll zunächst Lösungsansätze in Bezug auf eine regelmäßige Schalldruckpegelverteilung und einen linearen Frequenzgang beschreiben, während Kapitel 3.2 auf mögliche Lösungsansätze und Alternativen in Bezug auf eine realistische Abbildung beziehungsweise auf entsprechende alternative Panoramisierungsmethoden eingehen soll.

Im Mittelpunkt dieser Betrachtungen stehen die *Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo* nach Michael Gerzon, sowie die *Spektrale Panoramisierung*.

3.1 Schalldruckpegelverteilung und Frequenzgang

Im Zuge dieses Kapitels sollen übliche Lösungsvorschläge angeführt werden, die dabei helfen können, eine regelmäßige Schalldruckpegelverteilung beziehungsweise einen linearen Frequenzgang zu erreichen.

Anhand des vorigen Kapitels wurde bereits dargestellt, dass es zwar des Öfteren von Nöten sein wird, Lautsprecher zu kombinieren, um den geforderten zu beschallenden Bereich mit ausreichend Schalldruckpegel zu versorgen, eine solche Kombination jedoch auch Nachteile wie Kammfilter- oder Echoeffekte mit sich bringt. Der nächste Abschnitt 3.1.1 befasst sich daher eingehender anhand zahlreicher bildhafter Darstellungen mit dem Thema "Kombination von Lautsprechern zum Zwecke ausreichender Abdeckung des zu beschallenden Bereiches".

3.1.1 Zusätzliche Lautsprecher

Im vorangegangenen Kapitel wurde bereits die Notwendigkeit, Lautsprecher zu kombinieren um den geforderten Bereich abzudecken erörtert. Sie ergibt sich aus dem frequenzabhängigen Abstrahlverhalten der verwendeten Lautsprecher beziehungsweise der oft unzureichenden Pegelabstrahlung eines einzelnen Lautsprechers. Problemstellungen, die sich aus der Kombination mehrerer Lautsprecher ergeben, wurden ebenfalls bereits dargestellt. An dieser Stelle gilt es, Lösungsansätze zu finden.

Es zeigt sich, dass es durch geschickte Anordnung der Lautsprecher sowie gewissenhafte Laufzeit- und Pegelabstimmung möglich ist, Kammfilter- und Echoeffekte zu minimieren. Dabei erweist sich eine Vielzahl von

Computerprogrammen bei der Konzeption von Beschallungsanlagen als äußerst hilfreich.

Die folgenden Abbildungen wurden mit Hilfe der Software *mapp online* der Firma *meyersound* erstellt. Dieses Programm ermöglicht es, Prognosen hinsichtlich der zu erwartenden Schallpegelverteilung für gewisse Frequenzen beziehungsweise Frequenzbänder zu erstellen. Die Abmessungen der zu beschallenden Fläche lassen sich eingeben, sowie Graphiken im entsprechenden Format importieren. Lautsprechermodelle der Firma *meyersound* können nach Wunsch positioniert und gerichtet werden, um in weiterer Folge Graphiken, wie sie sich im Folgenden finden, errechnen zu lassen.⁵⁷ Zudem lassen sich virtuelle Messpunkte definieren, an denen der zu erwartende Frequenzgang gemessen werden kann.

Ist die Anlage fertig aufgebaut, können diverse Messprogramme⁵⁸ dabei helfen, die Einstellungen zu verbessern. Zu diesem Zwecke werden von der Software verschiedene Testsignale generiert, um selbige in weiterer Folge mit dem von der Anlage wiedergegebenen und über ein Messmikrofon an einem gewählten Messpunkt empfangenen Signal zu vergleichen.

Schallpegel und Frequenzgang der Anlage, sowie die Phasenlage einzelner Komponenten zueinander können damit ermittelt und anhand der durch das Computerprogramm generierten Diagramme veranschaulicht werden.

Diese Diagramme sollten sorgfältig interpretiert werden, um gegebenenfalls durch Umpositionierung der Lautsprecher, Pegel- und Laufzeitanpassung oder Filterung eine verbesserte Qualität der Anlage zu erzielen.

Geht man zunächst von einer konventionellen Stereobeschallungsanlage aus, wie sie durch die schematische Darstellung der Abbildung 16 geschildert wurde, so ergibt sich durch Simulation der Verhältnisse im *mapp online* bei Positionierung von zwei Lautsprechern des Modells CQ2 neben einer 5 m x 10 m breiten Bühne, wie sie im Folgenden dargestellt ist,⁵⁹ folgende Schallpegelverteilung im hier angenommenen zu beschallenden Bereich von 20 m Breite und 40 m Länge:

57 Es sei an dieser Stelle das Computerprogramm *Ease* erwähnt, welches nicht auf eine einzige Lautsprechermarke spezialisiert ist, sondern Lautsprechermodelle vieler verschiedener Firmen umfasst. Es können damit in ganz ähnlicher Form wie im Falle des Programmes *mapp online* hilfreiche Prognosen erstellt werden. Zudem werden vor allem für die Konzeption von *line arrays* vom jeweiligen Hersteller speziell entwickelte Computerprogramme zur Verfügung gestellt.

58 Als Beispiele für diese Art von Messprogrammen seien an dieser Stelle *Smart* und *Ascendo* erwähnt.

59 Es handelt sich im folgenden um die Darstellung der Verhältnisse anhand eines Grundrisses. Die horizontale Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher lässt sich somit anhand einer solchen Graphik darstellen. Die Pegelwerte sind, wie aus dem Barometer rechts neben dem Grundriss ersichtlich, farbcodiert, wobei höhere Pegel "röter", niedrigere Pegel "blauer" erscheinen.

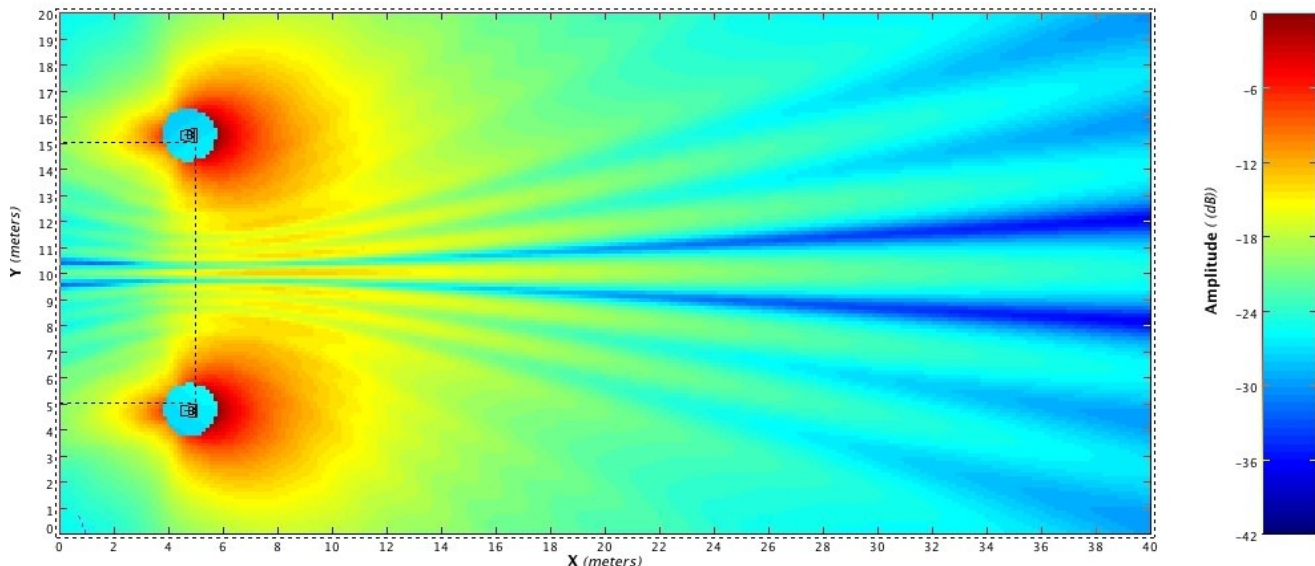


Abbildung 31⁶⁰
Pegelabdeckung bei 250 Hz.

Folgende Begebenheiten lassen sich anhand der Abbildung 31 erkennen:

- Es zeigen sich, hier an der "Linierung" zu erkennen, bereits deutliche Auslöschungen der dargestellten Frequenz im mittigen Abhörbereich. Mit Kammfiltereffekten ist also zu rechnen.
- Die Lautsprecher strahlen auch nach hinten, auf die Bühne ab. Die Gefahr für Rückkopplungen⁶¹ ist damit gegeben.
- Es zeigt sich ein deutlicher Pegelabfall nach hinten.

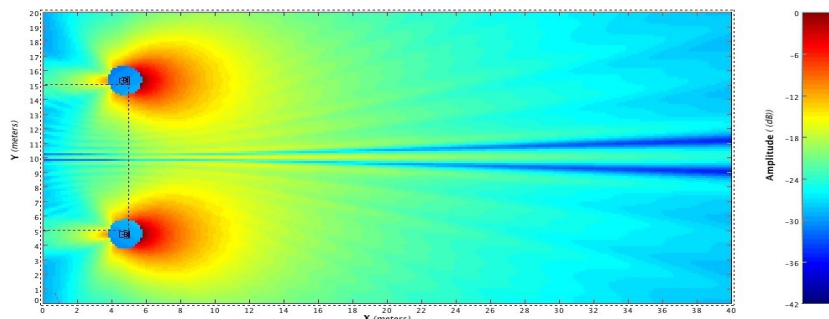


Abbildung 32
Pegelabdeckung bei 500 Hz

Abbildung 32 lässt folgende Rückschlüsse ziehen:

⁶⁰ Es sei an dieser Stelle bemerkt, dass es bei vielen der folgenden Abbildungen im Falle einer Beschallung innerhalb eines geschlossenen Raumes aufgrund zum Teil heftiger Raumanregungen zu Herausforderungen bezüglich der Vermittlung eines klaren Klangbildes kommen kann. Durch eine solche starke Raumanregung, verursacht durch zahlreiche Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen, erhöht sich der Diffusschallanteil. Dieser Umstand kann sich, wie bereits in Kapitel 2.1.1 F dargestellt, äußerst ungünstig auf die Qualität der Beschallung auswirken. Um die Anregung von Raumbegrenzungsflächen zu minimieren, empfiehlt sich in so manchen Fällen der Einsatz von Lautsprechern, die aufgrund eines speziell konstruierten Horns unsymmetrisch abstrahlen. Ein solches Horn ermöglicht es, die abgestrahlte Schallenergie effizienter einzusetzen.

⁶¹ Unter Rückkopplung versteht man in diesem Fall ein Phänomen, das sich als mehr oder weniger lautes Pfeifen, verursacht durch eine Schleifenverstärkung größer als 1 zwischen dem Signal des Lautsprechers und des entsprechenden Mikrofons bei betreffender Frequenz bemerkbar macht.

- Aufgrund der Relationen von Abstand zwischen den Lautsprechern und Wellenlänge der wiedergegebenen Frequenz verringern sich die Auslöschungen.
- Der Pegelabfall nach hinten zeigt sich ebenso deutlich.
- Die Lautsprecher strahlen weniger stark zurück auf die Bühne.

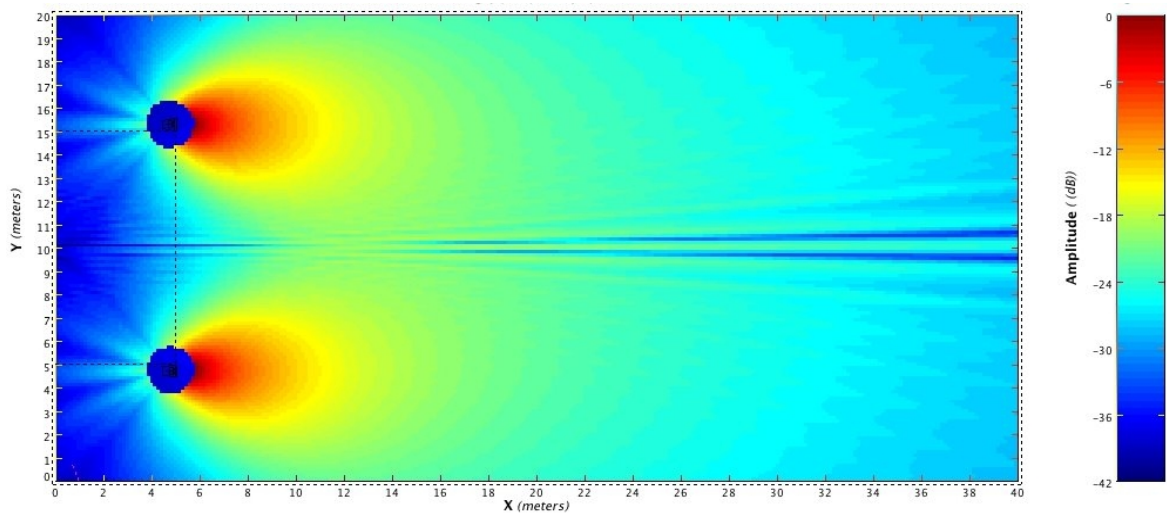


Abbildung 33
Pegelabdeckung bei 1 kHz

Abbildung 33 bestätigt den Trend, der bereits zu Abbildung 32 beschrieben wurde. Es lässt sich zudem erkennen, dass die

- Abdeckung nach hinten regelmäßiger wird,
- und sich die Abstrahlung zurück auf die Bühne verringert.

Bei genauerer Betrachtung macht sich bereits ein

- Mittenloch, wie bereits anhand der Abbildung 22 schematisch dargestellt, im vorderen zu beschallenden Bereich bis ca. 8 m vor der Bühne bemerkbar.

Die folgenden Abbildungen 34-36 zeigen die Begebenheiten bei den Frequenzen 2 kHz, 4 kHz und 8 kHz. Es zeigt sich, dass sich die Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher bei zunehmender Frequenz gerichteter darstellt. Dadurch vergrößert sich das Mittenloch.

Es lässt sich den Abbildungen 31-36 deutlich entnehmen, dass tiefere Frequenzen einen weiteren Bereich abdecken können als hohe Frequenzen. Dies geschieht allerdings bei tiefen Frequenzen aufgrund der Auslöschungserscheinungen wesentlich unregelmäßiger als bei hohen Frequenzen. Es zeigt sich deutlich, dass eine Abdeckung bis zu einem in den Abbildungen dargestellten Bereich in einer Entfernung von 40 m von der Bühne nicht gegeben ist. Der Abschnitt C wird sich mit diesem Umstand befassen.

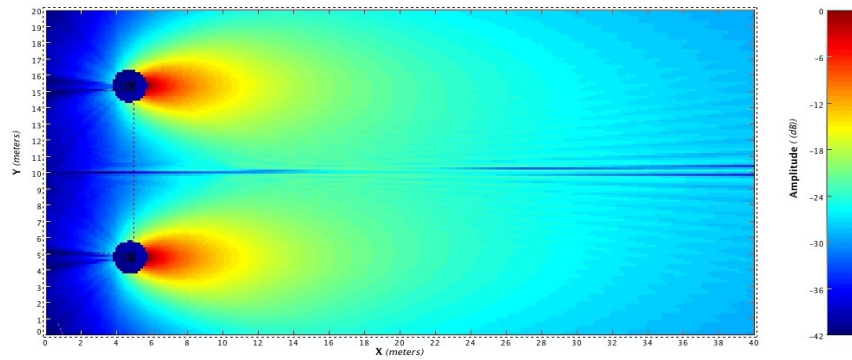


Abbildung 34
Pegelabdeckung bei 2 kHz

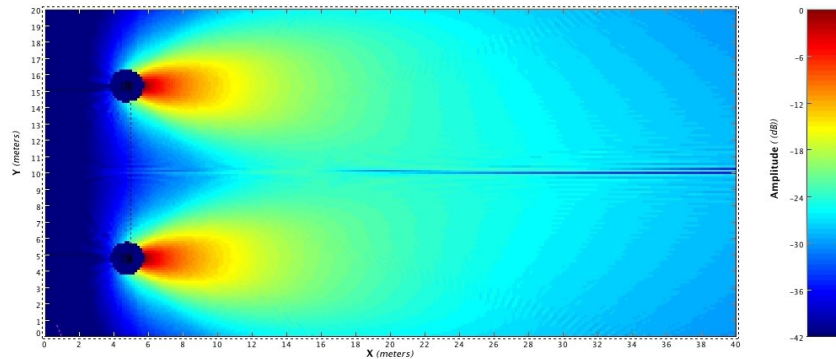


Abbildung 35
Pegelabdeckung bei 4 kHz

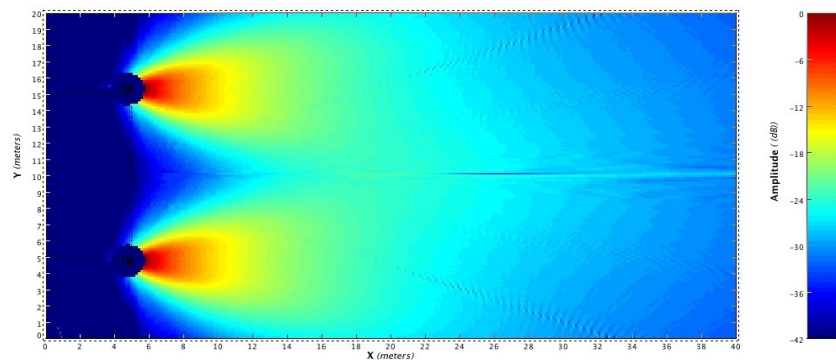


Abbildung 36
Pegelabdeckung bei 8 kHz

Anhand der Abbildung 35 ist bereits ein deutliches Mittenloch erkennbar. Findet man kein Lautsprechermodell, dessen horizontale Richtwirkung den Anforderungen entsprechen kann, könnte man einerseits versuchen, durch Kombination mehrerer Lautsprecher wie schematisch durch die Abbildungen 19, beziehungsweise 20, sowie auch Abbildung 21 (*outfill*) dargestellt, den Bereich in der horizontalen Achse zu erschließen. Andererseits könnte man durch Winklung der Lautsprecher nach innen versuchen, das Mittenloch zu füllen.⁶²

Die folgenden Abbildungen veranschaulichen die Verhältnisse bei einer solchen Winklung um 15° .⁶³

⁶² Dieses Verfahren kann als *split crossfire* (McCarthy, 1997: Seite 98) bezeichnet werden. Als Nachteil dieser Methode wird jedoch ein "inkonsistenter Sound im Zentrum" genannt.

⁶³ Im Folgenden werden lediglich einige meiner Ansicht nach repräsentative Frequenzbereiche aufgezeigt, um das Auge nicht durch allzu zahlreiche Abbildungen zu ermüden.

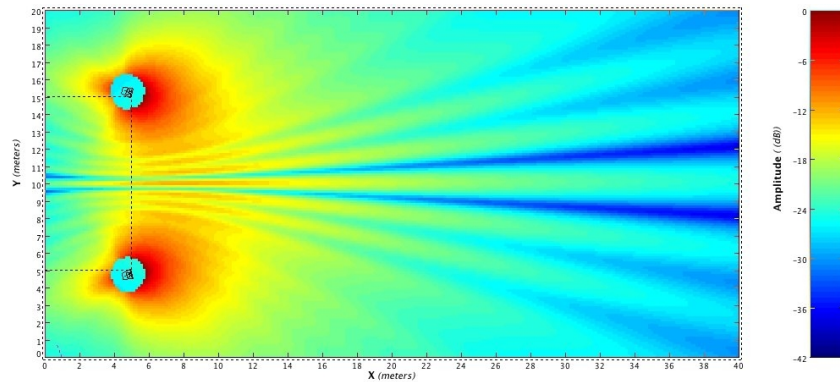


Abbildung 37
Pegelabdeckung bei 250 Hz für gewinkelte Lautsprecher

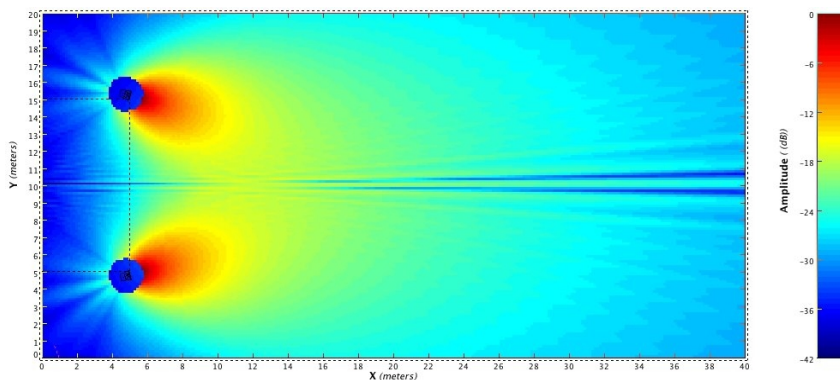


Abbildung 38
Pegelabdeckung bei 1 kHz für gewinkelte Lautsprecher

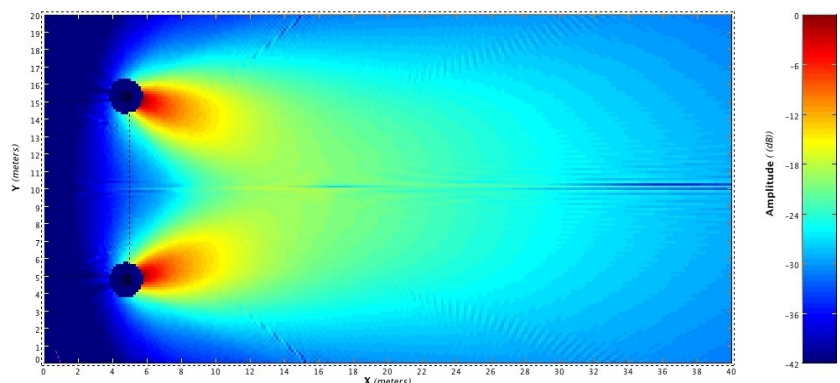


Abbildung 39
Pegelabdeckung bei 4 kHz für gewinkelte Lautsprecher

Die Abbildungen 37-39 führen zu folgenden Erkenntnissen:

- Auch im Falle gewinkelter Lautsprecher zeigen sich bei tieferen Frequenzen deutliche Auslöschungserscheinungen.
- Die Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher wird mit höherer Frequenz enger, wodurch auch das Mittenloch in diesem Fallbeispiel nicht erschlossen werden kann.
- Zudem zeigt sich, dass nun auch seitliche zu beschallende Bereiche zumindest für hohe Frequenzen vernachlässigt werden.
- Bei Winklung der Lautsprecher gerät aufgrund der frequenzabhängigen Abstrahlcharakteristik ein kleinerer Schallanteil zurück auf die Bühne. Die Rückkopplungsgefahr ist damit verringert.

Wird die Winkelung der Lautsprecher erhöht, und rückt man die Stereolautsprecherpositionen weiter nach außen, so gelingt es möglicherweise, das Mittenloch zu schließen. Der Nachteil dabei besteht allerdings darin, dass der von diesen beiden Lautsprechern abgedeckte Bereich nicht so weit nach hinten reicht, als bei gerader Ausrichtung der Lautsprecher. Zudem ergeben sich Herausforderungen bezüglich der Panoramisierung, da die durch die beiden Stereolautsprecherpositionen zur Verfügung stehende Abbildungsbreite nicht der Bühnenbreite entspricht.

Ist man nicht dazu in der Lage, so genannte *outfills* zur Abdeckung der seitlichen Bereiche zumindest für höhere Frequenzen zu organisieren, empfiehlt es sich, durch ein so genanntes *midfill* zu versuchen, bei weniger stark gewinkelten Stereolautsprechern das Mittenloch zu schließen.

A Midfill / Outfill

Die folgenden Abbildungen 40-42 veranschaulichen die Verhältnisse bei Einsatz eines einzelnen *midfills*, oft auch *center*, oder bei Kombination mehrerer Lautsprecher zum Zwecke der Schallpegelerhöhung auch *centercluster* genannt. In diesem Fall handelt es sich um einen weiteren Lautsprecher des Modells CQ2⁶⁴.

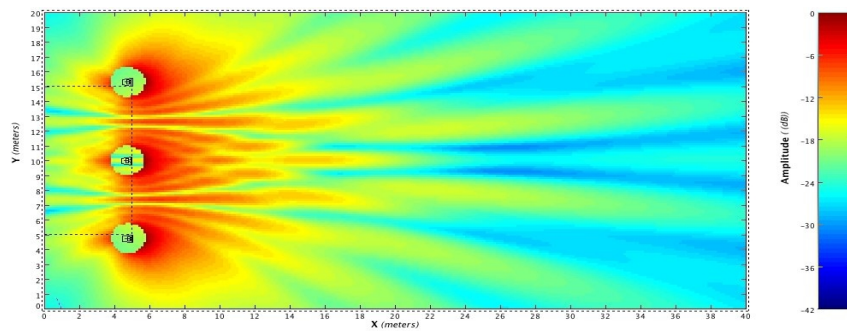


Abbildung 40
Pegelabdeckung bei Einsatz eines *midfills* für die Frequenz 250 Hz.

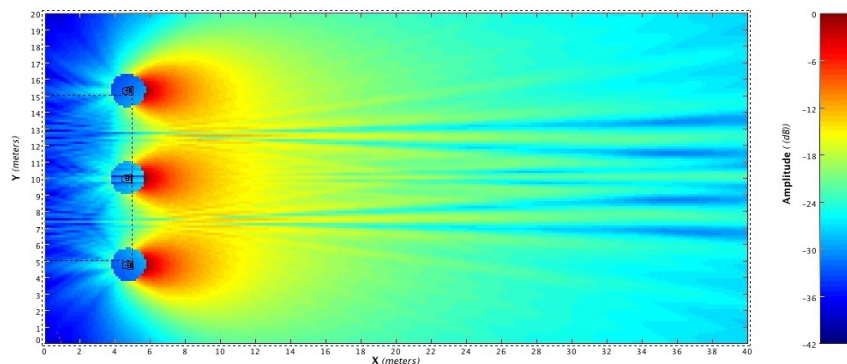


Abbildung 41
Pegelabdeckung bei Einsatz eines *midfills* für die Frequenz 1 kHz

⁶⁴ Als *mid-* oder *frontfill*-Lautsprecher werden zumeist leistungsschwächere Lautsprecher verwendet. Aus Gründen der deutlicheren Veranschaulichung wurden für die folgenden Abbildungen jedoch Lautsprecher des gleichen Modells gewählt.

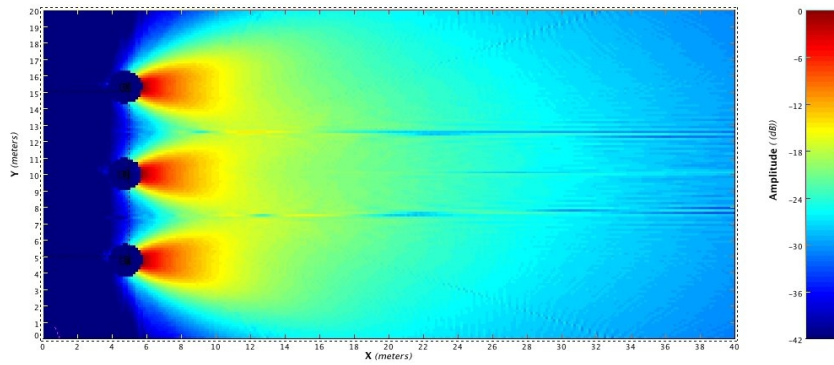


Abbildung 42
Pegelabdeckung bei Einsatz eines *midfills* für die Frequenz 8 kHz

Die folgenden Begebenheiten lassen sich anhand der vorangegangenen Abbildungen 40-42 erkennen:

- Wieder zeigen sich deutliche Auslöschungen bei tiefen Frequenzen. Diese ließen sich lediglich durch den Einsatz weniger Lautsprecher mit breiterer Abstrahlcharakteristik verringern. Dies führt jedoch möglicherweise zu einer höheren Rückkopplungsgefahr aufgrund des höheren Schallanteils, der zurück auf die Bühne gelangt.
- Die Abstrahlung der Lautsprecher zurück auf die Bühne ist relativ stark, was wiederum die Rückkopplungsgefahr erhöht. Möglicherweise wird man den *midfill* durch Einsatz von Filtern im unteren Frequenzbereich ein wenig beschneiden.
- Die Abdeckung des zu beschallenden Bereiches ist für höhere Frequenzen relativ regelmäßig, wie der Abbildung 39 entnommen werden kann.
- So genannte *outfills*, wie sie bereits anhand der schematischen Darstellung in Abbildung 20 veranschaulicht wurden, würden die Entstehung weiterer Auslöschungen begünstigen. In diesem Beispiel wird daher auf den Einsatz dieser zusätzlichen Lautsprecher verzichtet, zumal sich die Abdeckung des zu beschallenden Bereiches als einigermaßen befriedigend darstellt. Eine geringe Winkelung der Stereolautsprecher nach außen ließe die Abdeckung möglicherweise noch ein wenig regelmäßiger erscheinen. Kammfiltereffekte zwischen den Stereoseiten und dem *midfill* könnten dadurch zudem möglicherweise ein wenig verringert werden.

Die folgenden Abbildungen zeigen zur weiteren Veranschaulichung der Kammfilterproblematik bei Einsatz mehrerer Lautsprecher eine multiple Lautsprecheranordnung⁶⁵ als *midfill*, wie sie für sehr breite Bühnen vorgefunden werden kann.⁶⁶

⁶⁵ In diesem Fall handelt es sich um Lautsprecher des Modells UPM 1P.

⁶⁶ Sofern diese Lautsprecher auf Bühnenebene positioniert werden, können diese bereits als *frontfill* dienen. Siehe dazu Abschnitt B.

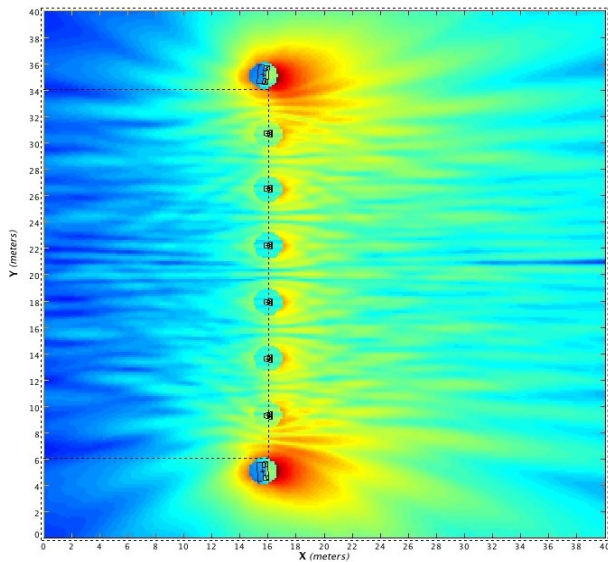


Abbildung 43
Schallpegelverteilung für 250 Hz

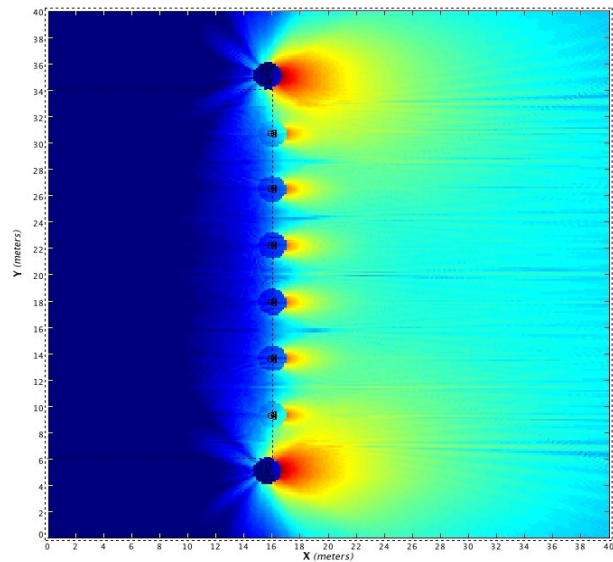


Abbildung 44
Schallpegelverteilung für 2 kHz

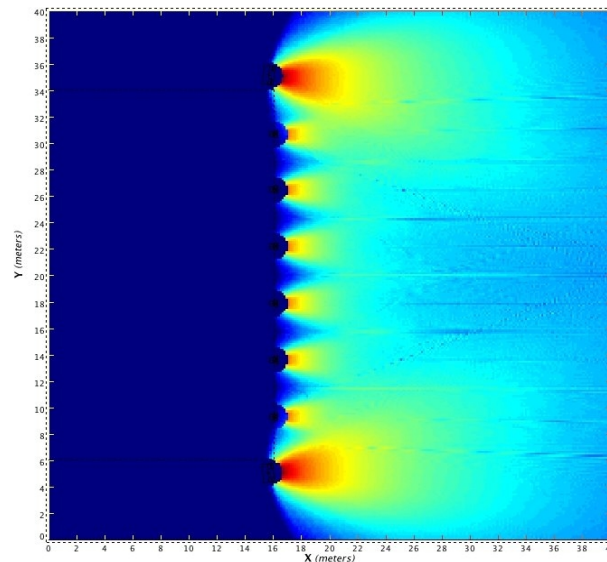


Abbildung 45
Schallpegelverteilung für 8 kHz

B Frontfill / Ground Support

Den vorangegangenen Abbildungen lässt sich deutlich entnehmen, dass der Pegelabfall zwischen vorderem und hinterem zu beschallenden Bereich sehr groß ist. Um diese Differenz zu verringern und auch den vorderen Publikumsreihen einen angenehmeren Schalldruckpegel zukommen zu lassen, werden Lautsprecher oft höher angebracht.⁶⁷

⁶⁷ Siehe dazu auch Kapitel 2.1.2.

Die folgenden Abbildungen 46-48 zeigen die Verhältnisse bei höher angebrachten Lautsprechern anhand einer Darstellung im Aufriss. Die vertikale Abstrahlcharakteristik der Lautsprecher kann so veranschaulicht werden.

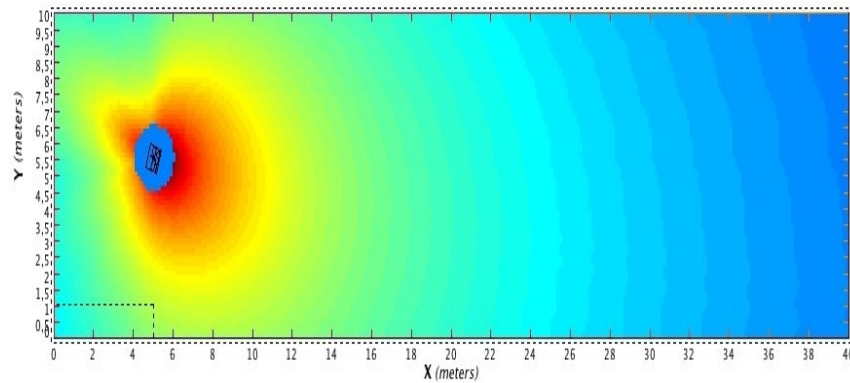


Abbildung 46
Vertikale Pegelabdeckung bei 250 Hz für einen höher angebrachten Lautsprecher

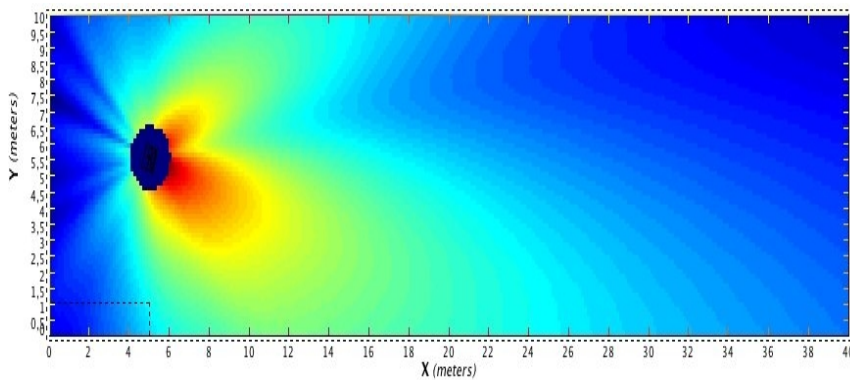


Abbildung 47
Vertikale Pegelabdeckung bei 1 kHz für einen höher angebrachten Lautsprecher

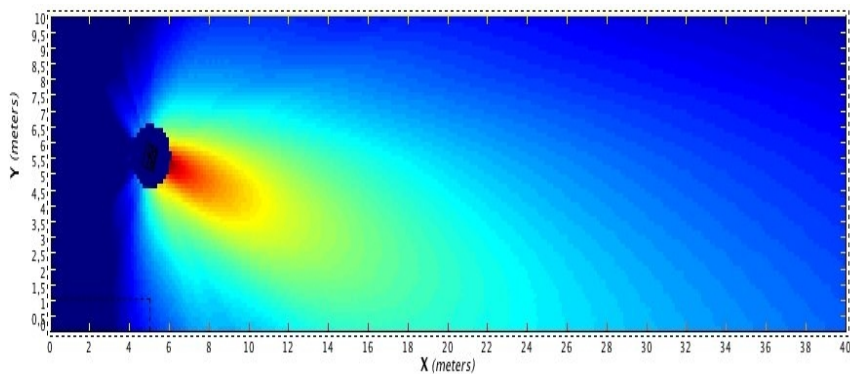


Abbildung 48
Vertikale Abdeckung bei 4 kHz für einen höher angebrachten Lautsprecher

Den Abbildungen 46-48 lassen sich folgende Begebenheiten entnehmen

- Die Schalldruckpegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Reihen ist verringert. Es gilt allerdings zu beachten, dass eine Abdeckung, wie bereits angesprochen, lediglich bis zu einer Distanz von ca. 18-20 m gegeben ist.
- Schall, der zurück auf die Bühne gerät, ist in Bezug auf Rückkopplungen weniger problematisch, da er sich nicht mehr in Hör- beziehungsweise Mikrofonebene befindet.

- Wie bereits angesprochen bringt eine erhöhte Positionierung der Lautsprecher erhebliche Nachteile in Bezug auf eine realistische Abbildung mit sich, zumal die wiedergegebenen Schallquellen nicht mehr auf Bühnenebene, sondern "darüber schwebend" wahrgenommen werden. Kapitel 3.2 wird sich mit diesem Thema befassen.
- Es zeigt sich vor allem anhand der Darstellung 48, dass eine befriedigende Abdeckung zumindest für höhere Frequenzen in diesem Beispiel für die vordersten Reihen des Publikums nicht mehr gegeben ist. Die folgenden Abbildungen 49-50 veranschaulichen die Verhältnisse bei Einsatz eines so genannten *frontfills*⁶⁸ zum Zwecke der Erschließung dieser Lücke.

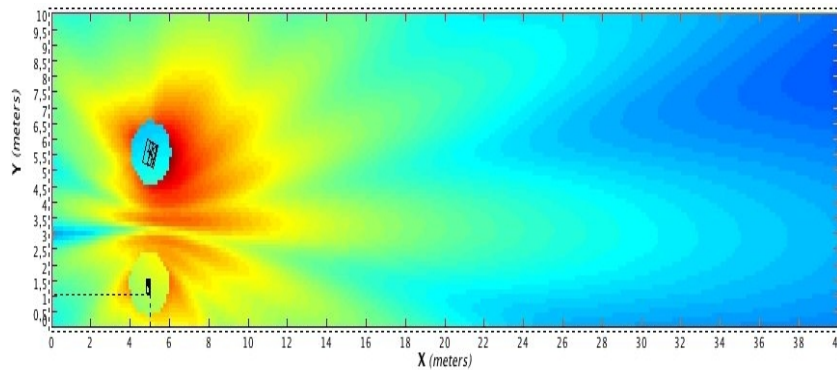


Abbildung 49
Vertikale Pegelabdeckung für 250 Hz bei Einsatz eines zusätzlichen *frontfills*

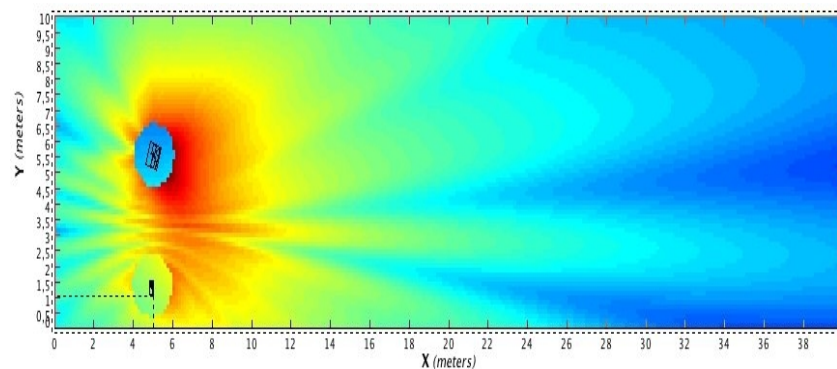


Abbildung 50
Vertikale Pegelabdeckung für 500 Hz bei Einsatz eines zusätzlichen *frontfills*

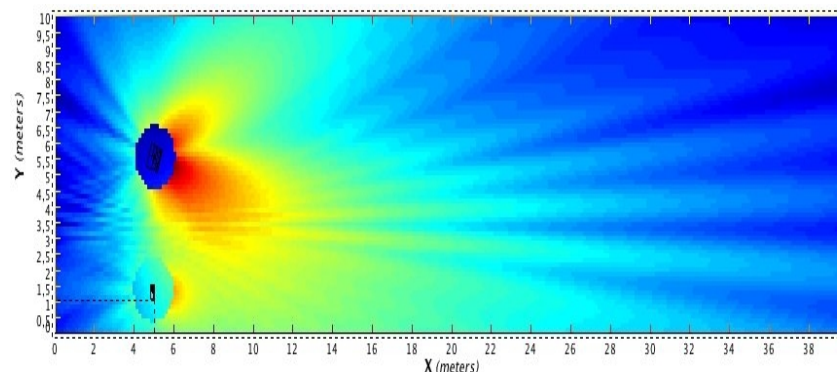


Abbildung 51
Vertikale Pegelabdeckung für 1 kHz bei Einsatz eines zusätzlichen *frontfills*

⁶⁸ Als *frontfill* kommen hier Lautsprecher des Modells UPM 1P zum Einsatz.

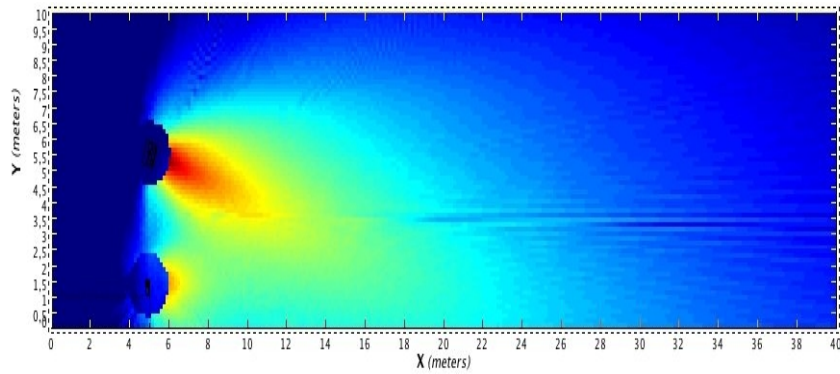


Abbildung 52
Vertikale Pegelabdeckung für 8 kHz bei Einsatz eines zusätzlichen *frontfills*

Die vorangegangenen Abbildungen zeigen deutliche Auslöschungserscheinungen, die durch den unbedachten Einsatz eines *frontfills* entstehen. Anhand der folgenden Abbildungen lässt sich erkennen, dass eine Laufzeitanpassung zwischen erhöhtem Lautsprecher und dem *frontfill* durchaus sinnvoll ist. Im Folgenden wurde eine Laufzeitdifferenz von 8,5 ms an einem 2 m von der Bühnenkante entfernten Abhörpunkt ermittelt.⁶⁹ Der unten angebrachte Lautsprecher wurde entsprechend verzögert.

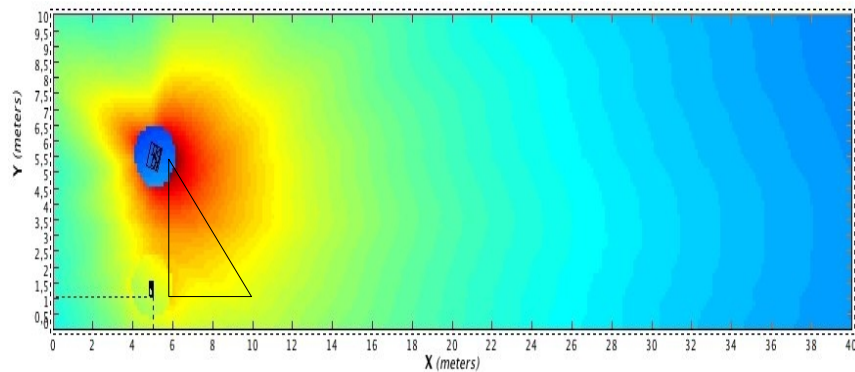


Abbildung 53
Vertikale Pegelverteilung für 250 Hz bei Laufzeitanpassung

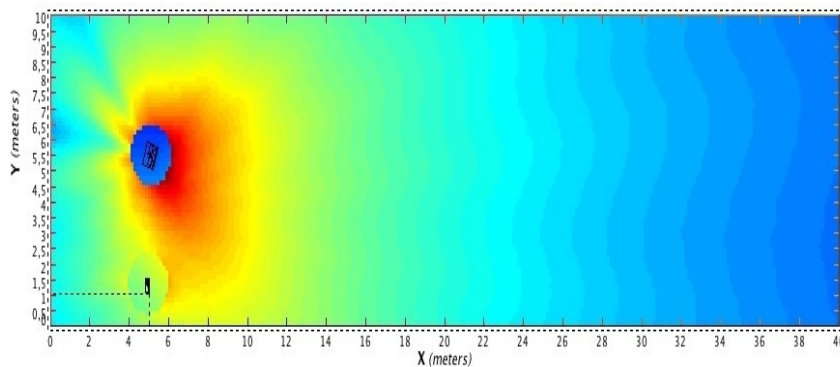


Abbildung 54
Vertikale Pegelverteilung für 500 Hz bei Laufzeitanpassung

⁶⁹ Die Laufzeitdifferenz ist abhängig vom Abhörpunkt und kann nach dem Satz von Pythagoras errechnet werden.

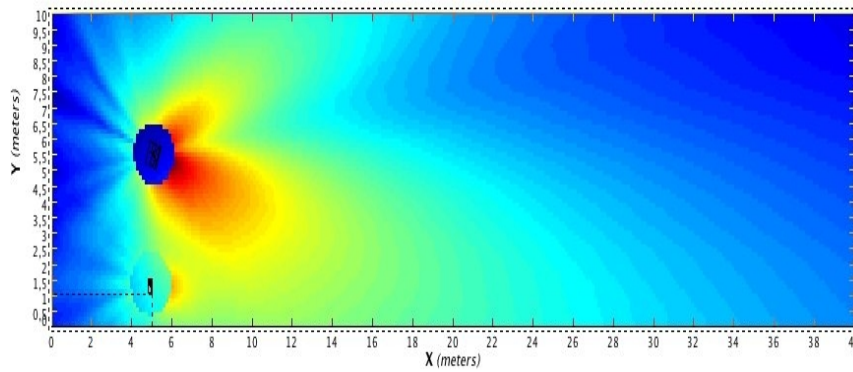


Abbildung 55
Vertikale Pegelverteilung für 1 kHz bei Laufzeitanpassung

Die Abbildungen 53-55 geben zu erkennen, dass Auslöschungen durch entsprechende Verzögerung und Filterung deutlich verringert werden können. Der vordere Publikumsbereich sollte somit abgedeckt sein. Der hintere zu beschallende Bereich verlangt jedoch noch ein wenig Aufmerksamkeit. Um auch diesen Bereich zu erschließen, empfiehlt es sich in diesem Fall, zusätzliche Lautsprecher in Form einer so genannten *delayline* anzubringen.

C Delayline

Die folgenden Abbildungen 56-58 zeigen die Verhältnisse bei Einsatz zusätzlicher Lautsprecher in Form einer bereits entsprechend verzögerten und im unteren Frequenzbereich beschnittenen⁷⁰ *delayline* im Abstand von 21 m von der Bühne, in der Absicht, auch den hinteren zu beschallenden Bereich abzudecken.

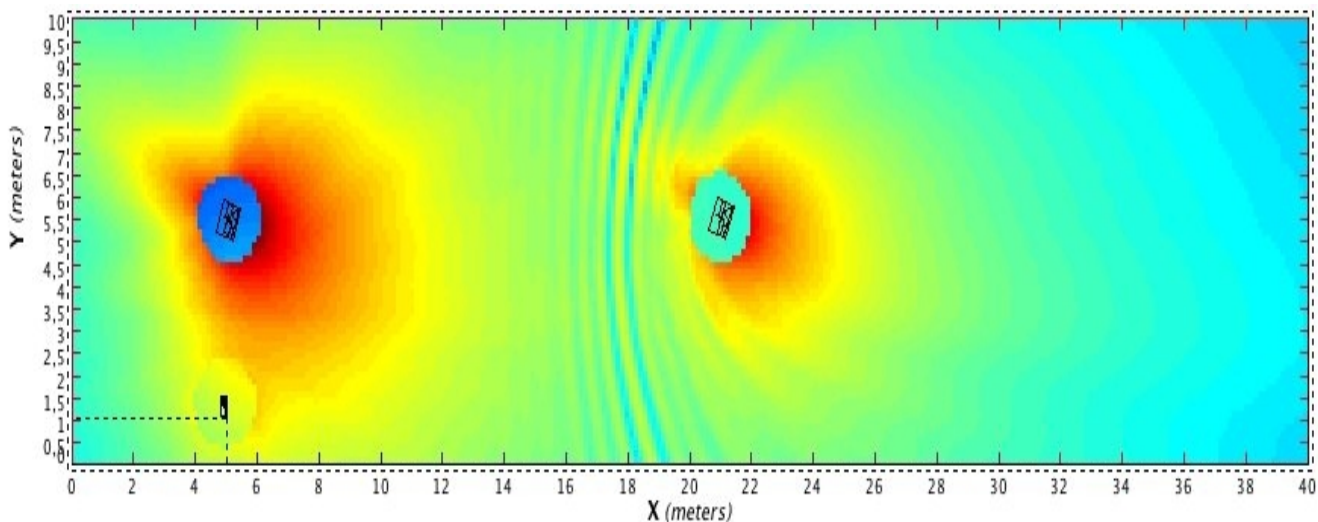


Abbildung 56
Vertikale Pegelverteilung für 250 Hz bei Einsatz einer *delayline*

⁷⁰ Low Shelf-Filter ab 500 Hz um -3dB.

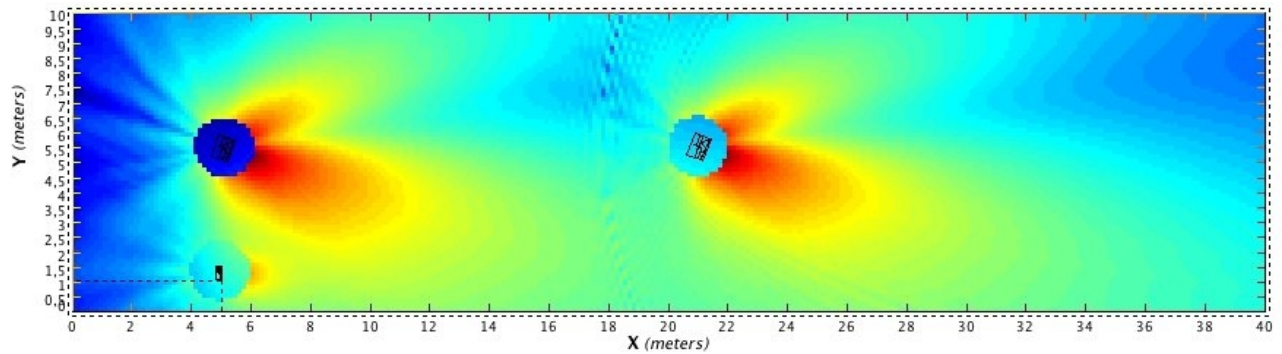


Abbildung 57
Vertikale Pegelverteilung für 1 kHz bei Einsatz einer *delayline*

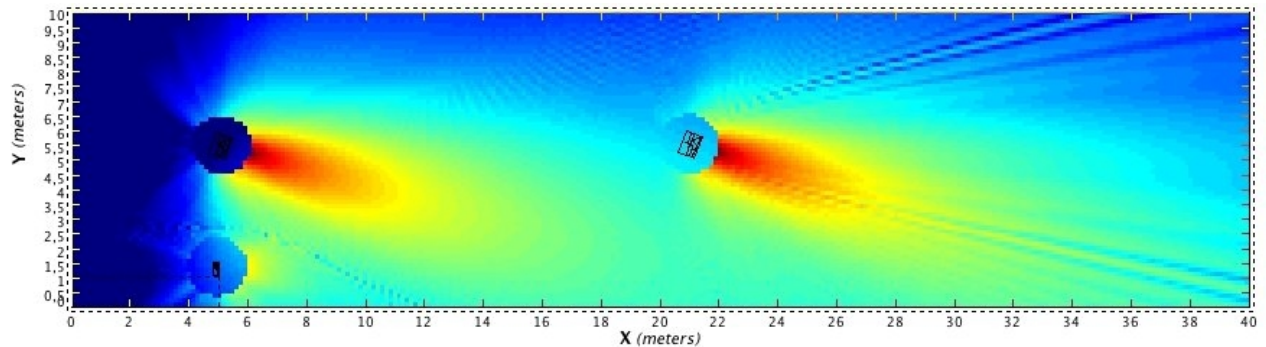


Abbildung 58
Vertikale Pegelverteilung für 4 kHz bei Einsatz einer *delayline*

Wieder zeigen sich trotz Verzögerung und Filterung im unteren Frequenzbereich der *delayline* vor allem anhand der Abbildung 56

- deutliche Auslöschungen im tiefen Frequenzbereich, verursacht durch die frequenzabhängige Abstrahlung des Lautsprechers. Vor allem tiefe Frequenzen werden auch nach hinten abgestrahlt.

Es zeigt sich zudem vor allem anhand der Abbildung 58 sehr deutlich, dass bei einer solchen Lautsprecheranordnung der Schalldruckpegel auf Hörebene⁷¹ im Vergleich zur Hauptabstrahlachse und geringerem Abstand zum Lautsprecher relativ klein ist. Um den geforderten Schalldruckpegel zu erreichen, sollten daher die im Datenblatt des Lautsprechers angegebenen maximal zu erzeugenden Schalldruckpegelwerte beachtet werden, um gegebenenfalls den Pegel durch eine erhöhte Anzahl der Wiedergabelautsprecher entsprechend den Angaben aus den Tabellen 1 und 2 zu erhöhen.

D Line Array

Eine Möglichkeit, den erzeugten Schallpegel weiter abzustrahlen als durch konventionelle Lautsprecher, ist die Verwendung eines *Line Arrays*⁷² und eine damit einhergehende, frequenzabhängige Erzeugung von Zylinderschallwellen.

Die folgenden Abbildungen 59-62 zeigen das Verhalten eines *arrays* von acht Elementen der Serie *MILO*.

⁷¹ Diese Hörebene wird zwischen 1,5 m und 2 m angenommen.

⁷² Bei der Anwendung von *Line Arrays* handelt es sich aufgrund der zu Grunde liegenden Technik zwangsläufig um eine Kombination mehrerer Lautsprecher, weshalb auch dieser Teil der vorliegenden Arbeit Einzug in den Abschnitt "Zusätzliche Lautsprecher" hält.

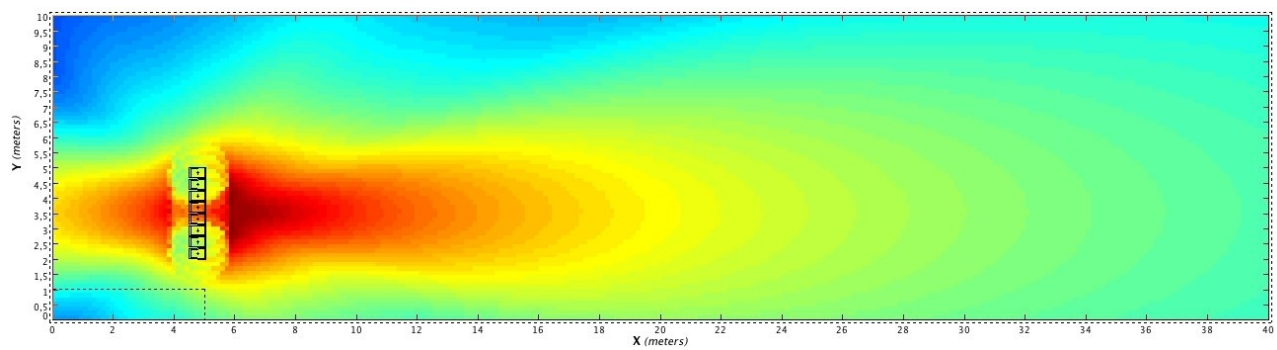


Abbildung 59
Vertikale Pegelabdeckung mittels *line array* bei 250 Hz

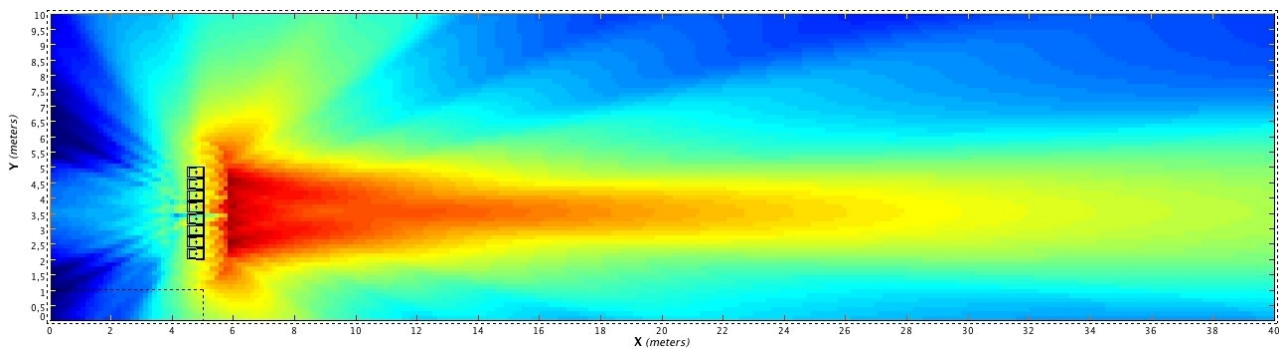


Abbildung 60
Vertikale Pegelabdeckung mittels *line array* bei 1 kHz.

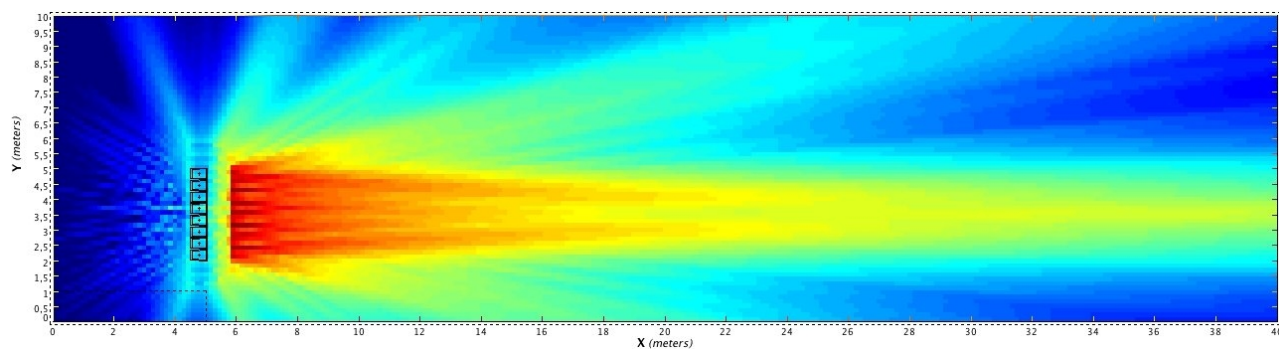


Abbildung 61
Vertikale Pegelabdeckung mittels *line array* bei 4 kHz

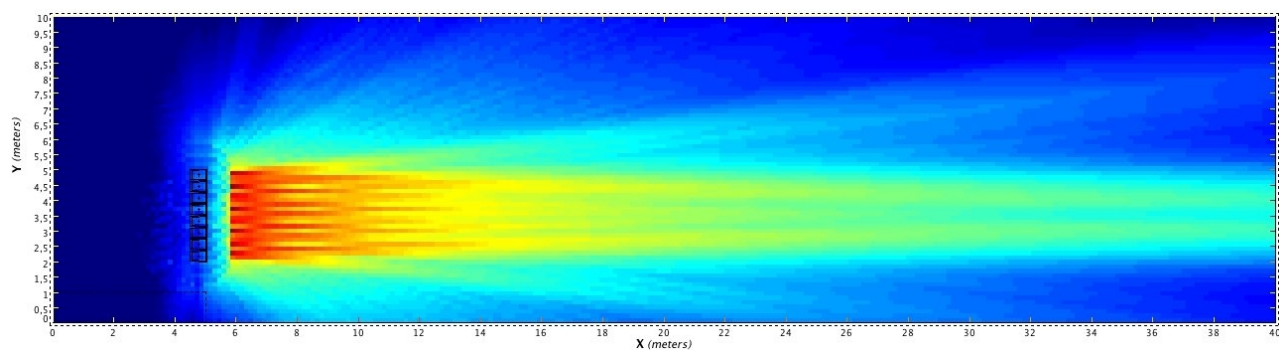


Abbildung 62
Vertikale Pegelabdeckung mittels *line array* bei 8 kHz

Es lässt sich anhand der Abbildungen erkennen, dass höhere Frequenzbereiche deutlich gerichtet abgestrahlt werden. Dies hängt mit der frequenzabhängigen *border distance*, ab der die Zylinderwelle wieder in eine Kugelwelle ausbricht, zusammen. Diese Distanz ist für tiefe Frequenzen deutlich geringer, als für hohe Frequenzbereiche.

Zudem gilt es zu beachten, dass sich die Länge des *line arrays* zur Erzeugung einer Zylinderschallwelle im Bereich der Wellenlänge der abzustrahlenden Frequenz bewegen muss.

Bei Verwendung eines so genannten *curved arrays*, dessen Elemente zueinander in gewissen Stufen angewinkelt werden können, um eine der Umgebung möglicherweise entsprechendere Schallpegelverteilung zu erreichen, verfälscht sich jedoch aufgrund der entstehenden Krümmung die Abstrahlung als Zylinderwelle⁷³, sodass pro Distanzverdoppelung mit einem frequenzabhängigen Pegelverlust von zwischen 3 dB und 6 dB gerechnet werden kann.

Die folgenden Abbildungen 63-65 zeigen die Verhältnisse bei Verwendung eines *curved arrays* von acht Elementen der Serie *MELODY*.

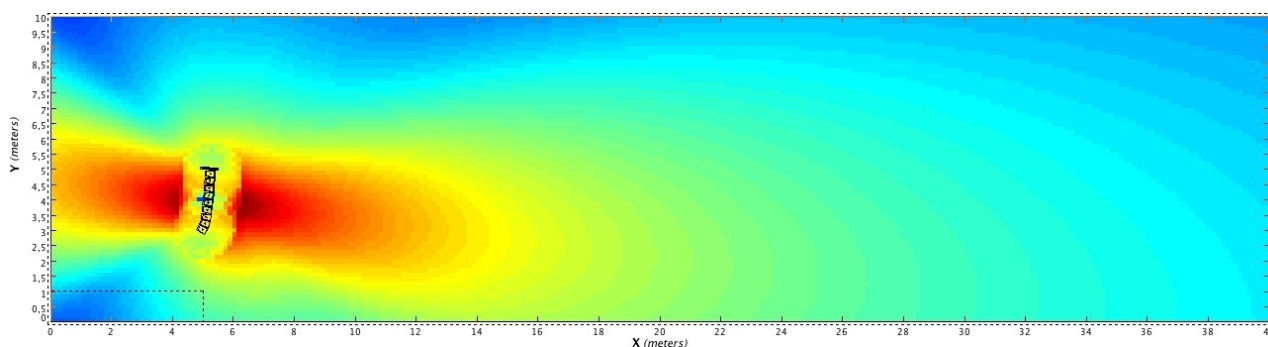


Abbildung 63
Vertikale Pegelabdeckung mittels *curved array* bei 250 Hz

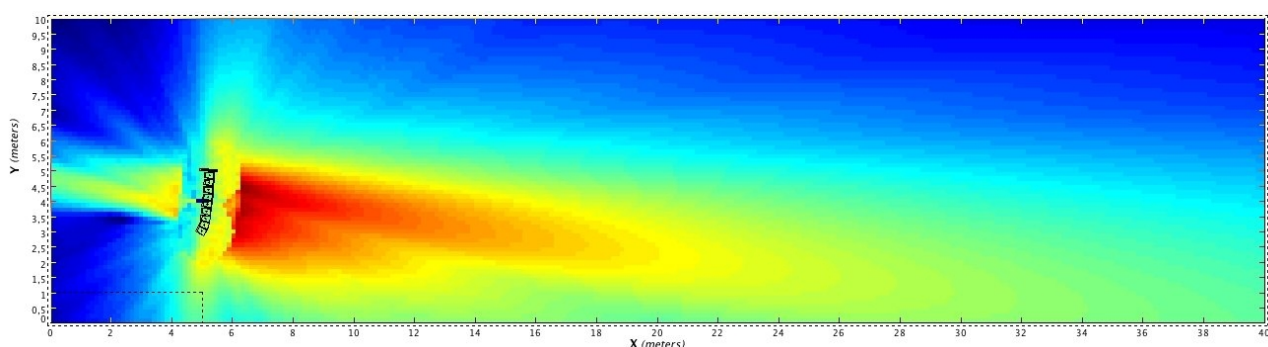


Abbildung 64
Vertikale Pegelabdeckung mittels *curved array* bei 1 kHz

⁷³ Je stärker die Krümmung, desto größer der betroffene Frequenzbereich.

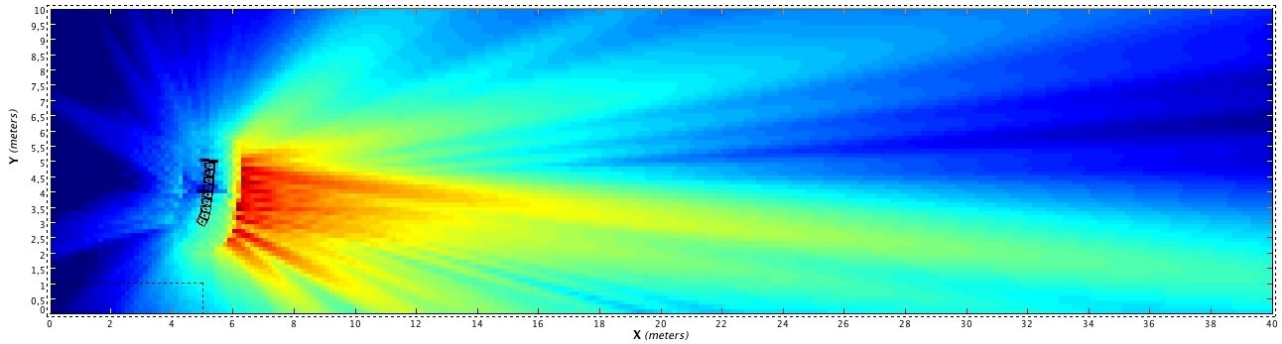


Abbildung 65
Vertikale Pegelabdeckung mittels *curved array* bei 4 kHz

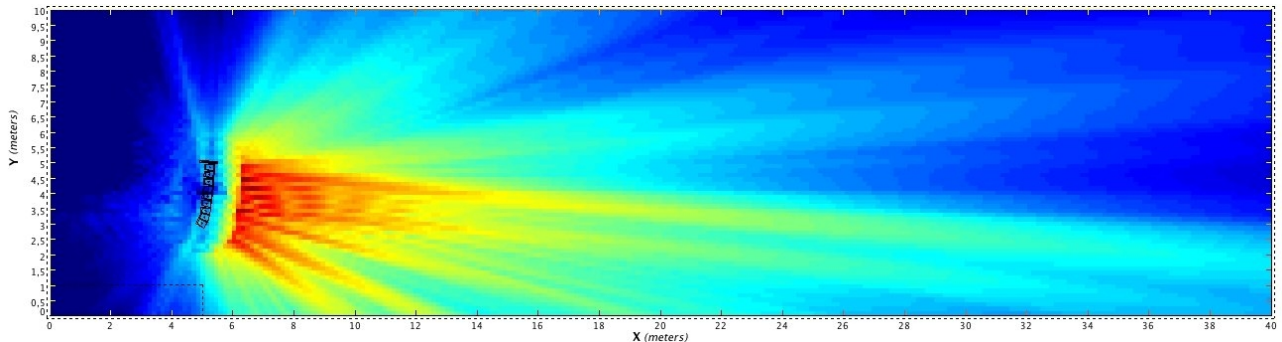


Abbildung 66
Vertikale Pegelabdeckung mittels *curved array* bei 8 kHz

Die Abbildungen 63-66 geben zu erkennen, dass in diesem Fallbeispiel die Verwendung zusätzlicher Lautsprecher als *frontfill* durchaus in Frage kommt.

Bei der Konzeption von Beschallungsanlagen erweist es sich als sinnvoll, ein wenig Zeit mit der Planung zur Positionierung der Lautsprecher beziehungsweise zur möglichen Winkelung der *line array*- Elemente zu verbringen. Die vorangegangenen Erläuterungen sollten zeigen, dass es bei der Anordnung von Lautsprechern hinsichtlich Schallpegelabdeckung vielfältige Faktoren zu berücksichtigen gilt. Zudem birgt jede vermeintliche Verbesserungsmaßnahme zumeist auch die Gefahr der Verschlechterung hinsichtlich eines anderen Faktors. Eine vernünftige Planung erweist sich dadurch oft als besonders langwierig, zumal in der Praxis üblicherweise auch wirtschaftliche Faktoren wie Budgetvorgaben und weitere fachfremde Aspekte zu beachten sind.

Im Folgenden sollen Lösungsansätze in Bezug auf eine realistische Abbildung und Panoramisierung unter der Berücksichtigung der eben dargestellten Lautsprecheraufstellungen erläutert werden.

3.2 Realistische Abbildung und Panoramisierung

Während es sich in Kapitel 3.2.1 noch um weit verbreitete Ansätze bei einer konventionellen Panoramisierung über *panpots* handelt, sollen in weiterer Folge mögliche Alternativen aufgezeigt werden, denen ein anderer Gedankengang zu Grunde liegt.

3.2.1 Zusätzliche Lautsprecher

Im vorangegangenen Kapitel 3.1 wurde der Einsatz zusätzlicher Lautsprecher zum Zwecke der Abdeckung eines zu beschallenden Bereiches umrissen.

Es handelte sich dabei um die Kategorien

- *midfill / outfill*,
- *frontfill / ground support*, sowie
- *delayline*.

Zudem wurde diesen Kategorien das Thema

- *line array* hinzugefügt.

Die folgende Tabelle 6 zeigt auf, welche Signalaufteilungen üblicherweise bei Beschallungen vorgefunden werden können.

Bei der Angabe L handelt es sich um die linke Seite der Stereosumme, bei der Angabe R entsprechend um die rechte Seite der Stereosumme.

Werden die beiden Signale L und R zusammengefasst, handelt es sich um das Signal M (Monosumme).

LAUTSPRECHERGRUPPE	MÖGLICHE SIGNALE
<i>midfill</i> • <i>center/centercluster</i> • <i>multiple Lautsprecheranordnung</i>	- M - LCR - individuell - abwechselnd L und R - M - (L)C(R) - direkte Ansteuerung über Busse
<i>sidefill</i>	- L/R
<i>frontfill / ground support</i>	- abwechselnd L und R - direkte Ansteuerung über Busse
<i>delayline</i>	- L/R - eventuell M
<i>line array</i>	- L/R

Tabelle 6

Bei der Angabe LCR⁷⁴ handelt es sich um eine Intensitätspanoramisierung über die drei Positionen linke Stereoseite, *center* und rechte Stereoseite.

Im Falle der Verwendung eines Mischpultes wie *PM1D* von *Yamaha* lassen sich bei Positionierung eines *Center*-Lautsprechers beziehungsweise eines *Centerclusters* zur Panoramisierung über die drei Lautsprecherpositionen "links", "mitte/center" und "rechts" je nach Dimensionierung der *Center*-Lautsprecher diverse Pegelkurven anwählen. Abbildung 67 zeigt diese Kurven.

⁷⁴ Während es sich bei "reiner" LCR-Beschallung theoretisch um einen gleich dimensionierten *Center*-Lautsprecher handelt, ist dies bei Einsatz eines beliebigen *center* oder *centerclusters* nicht der Fall. Aus diesem Grund werden diverse Panoramisierungskurven zur Verfügung gestellt.



Abbildung 67
(CS1DE Reference Manual Software PM1D, Seite 112)

Die Anmerkung "individuell" aus Tabelle 6 bezieht sich auf die Möglichkeit, nur ausgewählte Signale durch den *center*- Lautsprecher beziehungsweise den *centercluster* wiederzugeben. Bei Beschallung einer Band könnte es sich dabei beispielsweise um die Wiedergabe der *Lead*-Stimme handeln. Eine solche Vorgehensweise kann sich sowohl positiv auf die Klarheit des Gesamtklangbildes als auch auf den *headroom*⁷⁵ des Systems auswirken.

A Verteilung der linken und rechten Stereosummen-Seite

Die folgende schematische Darstellung in Abbildung 68 soll die Aufteilung der Signale auf die Lautsprecher der *outfills*, *frontfills* und *delayline* laut Tabelle 6 veranschaulichen.

Die blau markierten Lautsprecherpositionen sind bei Zuordnung zum linken Signal der Stereosumme grün, bei Zuordnung zum rechten Signal der Stereosumme rot markiert. Gelbe Markierung kennzeichnet die Zuordnung zu einer Monosumme.

⁷⁵ Leistungsreserven des Systems; Als *headroom* bezeichnet man die Differenz zwischen maximal zu erreichendem Schalldruckpegel und einem "Arbeitspegel", also einem Pegel, der dauerhaft erzeugt werden kann.

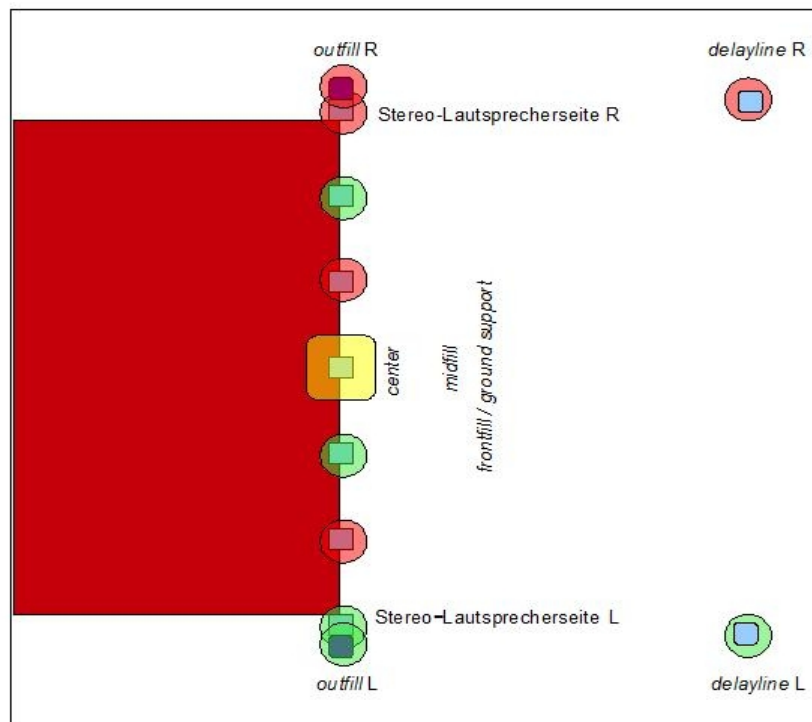


Abbildung 68

Die Zuordnung von abwechselnd linkem und rechtem Stereosignal zu den *midfills* beziehungsweise *frontfills* gründet sowohl in dem Bestreben, den Zuhörern an den Außenpositionen auch die Informationen der anderen Stereoseite zukommen zu lassen, als auch in dem Bestreben, den Zuhörern im vorderen Bühnenbereich, der möglicherweise aufgrund erhöhter Anbringung der Stereolautsprecher vernachlässigt wird, ein Stereoerlebnis zu ermöglichen. Falls wenig Zeit und Mittel zur Verfügung stehen, ein komplexeres System zu diesem Zwecke zu realisieren, stellt diese Art der Signalaufteilung eine rasch handzuhabende Möglichkeit dar, da kein zusätzlicher Aufwand bei der Mischung der wiederzugebenden Signale anfällt.

Die wahrgenommene Abbildung kann in diesem Fall jedoch nicht den realen Begebenheiten auf der Bühne entsprechen.

B Direkte Ansteuerung

Die Option "direkt über Busse", welche für *midfill* und *frontfill* in Tabelle 6 angeführt ist, kennzeichnet eine Signalzuordnung, die eine Mischung über mehr als zwei Ausgangskanäle erfordert. In diesem Fall werden also nicht die beiden Signale einer Stereomischung aufgeteilt, sondern für jede Position der *midfill*- und/oder *frontfill*-Lautsprecher eine eigene Mischung der wiederzugebenden Schallquellen erstellt. Jede Lautsprecherposition könnte in diesem Fall eine Panoramaposition für an dieser Stelle wiederzugebende Schallquellen repräsentieren. Die folgende schematische Darstellung soll in vereinfachter Form die Vorgehensweise verdeutlichen:

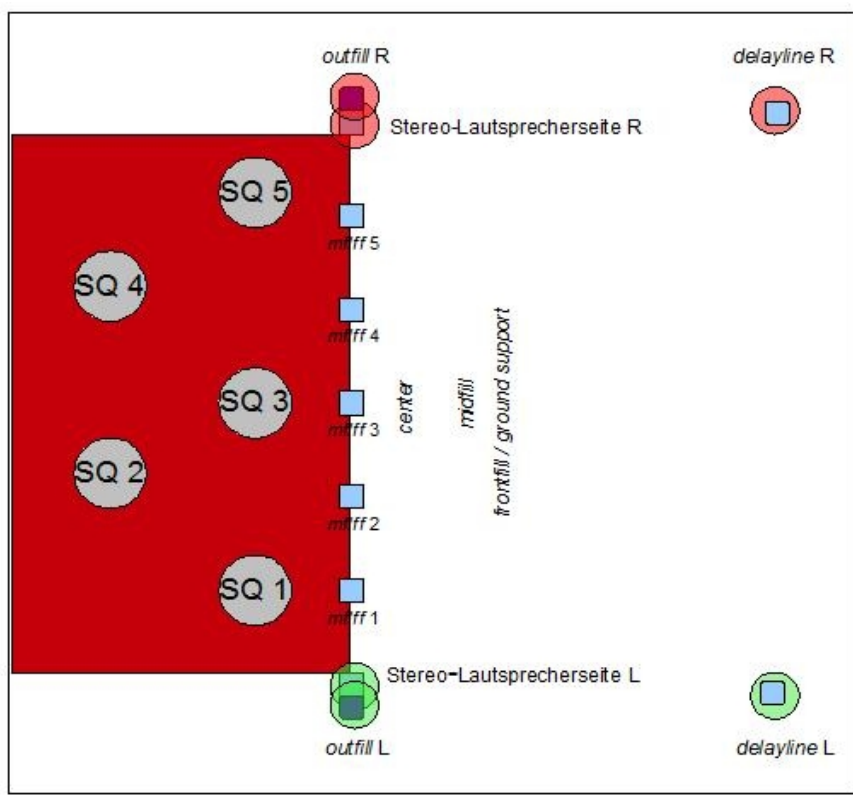


Abbildung 67

Die Signalquellen (SQ) 1-5 werden nach folgender Tabelle den entsprechenden Lautsprechern *midfill/frontfill* (*mf/ff*) 1-5 zugeordnet.

LAUTSPRECHER	LAUTSPRECHER-INPUT	MISCHUNG DER SIGNALE
Stereo-LS Seite R <i>outfill R</i> <i>delayline R</i>	Stereomischung R	SQ 1-5 (konventionelle Panoramisierung)
<i>mf/ff 5</i>	Bus 5	SQ 5
<i>mf/ff 4</i>	Bus 4	SQ 4
<i>mf/ff 3</i>	Bus 3	SQ 3
<i>mf/ff 2</i>	Bus 2	SQ 2
<i>mf/ff 1</i>	Bus 1	SQ 1
Stereo-LS-Seite L <i>outfill L</i> <i>delayline L</i>	Stereomischung L	SQ 1-5 (konventionelle Panoramisierung)

Tabelle 7

Auf diese Art der Signalaufteilung auf *mid-* und *frontfills* wird im Praxisteil noch die Rede sein, zumal sie als durchaus sinnvolle Ergänzung zu einer spektral-panoramisierten Stereomischung dienen kann. Siehe dazu auch den Abschnitt "Konzertbeschallung in Mogno" im Anhang.

C Laufzeitanpassung zwischen den Lautsprechergruppen

Es wurde bereits erwähnt, dass eine erhöhte Anbringung der Lautsprecher dazu führt, die Abbildung von der Bühne weg auf eine höhere Ebene zu ziehen. Die damit einhergehende Lokalisation der wiedergegebenen Schallquellen "von oben" wird zumeist als unangenehm empfunden. Als Gegenmaßnahme dazu kann man sich das Gesetz der ersten Wellenfront zu Nutze machen, in dem man die Lautsprecher entsprechend verzögert. Damit bilden die auf Hörebene angebrachten *frontfill*- oder gegebenenfalls auch *midfill*-Lautsprecher die erste Wellenfront, sodass die Abbildung wieder nach unten gezogen wird. In einer solchen Funktion können *frontfill*- und gegebenenfalls auch *midfill*-Lautsprecher als *ground support* bezeichnet werden.

Kommen eine oder mehrere *delaylines* zum Einsatz, ist es auch in Hinblick auf eine realistische Abbildung wichtig, die Laufzeitdifferenzen zwischen den Lautsprechern an der Bühne und denen der *delayline* auszugleichen. Durch eine solche Vorgehensweise kann ein "Abrutschen" der Stereo-Abbildung von der Bühne in die Ebene der *delayline* weitgehend vermieden werden.

Bei hohen Laufzeitdifferenzen entsteht zudem ohne entsprechende Anpassung der *delayline* ein unangenehmer Echoeffekt.

Klangeinbußen im Bereich vor dem geplanten Einsatzgebiet der *delayline* lassen sich jedoch aufgrund der wenig gerichteten Abstrahlung tiefer Frequenzen nicht vermeiden.

3.2.2 Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo

Um sich in dem Bestreben, dem Zuschauerbereich den vollen Genuss einer akustischen Darbietung zu ermöglichen, einer Methode zu bedienen, die qualitativ dem als *midfill* so oft vorzufindenden, konventionellen Mono-*Centercluster* überlegen ist, bietet sich die Matrix nach Gerzon an.

Die von ihm entwickelten *decoder* versprechen

aus einem konventionellen Stereo-Eingangs-Signal
Ausgangs-Signale für Lautsprecher an bis zu fünf⁷⁶ Positionen
innerhalb einer Frontlautsprecheraufstellung

dergestalt zu generieren, dass die Stereoillusion über einen breiten Hörbereich stabil erhalten bleibt.

Es handelt sich bei dieser Matrix also um eine Möglichkeit, eine konventionelle Stereomischung auf mehr als zwei Wiedergabelautsprecher an der Bühnenfront zu verteilen. Die folgende Darstellung zeigt die allgemeine Funktionsweise einer solchen Matrix:

⁷⁶ Theoretisch realisierbar sind auch Signale für mehr als 5 Lautsprecherpositionen. Die Komplexität der nötigen Berechnungen steigt allerdings enorm mit der Anzahl der gewünschten Reproduktionslautsprecher. (Siehe dazu Gerzon, 1992: Seite 576 beziehungsweise 577.)

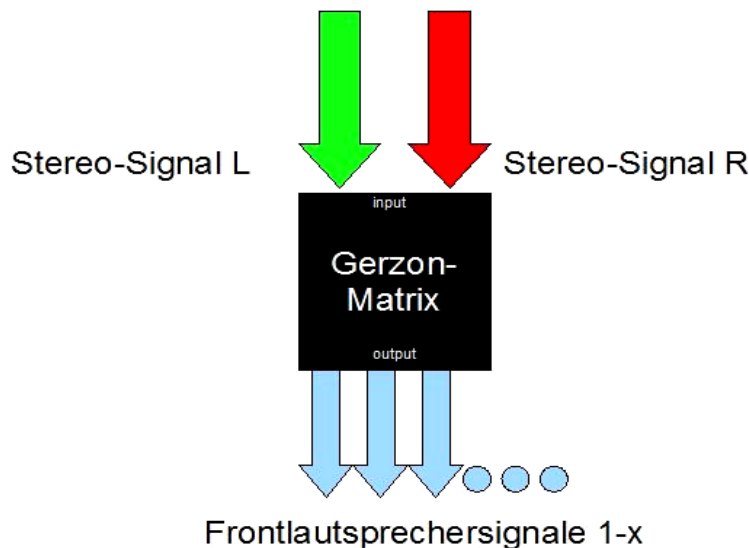


Abbildung 70

Um dem eben beschriebenen Anspruch, mehrere Frontlautsprechersignale so zu generieren, dass ein Stereoeindruck für den gesamten Publikumsbereich erzielt werden kann gerecht zu werden, muss die Matrix die folgenden Anforderungen erfüllen:

A Energy Preservation

Die Gesamtenergie aller Signale innerhalb des Stereomix muss erhalten bleiben. Ein *decoder*, der diesen Anspruch erfüllt, wird als *energy preservation decoder*, in weiterer Folge schlicht *preservation decoder* genannt, bezeichnet.

Die Energieerhaltung ist aus folgenden Gründen als essentiell zu betrachten:

- Die Balance der einzelnen Signale innerhalb der Stereomischung kann nur durch Einhaltung dieser Bedingung erhalten bleiben.
(Gerzon, 1992: Seite 574)
- Bei entsprechender Aufnahmetechnik bleibt die Balance zwischen Direktschall und ersten Reflexionen erhalten. Diese ist besonders zur Erkennung des Abstandes zwischen Zuhörer und Schallquelle wichtig.
(Gerzon, 1992: Seite 574)
- Bei Aufnahmetechniken die sich sowohl der Intensitäts- als auch der Laufzeitunterschiede zur Erzeugung eines Stereobildes bedienen führt eine Missachtung der genannten Bedingung zu hörbaren Kammfiltereffekten.
(Gerzon, 1992: Seite 574)
- Zudem führt die Erhaltung der Gesamtenergie auch dazu, die Stereobreite des Signals zu bewahren.
(Gerzon, 1992: Seite 574)

B Lokalisation

Die Lokalisation der Schallquellen soll nach Durchlaufen der Matrix der Lokalisation des Stereosignals so ähnlich wie möglich, wenn nicht gar besser sein.⁷⁷

Ein *decoder*, der diesen Anspruch berücksichtigt, wird als *improvement decoder* bezeichnet.

Die Struktur von *preservation decoder* und *improvement decoder* soll im Folgenden erläutert werden:

C Preservation Decoder

Die folgende Darstellung zeigt das allgemeine Blockschaltbild einer $(n_1 \times n_2)$ -Matrix, welche die Forderung nach Erhaltung der Gesamtenergie erfüllt:

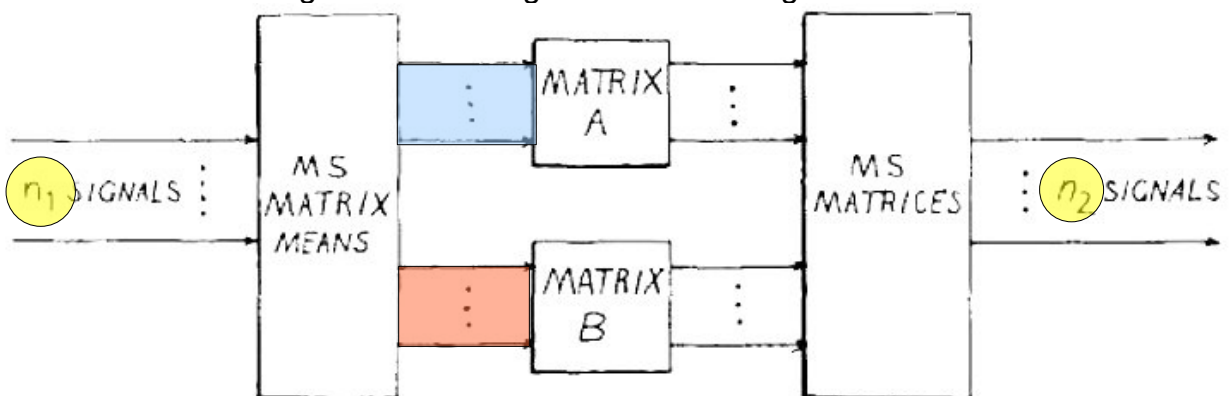


Abbildung 71
(Gerzon, 1992: Seite 574)

Wie aus dieser Darstellung ersichtlich wird aus dem Eingangssignal n_1 ⁷⁸ mittels MS-Matrix ein Summen- sowie ein Differenzsignal generiert. Das Summensignal M_p wurde in dieser Darstellung blau markiert, während sich das Differenzsignal S_p in dieser Abbildung rot darstellt.

Das Summensignal M_p wird in weiterer Folge mittels Matrix A manipuliert, während das Differenzsignal S_p Matrix B durchwandert. Die so entstehenden Signale werden wiederum durch eine MS-Matrix geführt um die gewünschte Anzahl an Lautsprechersignalen n_2 zu erhalten.

Die Funktion einer MS-Matrix wird anhand der folgenden Formeln⁷⁹ beschrieben:

$$\begin{aligned}M_p &= 2^{-1/2} (L_p + R_p) \\S_p &= 2^{-1/2} (L_p - R_p) \\L_p &= 2^{-1/2} (M_p + S_p) \\R_p &= 2^{-1/2} (M_p - S_p)\end{aligned}$$

⁷⁷ Zur Beurteilung der Lokalisation bediente sich Gerzon in seinen Untersuchungen einiger psychoakustischer Parameter, welche zu beschreiben den Umfang dieser Arbeit sprengen würden. Es sei an dieser Stelle nur erwähnt, dass eben diese Lokalisationsparameter jeweils vor und nach Durchlaufen der Decoder empirisch ermittelt und miteinander verglichen wurden um optimale Werte für die Parameter der Berechnungsmatrizen zu finden.

⁷⁸ $n_1 = 2, 3, 4$; Siehe dazu Abschnitt D: *Composite Preservation Decoder*

⁷⁹ Gerzon, 1992: Seite 572-573

Die Funktion von Matrix A beziehungsweise Matrix B hängt davon ab, welchen Wert n_1 beziehungsweise n_2 annehmen, beziehungsweise annehmen sollen.

Während sich diese Berechnungen für den Fall eines 3 x 2 - *decoders*, also eines *decoders*, der aus 2 Eingangssignalen, beziehungsweise einer Stereomischung, Signale für 3 Wiedergabelautsprecher generiert, als relativ einfach erweisen, gewinnt die Sache enorm an Komplexität, je höher die Anzahl der Wiedergabelautsprecher n_2 gewünscht ist.

Die folgenden Darstellungen sollen diesen Umstand verdeutlichen:

For an energy-preserving 3×2 matrix decoder, the matrix A equation is of the form

$$\begin{pmatrix} M_3 \\ C_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin \phi \\ \cos \phi \end{pmatrix} [M_2]$$

and the matrix B equation is simply

$$S_3 = S_2$$

Abbildung 72
(Gerzon, 1992: Seite 575)

The matrix A equations of the 5×4 matrix decoder have the form

$$\begin{pmatrix} M_6 \\ M_7 \\ C_5 \end{pmatrix} = 2^{-1/2} \begin{pmatrix} a + \mu_1 \cos \phi_4 + \nu_1 \sin \phi_4 & a - \mu_1 \cos \phi_4 - \nu_1 \sin \phi_4 \\ b - \mu_2 \cos \phi_4 + \nu_2 \sin \phi_4 & b + \mu_2 \cos \phi_4 - \nu_2 \sin \phi_4 \\ c - \lambda \sin \phi_4 & c + \lambda \sin \phi_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_4 \\ M_5 \end{pmatrix}$$

where ϕ_4 is an angle parameter, (a, b, c) is a unit-length vector with positive entries a, b , and c , and

$$\lambda = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\mu_1 = \frac{b}{\lambda}, \quad \mu_2 = \frac{a}{\lambda}$$

$$\nu_1 = \frac{ac}{\lambda}, \quad \nu_2 = \frac{bc}{\lambda}$$

The matrix B equations have the form

$$\begin{pmatrix} S_6 \\ S_7 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_5 & -\sin \phi_5 \\ \sin \phi_5 & \cos \phi_5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_4 \\ S_5 \end{pmatrix}$$

Abbildung 73
(Gerzon, 1992: Seite 576)

Die in den Funktionsformeln der Matrizen anzutreffenden Winkelangaben beziehen sich auf die Öffnungswinkel der Lautsprecher, wobei die tief angeführte Ziffer die Anzahl der Wiedergabelautsprecher beschreibt. Im Falle dieser Matrizen wird bei multipler Lautsprecheranordnung davon ausgegangen, dass alle benachbarten Lautsprecher den gleichen Öffnungswinkel vorweisen.

Im Praxisteil findet dieser Winkel noch nähere Erläuterung.

Wird eine Anzahl von Wiedergabelautsprechern gewünscht, die mit Hilfe eines einzigen solchen *preservation decoders* nicht realisiert werden kann, bietet sich die Möglichkeit, einen so genannten *composite preservation decoder* einzusetzen.

D Composite Preservation Decoder

Bei einem *composite preservation decoder* handelt es sich um eine Zusammensetzung mehrerer *decoder* zum Zwecke der Generierung einer Anzahl von Wiedergabelautsprechern, welche mit Hilfe eines einzelnen *decoders* nicht realisierbar ist.

Die folgende Darstellung zeigt das allgemeine Blockschaltbild zur Erstellung eines solchen *composite preservation decoders*.

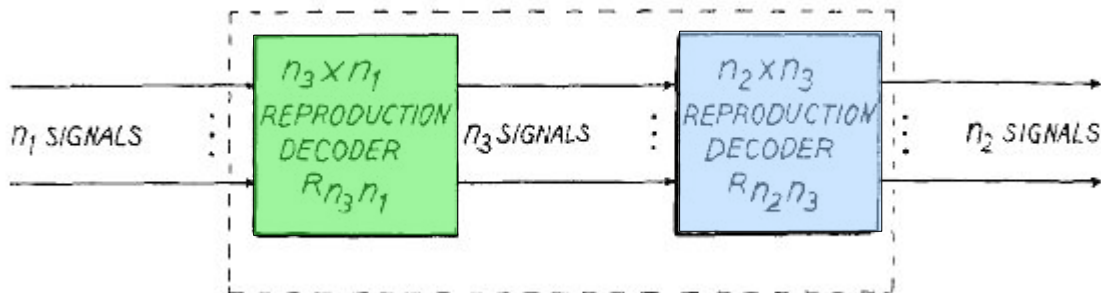


Abbildung 74
(Gerzon, 1992: Seite 577)

Es zeigt sich anhand dieser Darstellung, dass die Ausgangssignale des ersten *decoders*, hier grün markiert, als Eingangssignale (n_3) des zweiten *decoders*, hier blau markiert dienen, um in weiterer Folge die gewünschte Anzahl an Lautsprechersignalen n_2 zu erhalten. Es handelt sich damit um eine Serienschaltung zweier *decoder*, beziehungsweise um eine Multiplikation derer Matrizen.

Um einen *decoder* zu erstellen, der dem in Abschnitt B dieses Kapitels aufgezeigten Anspruch nach möglichst "originalgetreuer" Abbildung entspricht, empfehlen sich jedoch weitere, besondere Maßnahmen, wie sie im folgenden Abschnitt geschildert werden.

E Improvement Decoder

Um bei der Konstruktion eines *decoders* der Forderung nach originalgetreuer Abbildung gerecht zu werden ist es erforderlich, auf hörphysiologische Begebenheiten Rücksicht zu nehmen. Es wurde bereits erwähnt, dass sich das Ohr zur Lokalisation von Schallquellen unterschiedlicher Methoden bedient. Zum einen können Schalleinfallswinkel durch Laufzeitunterschiede erkannt werden, zum anderen sind es Pegeldifferenzen, die zur Ortung der Schallquelle beitragen.⁸⁰

Die Lokalisation durch Laufzeitunterschiede funktioniert jedoch nur bis etwa 700 Hz, da die halbe Wellenlänge dieser Frequenz dem durchschnittlichen Ohrabstand entspricht. Die Lokalisation durch Pegeldifferenzen hingegen funktioniert vorrangig bei Frequenzen zwischen 700 Hz und 5 kHz. Selbstverständlich handelt es sich auch an dieser Stelle um eine vereinfachte Darstellung der hörphysiologischen

⁸⁰ Es wurde bereits erwähnt, dass sich die Richtungswahrnehmung wesentlich komplexer gestaltet. Da Gerzon sich bei seinen Ausführungen über die hier beschriebenen Matrizen jedoch lediglich auf die zwei Komponenten Laufzeit und Pegel bezieht, sollen auch an dieser Stelle nur diese beiden Faktoren zur Sprache kommen.

Eigenschaften. Bei Frequenzen über 5 kHz findet zudem eine Methodenkombination statt, die sich keineswegs mehr vereinfacht darstellen lässt.⁸¹

Die Richtungswahrnehmung ist also höchst komplex und zudem frequenzabhängig.⁸² Dieser Umstand wird bei der Konstruktion des *improvement decoders* insofern berücksichtigt, als dass man den Stereo - *input* in zwei Frequenzbänder teilt, die unabhängig voneinander matriziert und am Ende wieder zusammengesetzt werden.

Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel das allgemeine Blockschaltbild eines 3 x 2 *improvement decoders*:

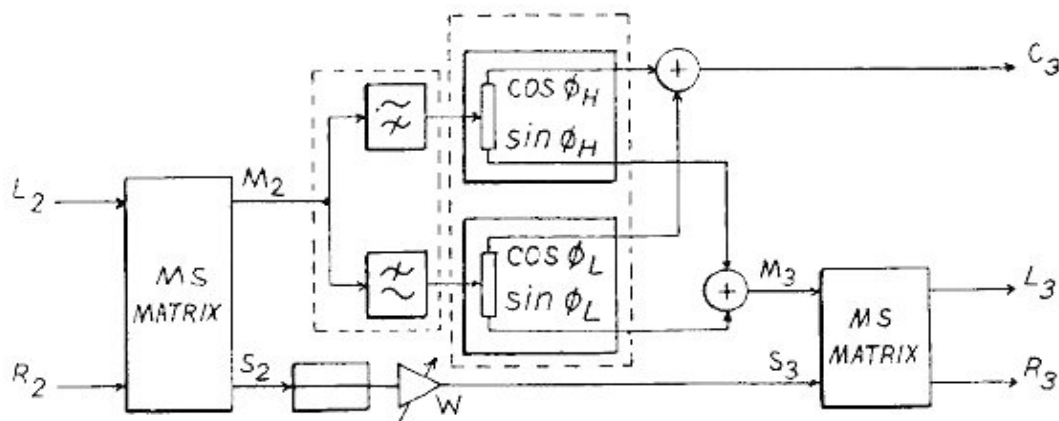


Abbildung 75
(Gerzon, 1992: Seite 582)

Die genaue Frequenz an der die Trennung der Bänder vorgenommen werden sollte ist laut Gerzon unkritisch, sollte jedoch nicht unter 5 kHz liegen. Zudem sollte der verwendete Filter nicht allzu steil sein, da das Ohr auf plötzliche Änderungen im Frequenzverhalten empfindlich reagiert.⁸³

Der abhängig vom Frequenzband zu verwendende Winkel Θ sollte für hohe Frequenzen 55° , für tiefe Frequenzen 35° betragen.⁸⁴

Decoder mit $n_2 > 3$, wie beispielsweise der 4 x 3 oder 5 x 4 *preservation decoder*, benötigen im Sinne der Berücksichtigung frequenzabhängiger Lokalisation keine weiteren Verbesserungsmaßnahmen. Psychoakustische Untersuchungen haben ergeben, dass die Lokalisationsparameter bei *improvement*-Versionen dieser *decoder* keine signifikanten Unterschiede zu den jeweiligen *preservation*-Modellen aufweisen.⁸⁵

Die Konstruktion eines *improvement decoders* ist also nur für 3 x 2 *decoder* sowie für *composite decoder* sinnvoll.

⁸¹ Gerzon, 1992: Seite 578 ff.

⁸² Die Richtungswahrnehmung ist außerdem auch abhängig von der Art des Signals (bewegte oder statische Schallquelle, etc.), doch kann auf diesen Umstand bei der Bildung einer *improvement* Matrix keine Rücksicht genommen werden.

⁸³ Gerzon, 1992: Seite 583

⁸⁴ Gerzon, 1992: Seite 583

⁸⁵ Gerzon, 1992: Seite 585

F Composite Improvement Decoder

Um einen $n_2 \times 2$ *composite improvement decoder* zu erhalten, gilt es lediglich, einen 3×2 *improvement decoder* mit dem erforderlichen *preservation decoder* in Serie schalten.

Ein Beispiel dazu findet sich im Praxisteil dieser Arbeit.

3.2.3 Spektrale Panoramisierung

Wie bereits erwähnt, wäre es im Sinne einer realistischen Abbildung über den gesamten Zuschauerbereich erstrebenswert, auch an extremen Außenpositionen gegenüberliegend panoramisierte Schallquellen wahrnehmbar zu machen. Eine spektrale Panoramisierung nach speziellen Ohrkurven kann dabei hervorragende Dienste leisten.

Ausgangspunkt dieses Konzepts sind psychoakustische Untersuchungen, die folgenden Umstand belegen:

Form und Größe von Kopf und Ohrmuschel
bewirken durch Abschattung und Beugung bei einem Schalleinfallswinkel $\neq 0^\circ$
winkel- und frequenzabhängige Pegeldifferenzen
am "abgewandten" Ohr.

Diese frequenzabhängigen Pegelreduktionen sind also abhängig von der Schalleinfallsrichtung und können für die jeweils gewählten Richtungen durch Filterkurven simuliert werden.⁸⁶ Im Unterschied zur Panoramisierung über Intensitätsunterschiede werden hier also *frequenzabhängige* Pegeldifferenzen zur Erzeugung einer Hörereignisrichtung eingesetzt.

Anhand dieser Ausführungen lässt sich erkennen, dass es sich bei der spektralen Panoramisierung gleichsam um eine Lokalisation durch Unterschiede im Frequenzgang beziehungsweise Phasengang zweier Wiedergabelautsprecher handelt⁸⁷. Die Eigenschaften der zur Erzeugung der richtungsabhängigen Frequenzgänge genutzten Filter werden hinsichtlich Frequenz, Filtersteilheit und Pegelreduktion auf die entsprechende zu lokalisierende Richtung der wiedergegebenen Schallquelle abgestimmt.

Die folgende graphische Darstellung zeigt die Vorgehensweise bei der Positionierung einer Schallquelle (SQ) durch spektrale Panoramisierung:

⁸⁶ Die eben beschriebenen hörphysiologischen Begebenheiten sind zwar nicht für jeden Menschen gleich, doch können die empirisch ermittelten Werte gemittelt werden, sodass die in weiterer Folge generierten Filterkurven in befriedigendem Maße weitgehend für alle Hörer sehr gut zur Panoramisierung von Signalen funktionieren.

⁸⁷ Bei Wiedergabe von mehr als einem Signal, beziehungsweise mehr als einer zu repräsentierenden Panoramaposition muss es sich um Unterschiede in der Frequenzzusammensetzung der wiederzugebenden Signale anstatt Unterschiede im Frequenzgang der Lautsprecher handeln. Schließlich erfordert jede Position eine andere Filterkurve. Zudem werden beispielsweise rechts positionierte Schallquellen vom rechten Lautsprecher ungefiltert wiedergegeben. Trotzdem wurde an dieser Stelle im Sinne einer anschaulichen Darstellung die oben angeführte Formulierung gewählt.

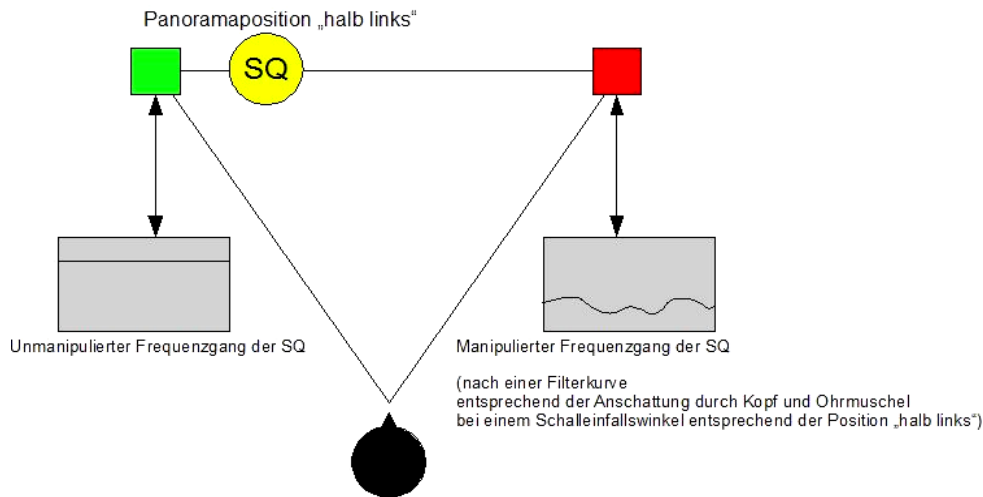


Abbildung 76

Das grüne Quadrat stellt die linke Stereo- Lautsprecherseite dar, während das rote Quadrat die rechte Stereo-Lautsprecherseite repräsentiert. Die Schallquelle SQ soll an der Position "halb links" innerhalb der Stereo-Abbildungsbreite lokalisiert werden. Demzufolge wird das Signal der Schallquelle von der rechten, also der "abgewandten" Stereoseite durch einen Filter manipuliert, dessen Eigenschaften der Abschattung und Beugung durch Kopf und Ohrmuschel bei einem Schalleinfallswinkel "halb links" entsprechen.

Gilt es, mehrere an unterschiedlichen Panoramapositionen zu lokalisierende Signale zu einer "spektral-panoramisierten" Stereosumme zu mischen, ist es zunächst notwendig, entsprechende Panoramapositionen zu definieren. Diesen Positionen werden jeweils zwei Summenbusse (in weiterer Folge auch "Ohrkurvenbusse" genannt) zugeteilt, derer einer eine seiner Richtungsfunktion entsprechende Filterkurve und Pegelabsenkung passiert. Die Summe der gefilterten beziehungsweise ungefilterten Signale bildet das neue, spektral-panoramisierte Stereosignal. Die folgende graphische Darstellung soll die Vorgehensweise veranschaulichen:

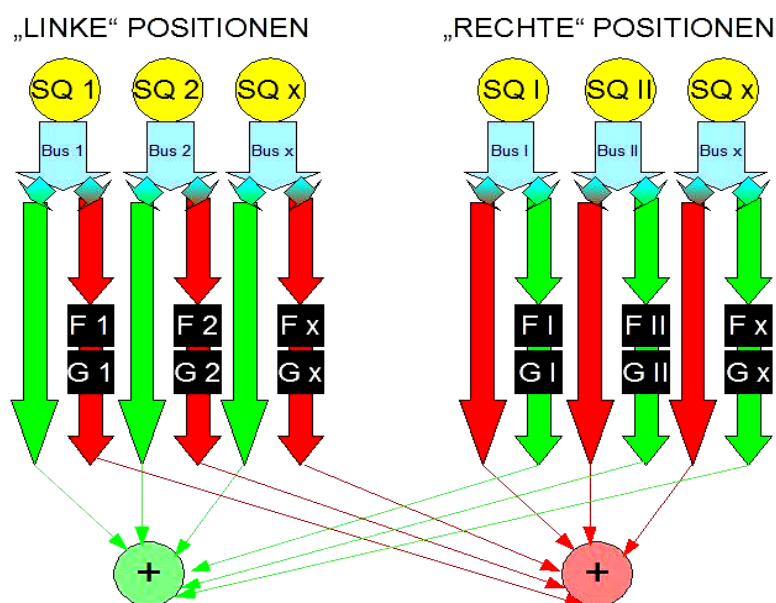


Abbildung 77

F1-Fx, beziehungsweise F 1 bis Fx bezeichnen die Filterstufen, G1-Gx, beziehungsweise G 1-Gx bezeichnen die Pegelabsenkungen für die entsprechende Richtungsinformation.

Die folgende graphische Darstellung zeigt die allgemeine Funktion der spektralen Panoramisierung. Während mit Hilfe einer Matrix nach Gerzon eine konventionelle Stereomischung als Grundlage zur Erstellung von Signalen für mehr als zwei Wiedergabelautsprecherpositionen dient, sind es im Falle der spektralen Panoramisierung x Busse, die x Panoramapositionen repräsentieren um ein spektral-panoramisiertes Stereosignal für die Wiedergabe über zwei Lautsprecherpositionen zu erhalten. Die Vergegenwärtigung dieser Unterscheidung ist für ein besseres Verständnis der Ausführungen in Teil B der vorliegenden Arbeit hilfreich.

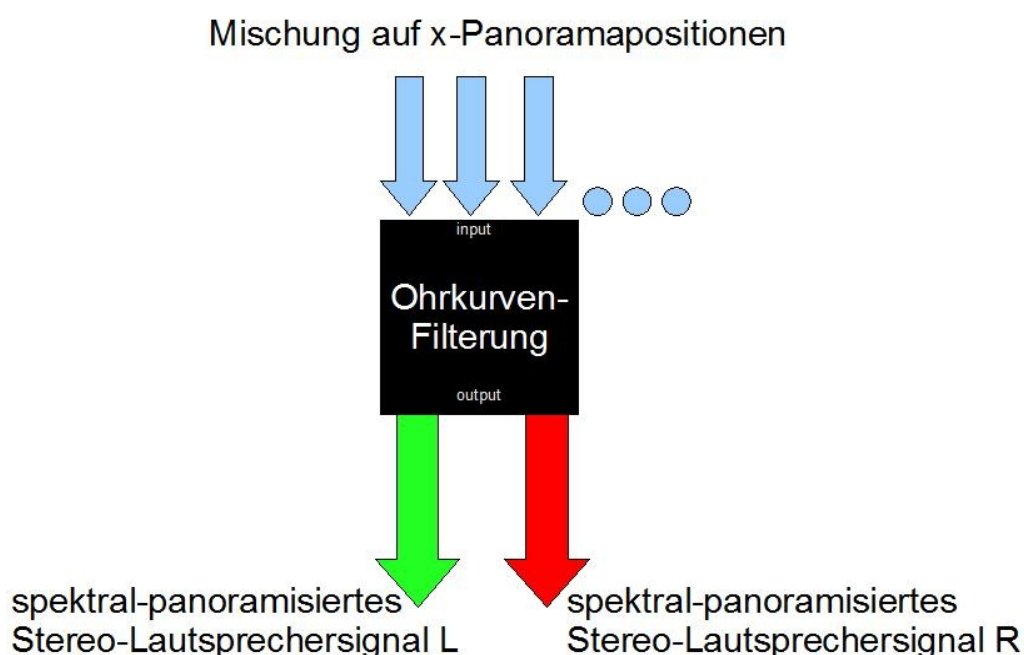


Abbildung 78

Bei spektraler Panoramisierung handelt sich um eine Methode, die im Prinzip bereits von der Firma *Studer* für digitale Mischpulte (seit der Serie D950) aufgegriffen wurde. Am Tonmeister-Institut der Universität für Musik und darstellende Kunst Wien wurden dazu vielfältige Versuche angestellt, sodass diese Panoramisierungstechnik für die Veranstaltung "Wiener Festwocheneröffnung 2008" mit Hilfe einer Programmierung im *soundweb* der Firma BSS realisiert werden konnte.

Der erste Einsatz einer solchen spektralen Panoramisierung im Rahmen einer größeren Beschallung fand im Vorjahr bei einer Konzertbeschallung in Mogno (Schweiz) statt. Informationen dazu befinden sich im Anhang.

Weitere Ausführungen zu dieser Technik finden sich im Praxisteil dieser Arbeit.

3.2.4 Weitere Ansätze

"Ursachen und Wirkungen sind nicht durch Vernunft, sondern durch Erfahrung zu entdecken."

David Hume
(zitiert nach Spierling, 2008: Seite 10)

Wie bereits in der Einleitung zu dieser Arbeit erwähnt, soll an dieser Stelle eine kurze Aufzählung einiger weniger weiterer Lösungsansätze und Alternativen stattfinden, um zu zeigen, dass noch viele andere Methoden denkbar sind, um möglicherweise die Qualität einer Beschallung hinsichtlich realistischer Abbildung zu verbessern.

Da die Autorin mit den folgenden innovativen Konzepten allerdings noch keine (oder nur wenig) praktische Erfahrung sammeln konnte, sollen selbige nicht detailliert erläutert, sondern lediglich als Beispiele aufgezeigt werden.

A Wall of Sound (*Grateful Dead*)

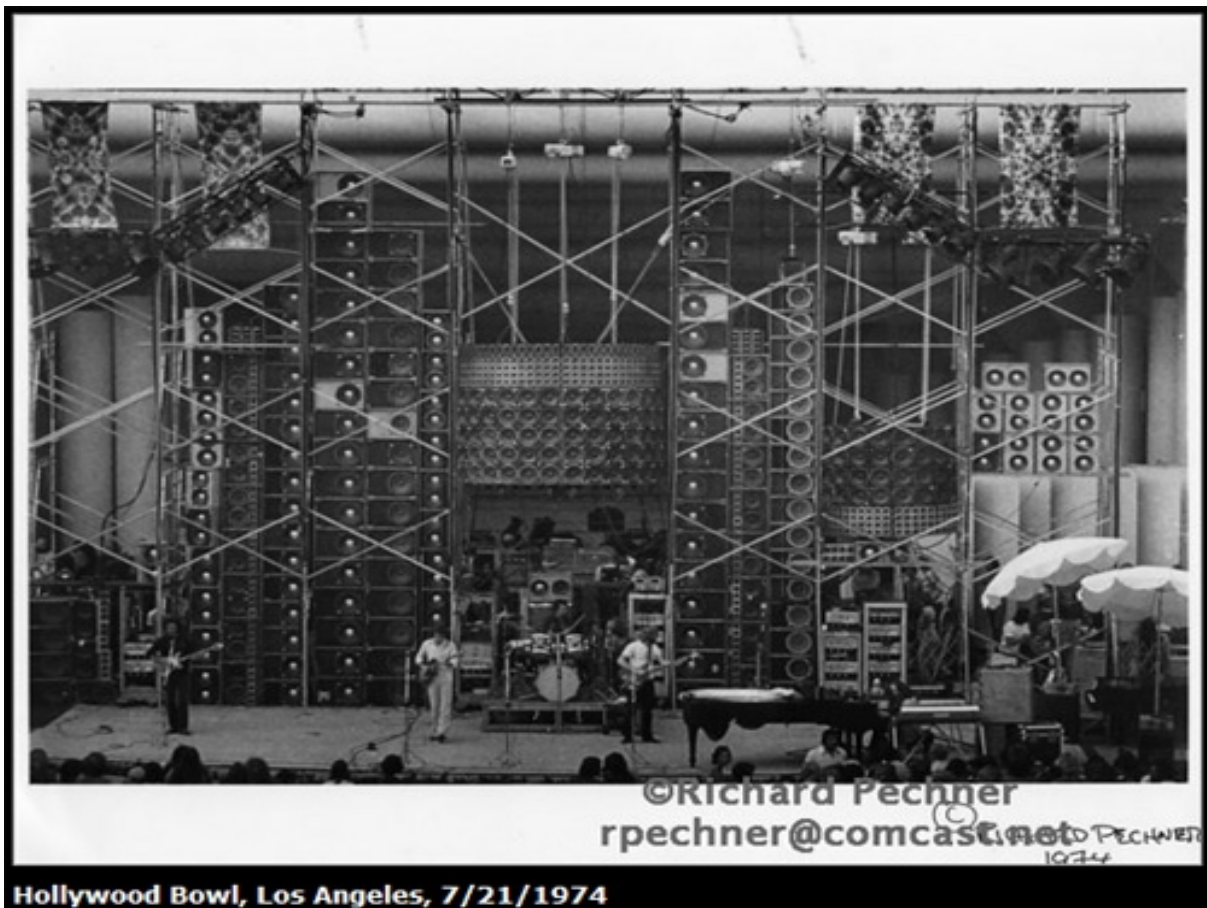


Abbildung 79

(<http://www.audiojunkies.com/blog/730/an-insiders-look-at-the-grateful-deads-wall-of-sound>)

Abbildung 79 zeigt das legendäre Beschallungskonzept eines Konzertes der Band *grateful dead*.

Um eine realistische Abbildung des akustischen Geschehens auf der Bühne zu erzielen, wurde jedem Musiker ein eigener Lautsprecher-“Turm“ zugewiesen, der nur die Signale dieses Instrumentes abstrahlte. Dieser "Turm" diente sowohl als Monitoring, als auch als PA. Demnach wurde jede Schallquelle direkt am Ort der Erzeugung verstärkt.

B Bose

Einen ähnlichen Ansatz verfolgt beispielsweise die Firma *BOSE* mit einem Konzept, welches eine Schallzeile am Ort jedes Musikers, und damit am Ort jeder Schallquelle, sowohl zum Zwecke des *monitorings* auf der Bühne, als auch zur Beschallung des Zuschauerbereichs vorsieht. Die folgenden Abbildungen sollen dieses Konzept veranschaulichen:

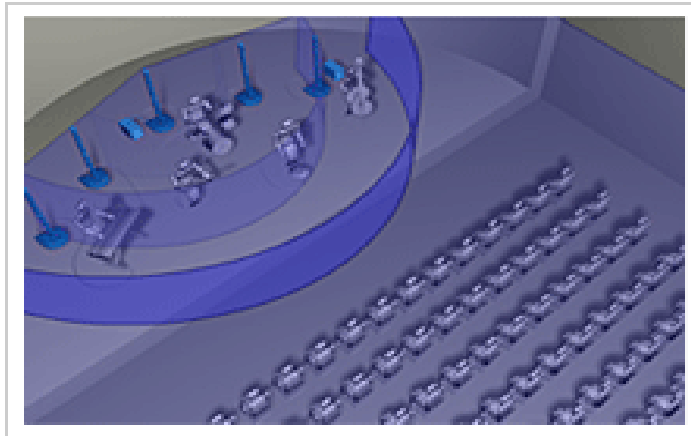


Abbildung 80

(<http://www.bose.de/DE/de/musicians/the-bose-system/the-bose-approach/index.jsp>)



Abbildung 81

(<http://www.bose.de/DE/de/musicians/the-bose-system/the-bose-approach/index.jsp>)

Es handelt sich dabei also um eine kleine Schallzeile, die demnach ähnlich einem *line array* arbeitet. Die Richtcharakteristik des hier abgebildeten Systems zeichnet sich durch einen sehr breiten horizontalen Abstrahlwinkel⁸⁸, sowie durch einen sehr schmalen vertikalen Abstrahlwinkel aus.

Ebenso wie bei der oben angesprochenen *Wall of Sound* werden die einzelnen Schallquellen somit am Ort der Erzeugung verstärkt um dadurch eine möglichst korrekte Abbildung des akustischen Geschehens auf der Bühne zu erreichen.

C Delta-Stereophonie

Bei Delta Stereophonie handelt es sich um eine Methode, die es sich zum Ziel macht, eine möglichst realitätstreu Lokalisation durch gewissenhafte Laufzeitanpassung der eingesetzten Wiedergabelautsprecher in Relation zur Schallquelle unter der Berücksichtigung des Gesetzes der ersten Wellenfront zu ermöglichen. Das Konzept wird deshalb auch *Richtungsbezogene Laufzeitstereophonie* genannt.

Die folgende Abbildung soll einen kurzen Einblick verschaffen:

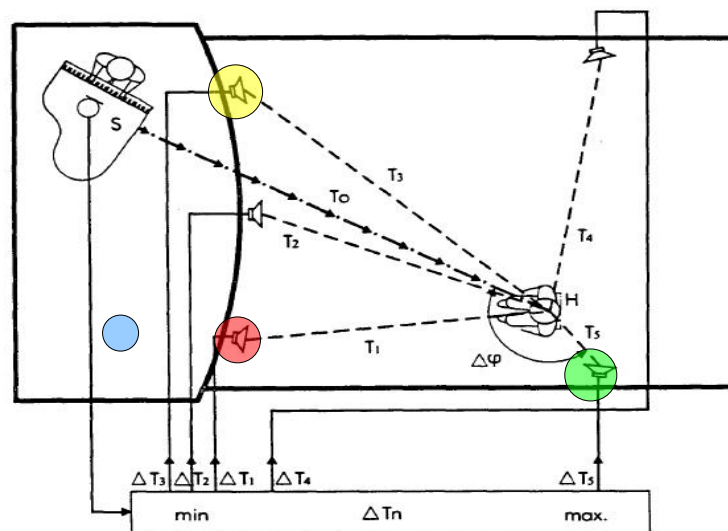


Abbildung 82
(Sobol, 1988: Seite 82)

Damit der in Abbildung 82 dargestellte Hörer das Signal der Schallquelle, in diesem Fall eines Klaviers, auch bei Wiedergabe über mehrere Lautsprecher als "aus der Richtung der Erzeugung kommend" wahrnehmen kann, wird die erste Wellenfront von der Schallquelle selbst erzeugt. In weiterer Folge wird dieses Signal für jeden Wiedergabelautsprecher individuell entsprechend der einzelnen Lautsprecherpositionen in Relation zur Schallquelle beziehungsweise der resultierenden Laufzeitdifferenz entsprechend verzögert.

Im Falle des obigen Beispiels erfährt der gelb markierte, dem Instrument am nächsten stehende Lautsprecher die geringste Verzögerung für das Klaviersignal, während der grün markierte Lautsprecher das Signal am spätesten wiedergeben müsste.

⁸⁸ Modell *L1*. Der horizontale Abstrahlwinkel beträgt ca. 180°.

Befände sich beispielsweise noch eine zweite Schallquelle an einem in Abbildung 82 blau markierten Punkt, so muss der rot markierte Lautsprecher das Signal dieser Quelle mit der geringsten Verzögerung wiedergeben, während der gelb markierte Lautsprecher dieses Signal zu einem entsprechend seiner Position in Relation zur Schallquelle späteren Zeitpunkt wiedergeben sollte.

Anstatt also, wie beispielsweise bei der üblichen Verzögerung einer *delayline*, das Eingangssignal des Lautsprechers und damit alle wiederzugebenden Signalquellen in gleichem Maße zu verzögern, um die Abbildung auf der Bühnenebene zu behalten, wird jede wiederzugebende Signalquelle abhängig von ihrer Position für jeden Wiedergabelautsprecher individuell verzögert, um eine Lokalisation der Signalquelle am Ort der Entstehung zu ermöglichen.

Die Delta-Stereophonie wird in hoch entwickelter Form auch für sich auf der Bühne bewegend Schallquellen sehr erfolgreich bei großen Bühnen wie beispielsweise den Seebühnen in Bregenz und Mörbisch eingesetzt.

Ein ganz anderer Gedanke liegt der Wellenfeldsynthese zu Grunde, wie der folgende Abschnitt C vermitteln soll.

D Wellenfeldsynthese

Bei der Wellenfeldsynthese handelt es sich um eine Technik, die es sich zum Ziel macht, mit Hilfe vieler möglichst dicht nebeneinander rund um den Abhörbereich angebrachter Lautsprecher die Wellenfront einer Schallwelle am Ort des Hörers nachzubilden. Einen *sweet spot* gibt es in diesem Falle nicht - jeder Abhörplatz ist gleichwertig. Somit kann eine vom *sweet spot* völlig unabhängige Art der Schallwiedergabe realisiert werden.

Die folgende Abbildung soll dies verdeutlichen:

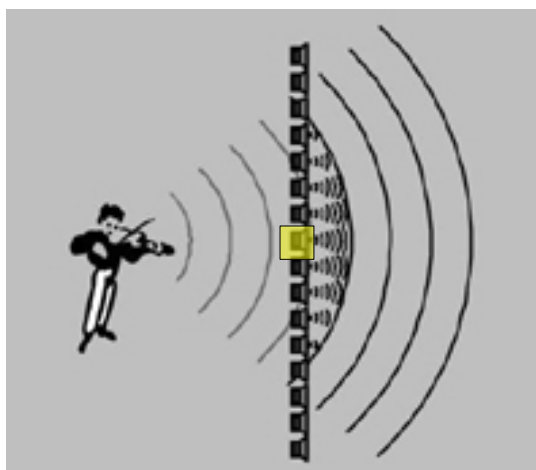


Abbildung 83

(<http://vsr.medien.fh-duesseldorf.de/~herder/events/dinjp-aizu2005/index.de>)

Anhand dieser Abbildung lässt sich erkennen, dass sich die Wellenfeldsynthese das Huygen'sche Prinzip der Wellentheorie zu Nutze macht:

"Jeder Punkt, der von einer Welle erfasst wird, ist Ausgangspunkt einer Elementarwelle, die sich kugelförmig, bzw. kreisförmig ausbreitet."

(<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=EP2006006569&WO=2007%2F009599&DISPLAY=DESC>,
Seite 3)

Mit Hilfe der horizontalen Anordnung einer sehr großen Anzahl von Lautsprechern in Form eines so genannten Lautsprecher-*arrays* um den Abhörbereich herum kann also jede Form der von außerhalb des Abhörbereiches eintreffende Wellenfront durch Wiedergabe über eine entsprechende Anzahl von Lautsprechern nachgebildet werden⁸⁹.

Zu diesem Zwecke erfährt jeder Lautsprecher eine Verzögerung, sowie eine Pegelanpassung, die dem Zustand des an der Stelle dieses Lautsprechers auftreffenden Wellenfront-Teilbereichs entspricht.

Im Falle der obigen Abbildung "trifft" die Wellenfront den gelb markierten Lautsprecher zuerst, weshalb dieser das Signal auch zuerst wiedergibt. Alle anderen Lautsprecher, die zur Reproduktion der Wellenfront einbezogen werden, erfahren eine entsprechende Verzögerung.

Zudem gibt der gelb markierte Lautsprecher den größten Pegelanteil wieder, während der von den nachfolgenden Lautsprechern abgegebene Pegel entsprechend des Zustandes der Wellenfront kleiner ausfallen muss, um die natürliche Krümmung der Wellenfront nachzustellen.

Pegel- und Laufzeitdifferenz der beteiligten Lautsprecher, welche eine Wellenfront reproduzieren, sind abhängig von der virtuellen Entfernung der Schallquelle zum Lautsprecher-*array*.

Bei größerer Nähe der virtuellen Schallquelle weist die Wellenfront eine stärkere Krümmung auf, die weniger Lautsprecher betrifft. Diese Lautsprecher müssen jedoch entsprechend stärker aufeinander verzögert werden und größere Pegeldifferenzen aufweisen, als es für eine Schallquelle in virtuell größerer Entfernung und damit einhergehender geringerer Krümmung der Fall ist.

Anhand dieser Betrachtungen zeigt sich, dass die Genauigkeit der Wellenfeldsynthese sehr davon abhängt, wie groß die verwendeten Lautsprecher sind, beziehungsweise wie weit diese voneinander entfernt sind. Es stellt sich heraus, dass eine fehlerfreie Synthese lediglich bis zu jener Frequenz möglich ist, deren Wellenlänge im Bereich der Abmessungen der verwendeten Lautsprecher beziehungsweise deren Abstände liegt.

Um die Komplexität der Kodierung dieses Verfahrens zu reduzieren, werden der von der Signalquelle erzeugte Direktschall sowie die durch Raumeinflüsse entstehenden Reflexionen und die resultierende Nachhallzeit getrennt voneinander betrachtet. Informationen über Raumeinflüsse können in Form einer Impulsantwort⁹⁰ gespeichert werden. Für die Wiedergabe wird das Signal wieder mit einer Impulsantwort gefaltet, um die Schallquelle in einer akustischen Umgebung erklingen zu lassen.

⁸⁹ Dies ist allerdings nur möglich, falls entsprechende Informationen über die Wellenfront zur Verfügung stehen. Diese Informationen können beispielsweise durch Aufzeichnung der Schallquelle mit Hilfe eines Mikrofon-*arrays* erstellt werden.

⁹⁰ Als Impulsantwort bezeichnet man das Reflexions- (und Absorptions-) Verhalten eines Raumes, nachdem dieser durch einen starken akustischen Impuls angeregt wurde.

Die folgende Abbildung zeigt als Beispiel den Wellenfeldsynthese-Wiedergaberaum der vorjährigen *Audio Engineering Society Convention* in Wien.



Abbildung 84
(Foto: privat)

Eine der ersten Anwendungen der Wellenfeldsynthese fand unter der Leitung von Professor Fritz, Cheftonmeister an der Wiener Staatsoper, für die Festspiele auf der Seebühne in Bregenz statt.

Als Beispiel einer festen Installation des Wellenfeldsynthese-Systems sei an dieser Stelle das Kino "Linden Lichtspiele" im deutschen Ilmenau genannt.

3.3 Zusammenfassung

Ebenso wie in der Zusammenfassung des Kapitels 2 sollen die gewonnenen Erkenntnisse an dieser Stelle zur besseren Übersicht anhand einer Tabelle zusammengefasst werden:

UMSTAND	PROBLEMSTELLUNG	LÖSUNGSANSATZ
Schallabstrahlung durch konventionelle Lautsprecher	Pegelabfall um 6 dB bei Entfernungsverdoppelung	Schallabstrahlung durch <i>line arrays</i> --> Pegelabfall um 3 dB bei Entfernungsverdoppelung
		Einsatz von <i>delaylines</i>
		Erhöht angebrachte Lautsprecher an den Stereo-Seiten um die Pegeldifferenz zwischen vorderen und hinteren Publikumsreihen zu verringern.
	frequenzabhängiges Abstrahl- und Richtverhalten	Kombination mehrerer Lautsprecher um den geforderten Bereich abzudecken (<i>midfill/outfill/frontfill</i>)
	ein Lautsprecher reicht zumeist nicht aus, um den gewünschten Schalldruckpegel zu erreichen	Kombination mehrerer Lautsprecher

	ein Lautsprecher reicht zumeist nicht aus, um eine Abdeckung des gewünschten Bereiches zu erreichen	Kombination mehrerer Lautsprecher
Kombination mehrerer Lautsprecher	Kammfiltereffekte im Übergangsbereich	Wahl von Lautsprechern, deren Richtwirkung den Umständen entsprechen Pegel- und gegebenenfalls Laufzeitanpassung. Ausgeklügelte Lautsprecheraufstellung möglicherweise unter Zuhilfenahme von entsprechender Software
	Frage nach dem wiederzugebenden Signal um eine möglichst realistische Abbildung zu erreichen	Verteilung der Signale L, R und M, bzw. RCL oder individuell
Einsatz von <i>delaylines</i>	möglicher Echoeffekt aufgrund der Laufzeitunterschiede	Verzögerung des von der <i>delayline</i> wiederzugebenden Signals um die Distanz zur ursprünglichen Schallquelle
	Schall wird frequenzabhängig auch nach hinten abgestrahlt und beeinträchtigt damit auch den Klang im Bereich vor dem erwünschten geographischen Einsatzgebiet der <i>delaylines</i>	möglicher Einsatz von <i>Lowcut</i> -Filtern. Die gewählte Trennfrequenz ist unter anderem auch abhängig vom Modell des benützten Lautsprechers
Schallabstrahlung durch <i>Line Array</i>	Zylinderwelle bricht ab der frequenzabhängigen <i>border distance</i> wieder in eine Kugelschallwelle aus	Mit Hilfe entsprechender Software eine möglichst gute Abstimmung finden.
Wegen einer sehr breiten Bühne ist die Lautsprecherbasis sehr breit	es entsteht ein "Mittenloch"-Publikum, dass sich im vorderen Bereich und in der Mitte vor der Bühne befindet, wird nicht ausreichend beschallt	<i>mono-centercluster</i> beziehungsweise multiple Lautsprecheraufstellung über die gesamte Bühnenbreite
In größerer Höhe an der Bühne angebrachte Lautsprecher für die Stereo-Seiten	Schallquellen werden "über Kopf" und nicht am Ort der Entstehung geortet.	<i>ground support</i> um die Abbildung wieder nach unten auf die Bühne zu ziehen
	Der vorderste Publikumsbereich an der Bühne wird nicht ausreichend abgedeckt	<i>frontfill</i> <i>outfill</i>
Großer zu beschallender Bereich	Nur ein kleiner Teil des Publikums kann sich in günstiger Hörposition aufhalten	Entsprechende Alternativen wie Matrix nach Gerzon spektrale Panoramisierung
Panoramisierung über Intensitätsunterschiede	Uneinheitliche Mischung an den Stereoseiten, da die jeweils andere Seite zumeist nicht wahrnehmbar ist	Entsprechende Alternativen wie Matrix nach Gerzon spektrale Panoramisierung
<i>open-air</i> Beschallung		

warme Luftschicht (Publikum) trifft auf eine kalte Luftschicht (Umgebungsluft)	Schall wird nach oben abgelenkt. Dies hat vor allem auf den hohen Frequenzbereich Auswirkungen, da dieser stärker gebündelt abgestrahlt wird als tiefere Frequenzen. Der Frequenzgang im hinteren Publikumsbereich weist deshalb möglicherweise zu wenig Hochtonanteile auf. Je höher der Temperaturunterschied, desto stärker macht sich dieser Effekt bemerkbar.	Diesen Umstand bei der Planung von open-air Beschallungen berücksichtigen, indem das Signal für Lautsprecher oder Line Array-Elemente, die den hinteren Publikumsbereich beschallen sollen, entsprechend gefiltert wird. (Größerer Hochtonanteil)
Wind bläst in oder gegen die Richtung der Lautsprecherabstrahlung	Schall, der gegen den Wind abgestrahlt wird, wird nach oben abgelenkt, Schall, der in Windrichtung abgestrahlt wird, wird nach unten abgelenkt.	Falls es sich um Luftbewegungen handelt, die vorherzusehen sind und deren Richtung und Stärke gleich bleibt, kann man deren Einfluss auf eine Beschallung mit ähnlichen Mitteln entgegenwirken, wie es eben für den Fall des Zusammentreffens verschiedenartiger Temperaturschichten beschrieben wurde. Da dies für Windbewegungen jedoch selten der Fall ist, wird man eventuellen Windböen und ähnlichen Erscheinungen wohl machtlos gegenüberstehen.
Dämpfung (bei geringer Luftfeuchte), Absorption durch Publikum	Pegelfverlust im Hochtonbereich	Hochtonbereich eventuell durch Einsatz von Filtern entsprechend anpassen

Tabelle 8

Der nun folgenden Teil B dieser Arbeit dokumentiert die Anwendung einer Matrix nach Gerzon sowie der spektralen Panoramisierung von Signalquellen durch spezielle Ohrkurven im Zuge der Veranstaltung "Wiener Festwocheneröffnung 2008".

B Praktischer Teil

"Der Mensch hat dreierlei Wege klug zu handeln: erstens durch nachdenken, das ist der edelste, zweitens durch nachahmen, das ist der leichteste, und drittens durch Erfahrung, das ist der bitterste."

Konfuzius
(www.zitate-online.de)

Trotz intensiver theoretischer Betrachtungen, die zwar dazu beitragen können, dass Erfahrungen nicht allzu bitter enden, können selbige nur durch praktische Umsetzung geschehen. Dieser Teil der Arbeit soll deshalb als Dokumentation über das Beschallungskonzept für die diesjährige Wiener Festwocheneröffnung dienen,

welches die zwei im Kapitel 3.2 beschriebenen Methoden der spektralen Panoramisierung nach Ohrkurven von Ulrich Vette, sowie die Realisierung einer der *Optimum Stereo Reproduction Matrices for multispeaker Stereo* nach Michael Gerzon vorsah.

Im Falle der genannten Produktion bestand die Möglichkeit eines Probeaufbaus und einer einwöchigen Testphase im Wiener Museumsquartier. Aus dieser Probephase gingen wertvolle Erkenntnisse hervor, die zu gegebenem Zeitpunkt im Laufe dieser Arbeit noch zu Sprache kommen werden.

Es soll jedoch zunächst die Aufgabenstellung dargestellt werden, um in weiterer Folge die Realisierung des in diesbezüglicher Hinsicht geplanten Konzeptes genauer zu beschreiben.

4.0 Wiener Festwocheneröffnung 2008

Im Rahmen der tontechnischen Planungen für die Festwocheneröffnung 2008 galt es, den zwei Themen "Bühnensound" und "PA"⁹¹ aufgrund spezieller Umstände besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Der folgende Abschnitt soll einen kurzen Überblick über die Veranstaltung verschaffen und damit die entsprechenden Anforderungen verdeutlichen.

4.1 Das Veranstaltungsprogramm

Im Zuge der Festwocheneröffnung wurde das Finale eines internationalen Klassik-Wettbewerbs (*Eurovision Young Musicians*) ausgetragen. Die sieben Finalisten⁹² gaben also Ihre Stücke unter Begleitung der Wiener Symphoniker zum Besten. Ebenfalls auf der Bühne befand sich die Jury dieses Wettbewerbes.

Als Showeinlagen zwischen den Stücken der Finalisten leisteten Lidia Baich, die Wiener Sängerknaben, Angelika Kirchschrager, Roland Neuwirth und die Band *Dobrek Bistro* musikalische Beiträge. Moderiert wurde die Veranstaltung von Lidia Baich und Christoph Wagner-Trenkwitz.

4.2 Besondere Herausforderungen

Die folgende Abbildung 85 zeigt die Bühne der Wiener Festwocheneröffnung. Spezielle Herausforderungen werden in weiterer Folge daraus ersichtlich.

⁹¹ PA: *Public Address*. Es handelt sich dabei um das Lautsprechersystem, das zur Beschallung des Publikumsbereiches dient. Im Gegensatz dazu steht der Bereich "Monitoring", welcher die Beschallung auf der Bühne zum Zweck der akustischen Verständigung der Musiker untereinander umfasst

⁹² Eine Geigerin, zwei Cellisten, ein Klarinetist, ein Saxophonist, ein Mundharmonikaspieler und ein Pianist



Abbildung 85

Im gelb gekennzeichneten Bereich saß die Wettbewerbsjury. An diesem Ort sollte also sowohl der Solist (blauer bzw. roter Bereich) als auch das Orchester (oranger Bereich) wohlklingend und in einem guten Verhältnis zu hören sein.

Eine weitere Herausforderung stellte das aufgrund fehlender Reflexionsflächen und damit einhergehendem Mangel an akustischer Verständigungsmöglichkeit das *monitoring* für die Orchestermusiker bzw. die Solisten dar.

Im grünen Bereich spielten die Bands.

Die folgende Abbildung 86 zeigt die Einbettung dieser Bühne in die Umgebung des Wiener Rathausplatzes:

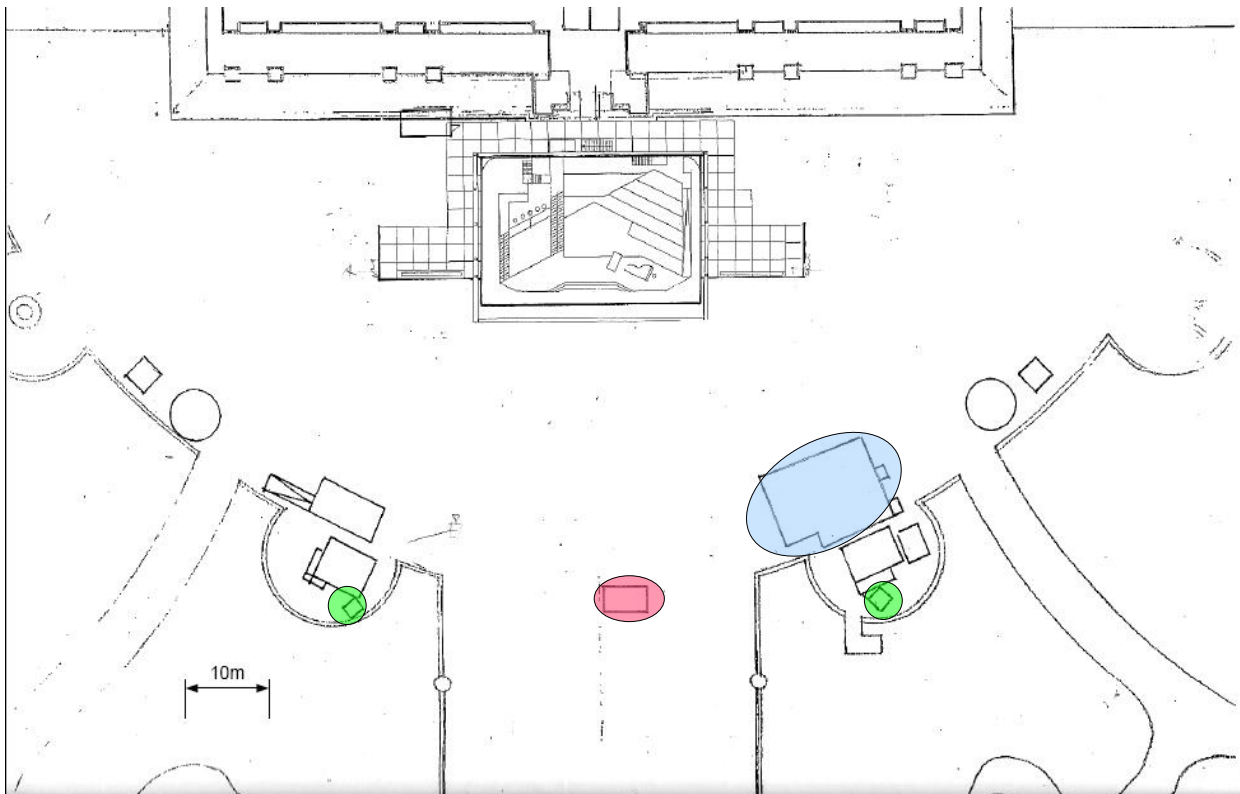


Abbildung 86

Im rosa eingekreisten Bereich befand sich der FOH-Platz. Aus organisatorischen Gründen wurden die zu mischenden Signale auf zwei Pulte aufgeteilt: Die Signale der Bands und Moderatoren fanden sich daher auf einem Yamaha *PM5D*, während die Mischung des Orchesters und der Solisten auf einem Allen&Heath *ILive* bewerkstelligt wurde.

Der blau gekennzeichnete Bereich stellt die VIP-Tribüne dar. Es lässt sich deutlich erkennen, dass sich der Ort dieser Tribüne für den Genuss einer konventionellen Stereobeschallung als ungünstig erweist. Wie üblich hatte natürlich auch die Mehrheit der Zuschauer nicht die Möglichkeit, im *sweet spot* und damit an einem für konventionelle Stereobeschallung per Definition optimalen Ort zu verweilen.

Es zeigt sich also, dass innovative Möglichkeiten gefunden werden sollten um sowohl den Musikern und der Jury auf der Bühne ein angemessenes akustisches Umfeld bereitzustellen, als auch um den nicht ideal positionierten Zuhörern im VIP- und auch übrigen Publikumsbereich ein schönes, ausgewogenes Stereoklangfeld zu bieten.

Während die für den Bühnensound angewandten Techniken aufgrund des thematischen Zusammenhangs in dieser Arbeit keine nähere Betrachtung finden sollen⁹³, wird dem Thema *PA-sound* in Bezug auf die Erzeugung einer realistischen Abbildung erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. In diesem Sinne werden die beiden für die Festwocheneröffnung angewandten Vorgehensweisen beschrieben, welche es ermöglichen sollten, die gesamte Abbildungsbreite über einen weiten Teil des

⁹³ Um den innovativen Ansatz des tontechnischen Konzepts für die Wiener Festwocheneröffnung zu unterstreichen, sei an dieser Stelle jedoch erwähnt, dass für die Beschallung der Bühne eine Raumsimulation unter Verwendung der Systeme *Ambisonic* und *Lares* zum Einsatz kam. In diesem Zusammenhang erlaube ich mir, auf die Diplomarbeit von Volker Werner zu verweisen.

Zuschauerbereiches zu erhalten. Dadurch sollte das Problem des klein bemessenen *sweet spot* möglichst elegant umgangen werden.

Bei den besagten beiden Konzepten, die es im *soundweb* der Firma *BSS* zu programmieren galt, handelt es sich zum einen um eine Panoramisierung nach Ulrich Vettes Ohrkurven⁹⁴, zum anderen um ein Matrizenkonzept von Michael Gerzon⁹⁵.

Das folgende Kapitel 5 soll Einblick in die Konzeption einer Beschallungsanlage geben, die in dem Bemühen, den angesprochenen Anforderungen möglichst gerecht zu werden, erstellt wurde.

5.0 Tontechnische Realisierung

Im Zuge dieses Kapitels soll zunächst die realisierte Aufstellung der Lautsprecher für die PA erläutert werden, um in weiterer Folge darauf zu sprechen zu kommen, in welcher Weise die im 3. Kapitel des Theorieteils angesprochenen Alternativen "Spektrale Panoramisierung" und "Gerzon-Matrix" zum Einsatz kamen.

5.1 Lautsprecheraufstellung der PA

Die folgenden Abbildungen und Tabellen sollten Aufschluss über Auswahl und Aufstellung der Lautsprecher der PA geben:

PA	Midfill	Frontfill	Subwoofer
L und R	an 12 Positionen	an 6 Positionen (je 2 <i>midfill</i> -Positionen entsprechend; siehe dazu Abb. 90)	an 3 Positionen
an der Bühne	über der Bühne	auf der Bühne	unter der Bühne
je 8 Elemente LARS <i>linearray</i>	je 1 Stück d&b C4	je 1 Stück K&F	je 3 Stück Sound Art Service - Custom (Nierenförmige Charakteristik)
Siehe gelbe Markierung in Abb.87 und Abb. 88	Planung dargestellt durch blaue Vierecke in Abb. 93. Aufbau dargestellt durch Abb.88, 94.	Gelbe Markierung in Abb. 89.	Abb. 89

Tabelle 9

⁹⁴ In unserem Falle konzipiert für eine Wiedergabe über 2 Lautsprecherpositionen beziehungsweise LARES-*arrays* und *delaylines*. Siehe dazu die Tabelle 11 in Kapitel 5.2.

⁹⁵ In unserem Falle konzipiert für eine Wiedergabe über *mid*- und *frontfills*. Siehe dazu die Tabelle11 in Kapitel 5.2.

Delayline 1	Delayline 2
L und R ca. auf Höhe des FOH	L und R ca. auf Höhe „Mercedes-Ausstellung“
je 8 Elemente d&b J-Serie + 4x d&B J-Sub (Hypernieren Charakteristik.)	je 6 Elemente d&b Q-Serie
Siehe grüne Markierung in Abb. 91.	Siehe gelbe Markierung in Abb. 91.

Tabelle 10

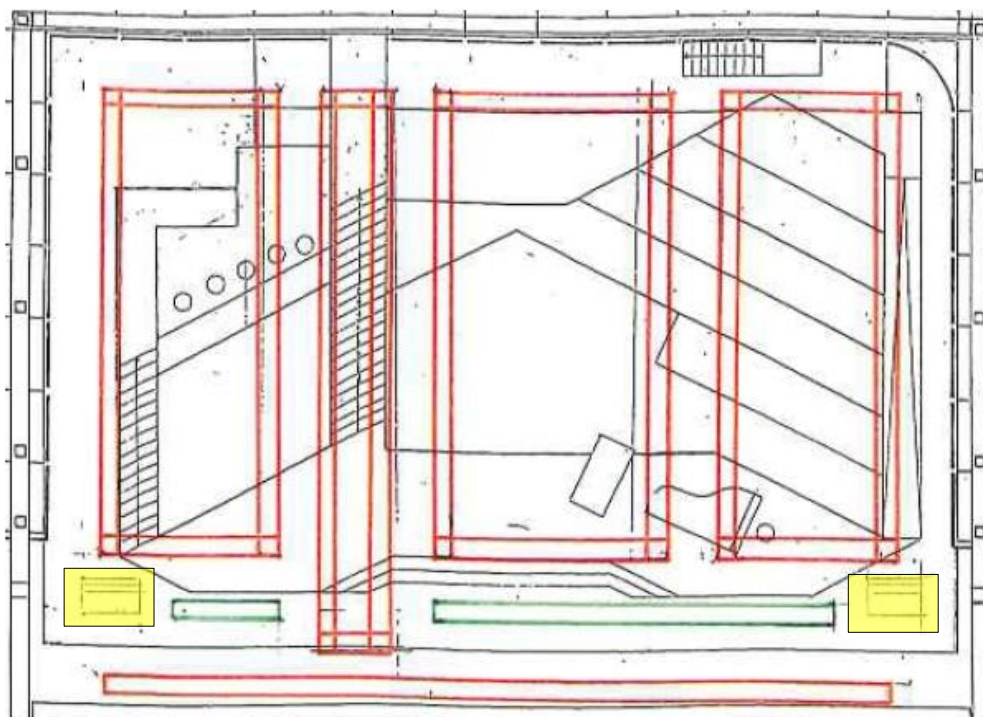


Abbildung 87

Die gelben Markierungen kennzeichnen die Stereo-Positionen der *LARS-line arrays*.

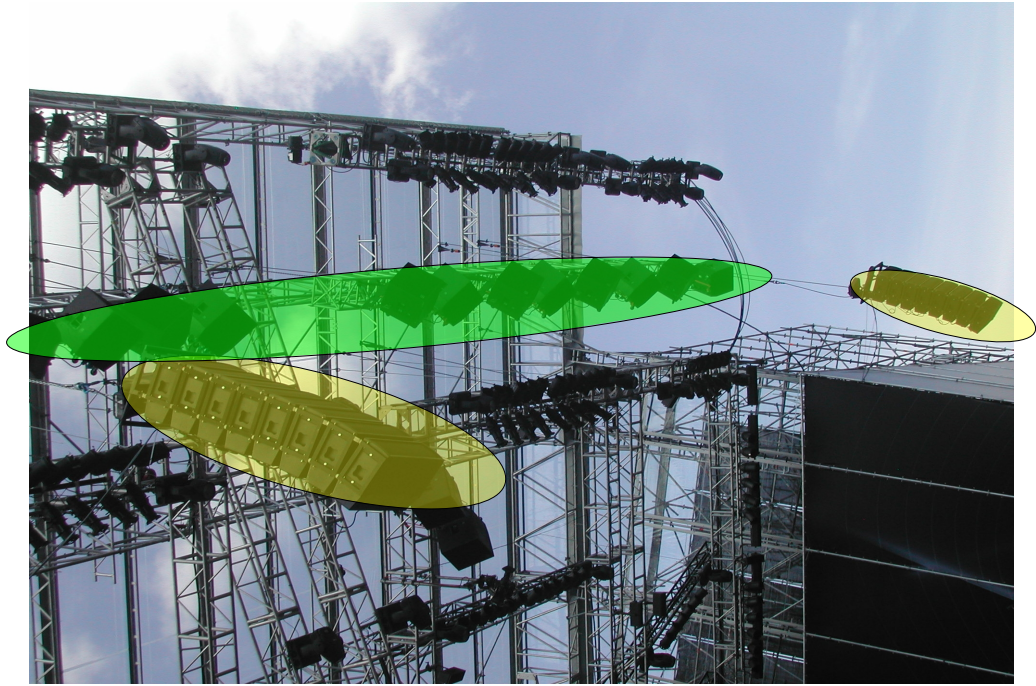


Abbildung 88
(Foto: privat)

Die gelb markierten Bereiche kennzeichnen die Position der LARS-*line-arrays* an linker und rechter Bühnenseite. Der grün gekennzeichnete Bereich markiert die als *midfill* eingesetzten 12 Lautsprecher des Modells d&b C4.



Abbildung 89
(Foto: privat)

Die sechs als *frontfill* verwendeten Lautsprecher der Firma K&F sind in den obigen Abbildungen anhand der gelben Markierungen erkennbar gemacht. Es handelt sich hier also um die Frontansicht des unteren Bühnenbereiches. Ebenfalls anhand dieser Abbildung ersichtlich sind die *subwoofer* an der Bühnenfront.

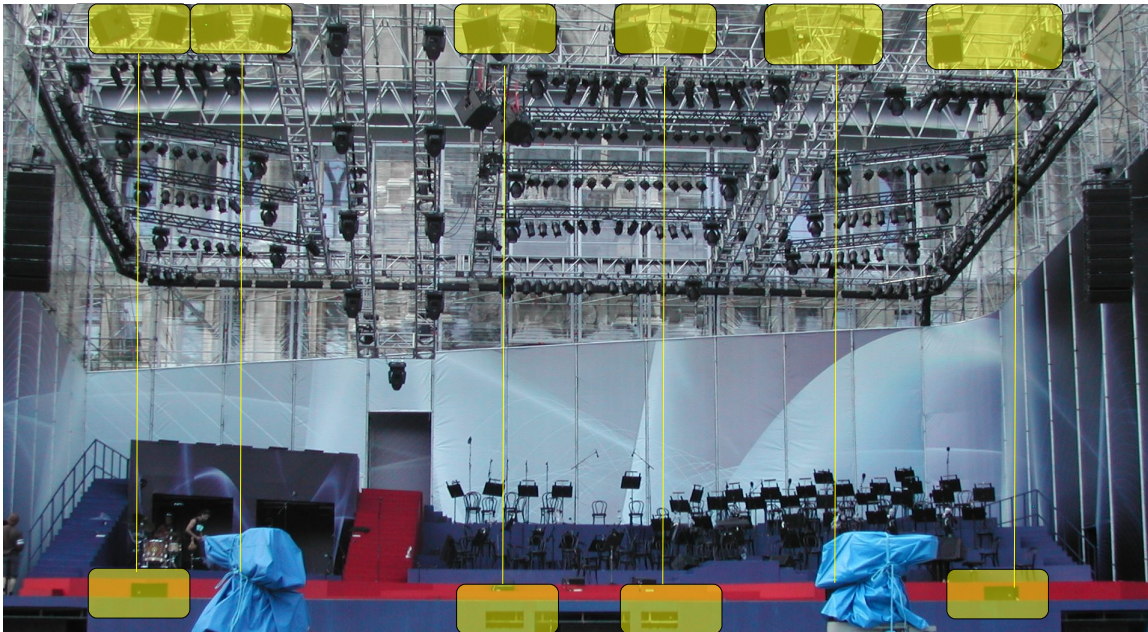


Abbildung 90
(Foto: privat)

Die obige Abbildung verdeutlicht die Zusammenfassung von jeweils 2 C4-*midfill*-Positionen und einer entsprechenden *frontfill*-Position.
(Zwei der *frontfill*-Positionen werden in dieser Abbildung unglücklicherweise von den umhüllten Kameras verdeckt.)



Abbildung 91

Die rote Markierung kennzeichnet die rechte *delayline* 1, die gelben Markierungen die *delayline* 2.

Die *LARS-arrays* sollten hauptsächlich den Bereich bis zum FOH-Zelt abdecken. Aus Gründen, die später noch erläutert werden, sollten diese beiden *arrays* in der Lautstärke die *midfills* nicht zu sehr dominieren. Der angenehme Nebeneffekt bei geringerer Lautstärke liegt in der damit einhergehenden, ebenfalls geringeren Rückkopplungs-Gefahr über die *LARS-arrays*.

Ein bekanntes Problem stellt die Lage des Burgtheaters in Bezug auf die Bühne dar. Bei gerader Richtung der Lautsprecher wirft die Frontmauer des Theaters äußerst unangenehme Reflexionen auf den Rathausplatz zurück. Um diesen Effekt zu minimieren, wurden die *line arrays* so gewinkelt, dass sie sich schon weit vor dem Burgtheater kreuzten und damit nicht mehr direkt an dessen Wände spielten. Die folgende schematische Darstellung soll diesen Umstand verdeutlichen. Die dunkelrot-transparenten Pfeile markieren die angesprochenen, unangenehmen Reflexionen.

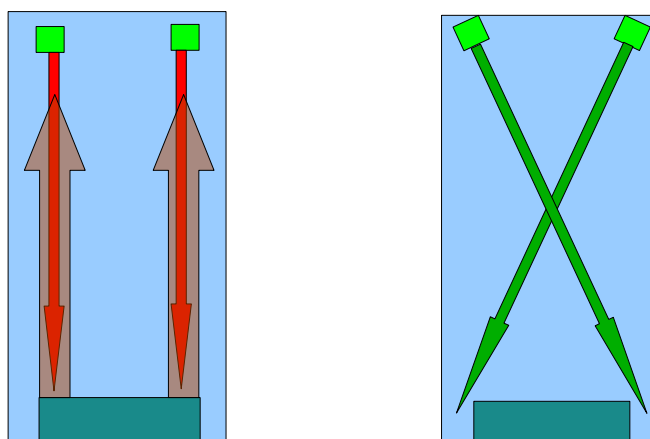


Abbildung 92

Da die Bühne sehr breit war, benötigte man *midfills* und *frontfills*, um den vorderen Bereich abzudecken.

Um möglichst regelmäßige Übergänge zwischen den Lautsprechergruppen zu schaffen, wurden die üblichen entsprechenden Maßnahmen wie Pegelangleichung und Laufzeitkompensation vorgenommen. Die 12 Lautsprecher des Modells C4 wurden dabei als "0-Linie" herangezogen.

Als Wiedergabesignale für die eben beschriebenen Lautsprechergruppen sollten verschiedene Signale zu Test- und Vergleichszwecken der Gestalt im *soundweb* der Firma BSS realisiert werden, dass schnell zwischen den verschiedenen Möglichkeiten umgeschaltet werden konnte.

Der folgende Abschnitt gibt Auskunft darüber, um welche Signale es sich dabei handeln sollte.

5.2 Lautsprechersignale

Die folgende Tabelle zeigt, welche Signale (1 oder 2) nach Möglichkeit von den jeweiligen Lautsprechern wiedergegeben werden sollten, um in Kapitel 3 zu schildern, in welcher Art und Weise eben diese Signale gewonnen wurden.

wahlweise	PA DELAYLINE 1 DELAYLINE 2	MIDFILLS FRONTFILLS	SUBS
SIGNAL 1	konventionelles Stereosignal	Gerzon-Matrix ⁹⁶	direkt angesteuert über AUX an den Pulten
SIGNAL 2	spektral-panoramisiertes Stereosignal ⁹⁷	6 Ohrkurvenbusse ⁹⁸	

Tabelle 11

Zusätzlich zu den Signalen 1 und 2 wurde ein Solisten-Stereobus eingerichtet. Wie der Name schon verrät führt dieser Bus das Signal der Soloinstrumente. Die *soundweb*-Programmierung wurde so konzipiert, dass dieser Bus zusätzlich zum gewählten Signal 1 oder 2 dem Lautsprecher-Eingangssignal der mittleren Lautsprecher des Modells C4⁹⁹ bzw. mittig platzierten *frontfills* hinzugemischt werden konnte.

Die *mid*- und *frontfill*-Lautsprecher gaben pro Position das gleiche Signal wieder. Die entsprechenden Ausgangssignale des *soundweb* wurden mangels ausreichender Anzahl an analogen Ausgängen mittels Y-Kabel gesplittet. Das somit "gedoppelte" Signal für die *frontfills* wurde in eine Yamaha DME 24 geleitet, wo es eine entsprechende Verzögerung, Pegelangleichung und Entzerrung erfuhr.

Alle Lautsprechergruppen mit Ausnahme der Subs¹⁰⁰ wurden über das *soundweb* angesteuert.

Das *delayline*-Signal wurde aus dem *soundweb* wieder ins PM5D geleitet, wo es gesplittet und entsprechend verzögert als Eingangssignal für die beiden *delaylines* weitergeführt wurde.

6.0 Erstellung der Signale

Im Zuge dieses Kapitels soll die Vorgehensweise zur Erstellung der verschiedenen Lautsprechersignale beschrieben werden. Es handelt sich dabei zunächst um die Matrix nach Gerzon. In weiterer Folge wird der spektralen Panoramisierung nähere Betrachtung geschenkt. Die Programmierung der beiden Systeme im *soundweb* wird in Kapitel 7 erläutert.

⁹⁶ Die Gerzon-Matrixsignale werden aus einem konventionellen Stereosignal generiert. Siehe dazu Kapitel 6.1.

⁹⁷ Das spektral-panoramisierte Stereosignal wird aus der Mischung auf 6 "Ohrkurvenbusse" generiert. Siehe dazu Kapitel 6.3.

⁹⁸ unbehandelt, also ungefiltert; siehe Kapitel 6.3.

⁹⁹ In Abb. 93 durch schraffierte Linie bzw in Abb. 94 durch gelbe Markierung gekennzeichnet.

¹⁰⁰ Sie Tabelle 11.

6.1 Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo

Wie bereits im Theorieteil dieser Arbeit beschrieben, handelt es sich bei den Matrizen nach Gerzon um eine Methode, eine Stereomischung auf mehr als 2 Frontlautsprecherpositionen aufzuteilen.

Für den Fall der Wiener Festwochenöffnung gelang es, eine Matrix für 5 Wiedergabelautsprecherpositionen zu erstellen. Im Lautsprechersetup fanden sich jedoch 6 Positionen der *frontfill*-Lautsprecher, denen jeweils 2 Positionen der hängenden *midfill*-Lautsprecher des Modells C4 entsprachen.¹⁰¹ Es handelte sich demnach insgesamt um besagte sechs Positionen, die eines *inputs* bedurften.

Aus diesem Grund wurde der Entschluss gefasst, das durch die Matrix generierte *center*-Signal auf die vier mittleren C4- Lautsprecher bzw. 2 mittleren *frontfill*-Lautsprecher zu leiten. Die betreffenden C4 wurden in Abbildung 93 durch eine schraffierte Fläche, sowie in Abbildung 94 durch eine gelbe Markierung gekennzeichnet.

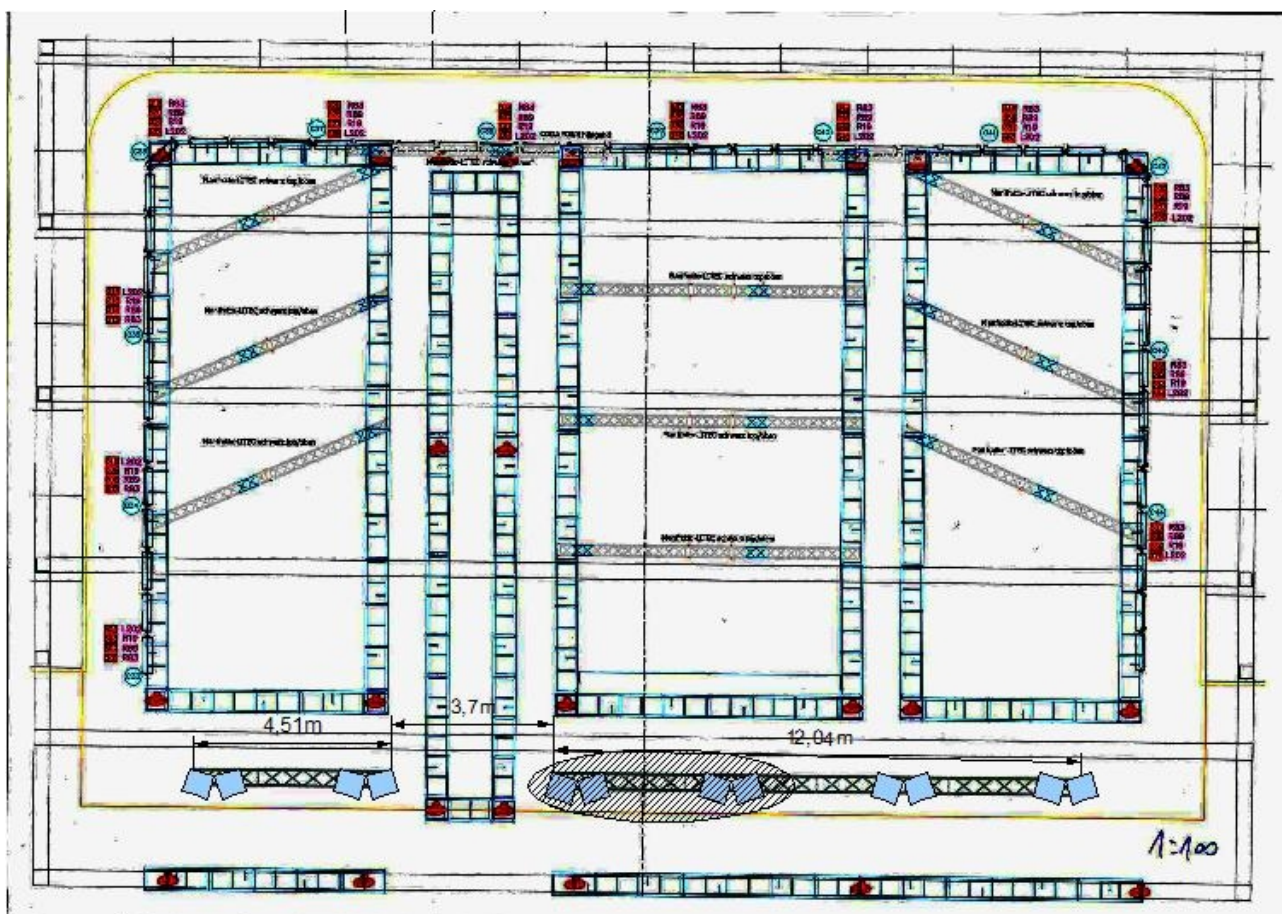


Abbildung 93

Es ergaben sich demnach von links nach rechts die Positionen 1-5, die in weiterer Folge auch als La¹⁰², Lm, Li, Ri, Rm, und Ra bezeichnet werden.

¹⁰¹ Siehe dazu Tabelle 11.

¹⁰² La: links außen. Lm: links mitte. Li: links innen. Entsprechendes gilt für die rechten Positionen.

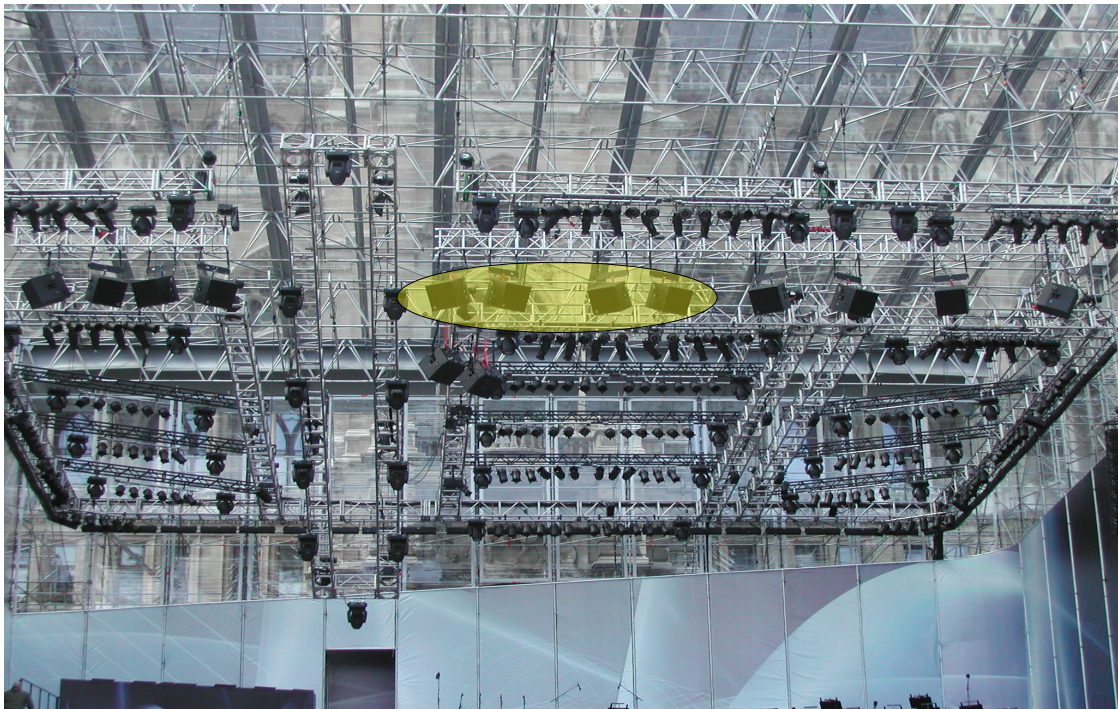


Abbildung 94

Mit Hilfe eines *composite decoders* nach Gerzon konnten aus einer konventionellen Stereomischung der Signale auf der Bühne Signale für die besagten fünf Lautsprecherpositionen erstellt werden. Dabei sollten zu Vergleichszwecken sowohl der *5 x 2 preservation decoder*, als auch der *5 x 2 improvement decoder* realisiert werden.

A 5 x 2 Composite Preservation Decoder

Um fünf Lautsprechersignale aus einer konventionellen Stereomischung zu erhalten, ist es erforderlich, einen sogenannten *composite preservation decoder*, also einen zusammengesetzten *decoder* zu erstellen. Es handelt sich dabei um eine Serienschaltung eines *3 x 2 preservation decoders* mit einem *5 x 3 preservation decoder* beziehungsweise um die Multiplikation der jeweiligen Matrizen.

Die folgende Darstellung beschreibt die Vorgehensweise zur Erstellung eines *3 x 2 preservation decoders*:

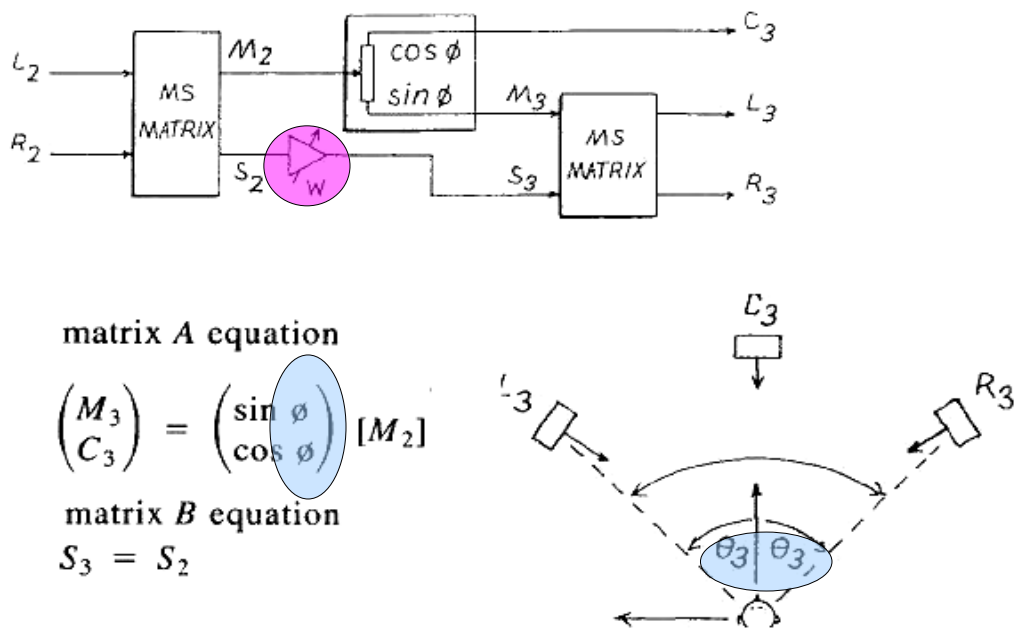


Abbildung 95
(Gerzon, 1992: Seite 573, 575 und 576)

Wie aus dem Blockschaltbild erkennbar wird das Stereosignal (L_2 und R_2) durch eine MS-Matrix geführt um Summen- und Differenzsignal (M_2 und S_2) zu erhalten. Aus dem Summensignal wird in weiterer Folge mittels Matrix A das Signal für den Center-Lautsprecher C_3 sowie das Signal M_3 generiert.

Matrix B lässt im Falle des 3 x 2 *decoders* das Differenzsignal unverändert. Es bietet sich an dieser Stelle allerdings die Option, das Stereobild mittels Verstärkung des Signals S_2 um den Faktor w (in der oberen Darstellung durch rosarote Markierung gekennzeichnet) zu verbreitern, beziehungsweise zu verschmälern.

Schlussendlich werden die Signale S_3 und M_3 wieder durch eine MS-Matrix geführt um die Signale L_3 und R_3 für ein Setup mit drei Wiedergabelautsprechern zu erhalten.

Die blauen Markierungen verdeutlichen den Umstand, dass die Winkelung der Wiedergabelautsprecher in die Berechnung mit einfließt. Abschnitt C wird auf diesen Umstand noch näher eingehen.

Im Zuge der Erstellung eines 5 x 2 *composite preservation decoders* gilt es an dieser Stelle, dem eben beschriebenen 3 x 2 *preservation decoder* einen 5 x 3 *preservation decoder* nachzustellen, um letztendlich zu einer expliziten Form zu gelangen, wie sie im folgenden allgemein dargestellt wird:

$$\begin{pmatrix} L_6 \\ L_7 \\ C_5 \\ R_7 \\ R_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x1 & - & y1 & z1 \\ x2 & & y2 & - & z2 \\ - & x3 & & y3 & - & z3 \\ - & x4 & & y4 & & z4 \\ x5 & - & y5 & & z5 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} L_3 \\ C_3 \\ R_3 \end{pmatrix}$$

Abbildung 96
(Gerzon, 1992: Seite 589¹⁰³)

Um nun beispielsweise das Signal L_6 , also das Signal für die Position L_a zu erhalten geht man folgendermaßen vor:

Signal L_3 wird mit dem Faktor $x1$ multipliziert
Signal C_3 wird mit dem Faktor $y1$ multipliziert
Signal R_3 wird mit dem Faktor $z1$ multipliziert

Die Summe dieser Produkte ergibt das Signal L_6 , wobei die Pegel jener Produkte, welchen ein negatives Vorzeichen voransteht, phasenverkehrt hinzugefügt werden.

In entsprechender Weise verfährt man bei der Ermittlung der Signale L_7 , C_5 , R_6 und R_7 .

B 5 x 2 Composite Improvement Decoder

Wie bereits im Theorieteil dieser Arbeit beschrieben, gilt es auch bei der Erstellung eines 5 x 2 *composite improvement decoders*, einfach einen 3 x 2 *improvement decoder*, wie er bereits im Theorieteil dieser Arbeit beschrieben wurde, mit einem 5 x 3 *preservation decoder* in Serie zu schalten.

Die Gerzon 5 x 2 Matrix steht somit sowohl als *preservation*- als auch als *improvement*- Version umschaltbar als Signal für die *mid*- und *frontfills* zur Verfügung.¹⁰⁴

C Mögliche Verbesserung des 5x2 Composite Improvement Decoder

DER WINKEL Θ

Wie bereits anhand vorangegangener Abbildungen dargestellt, geht die Winkelung der Lautsprecher in die Berechnung der Matrix ein. Gerzon empfiehlt als Wert für den Winkel Θ zur Berechnung einer 3 x 2 Matrix 45° , jedoch zeigt sich bei näherer Prüfung der an entsprechender Stelle in der Literatur vorgefundenen Werte¹⁰⁵ mit Hilfe der Software *matlab*, dass bei der Ermittlung eben dieser Werte wohl eine andere Winkelung verwendet wurde.

¹⁰³ Explizite Werte wurden durch die Faktoren x , y und z ersetzt.

¹⁰⁴ Siehe dazu auch die Tabelle 11 in Kapitel 5.1.

¹⁰⁵ Gerzon, 1992: Seite 589.

Es wäre also durchaus interessant, die Gerzon-Matrix hinsichtlich klangqualitativer Unterschiede durch Winkeländerung zu prüfen und den optimalen Winkelwert zu ermitteln.

Um beim Probeaufbau im Museumsquartier in der Lage zu sein, schnell die durch eventuell erwünschte Winkeländerung neuen Parameter zu ermitteln und im *soundweb* zu programmieren, wurde ein *Excel-Sheet* anhand der mit Hilfe des Programms *matlab* ermittelten Formeln erstellt.

Es sei an dieser Stelle jedoch erwähnt, dass eine allzu genaue Pegeleinstellung oft aufgrund vorgegebener Skalierungen der verwendeten *soft-* oder *hardware* nicht möglich ist.

Folgender Umstand soll außerdem im Zuge dieses Abschnittes noch Erläuterung finden:

Eine Winkelung der Wiedergabelautsprecher geht in die Matrix mit ein. Es stellt sich damit allerdings theoretisch wiederum die *sweet spot*-Problematik: Die Winkelung der Wiedergabelautsprecher in Bezug auf den Hörer ist abhängig vom Abstand Hörer-Lautsprecher.

DIE TRENNFREQUENZ

Wie bereits in Abschnitt 3.2.2 E erwähnt ist die Trennfrequenz der beiden Bänder des *improvement decoders* laut Gerzon unkritisch, doch ließe sich möglicherweise durch umfangreiche Versuche trotzdem ein idealer Frequenzbereich finden.

6.2 Vor- und Nachteile der Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo

Für die Festwocheneröffnung ist es gelungen, sowohl einen 5 x 2 *improvement decoder*¹⁰⁶ als auch einen 5 x 2 *preservation decoder*¹⁰⁷ zu programmieren. Zwischen diesen beiden Möglichkeiten konnte man also umschalten. Erstaunlicherweise gefiel der *preservation decoder* beim Probeaufbau im Museumsquartier den anwesenden Tontechnikern klanglich besser als der *improvement decoder*, weshalb am Rathausplatz, ohne weitere zeitraubende Hörversuche zu unternehmen, der *preservation decoder* zum Einsatz kam.

Es stellte sich heraus, dass die Matrix nach Gerzon tatsächlich dazu geeignet ist, eine Stereomischung in schlüssiger Art und Weise auf mehrere Lautsprecher zu verteilen. Die Abbildung bleibt über einen breiten Abhörbereich erhalten.

Als Pluspunkt lässt sich die Einfachheit und Schnelligkeit der Realisierung "am Platz" vermerken. Die Matrix lässt sich gut vorbereiten, sodass ihr, sorgfältige Programmierung vorausgesetzt, zum Zeitpunkt der Anwendung keine weitere Aufmerksamkeit mehr geschenkt werden muss. Für den Mischer ist es erfreulich, dass keine zusätzliche Arbeit anfällt, nachdem ein konventionelles Stereosignal als *input* für die Matrix dient.

106 Serienschaltung 3 x 2 *improvement decoder* mit 5 x 3 *preservation decoder*.

107 Serienschaltung 3 x 2 *preservation decoder* mit 5 x 3 *preservation decoder*.

Der Einsatz einer solchen Matrix erweist sich demnach als kostengünstige Variante, ein in Bezug auf die Erzeugung einer halbwegs realistischen Abbildung über den gesamten Hörbereich sicherlich besseres Ergebnis zu erzielen, als durch Beschallung mittels oft vorzufindendem Mono-*Centercluster* erreicht werden kann. Es bleibt jedoch die Frage offen, ob ein Konzept, welches sich im Prinzip der pegelabhängigen Beimischung phasenverkehrter Signale bedient, der Weisheit letzter Schluss sein kann. Das durch die Matrix erzeugte Klangbild wurde dadurch schon beim Probeaufbau im Museumsquartier deutlich indirekter wahrgenommen, als das vergleichbare Klangbild der zu Grunde liegenden Stereomischung. Dieser Umstand wirkte sich jedoch am Rathausplatz eher positiv auf die Klangqualität aus, da auch dort, wie bei Beschallungen im Vergleich zur Arbeit im Tonstudio aufgrund der Rückkopplungsproblematik zumeist üblich, eher nahe mikrofoniert wurde.

Die wahrgenommene Indirektivität im Klangbild ließe sich möglicherweise bei Studioaufnahmen minimieren, sofern die Signalquellen getrennt voneinander aufgezeichnet werden um Übersprache zu vermeiden. Dadurch kann die phasenverkehrte Beimischung eines Signalanteils zum selben Signal vermieden werden.

Es bleibt zu erwähnen, dass im vorderen Publikumsbereich, beziehungsweise in dem Bereich, der von den *mid-* und *frontfills* abgedeckt werden konnte, eine befriedigende Abbildung durch den Einsatz der Matrix nach Gerzon erzielt werden sollte.

Zwar deckten die *LARS-arrays* (größtenteils) einen anderen Hörbereich ab als die *mid-* und *frontfills*, doch sollte trotzdem berücksichtigt werden, dass die 5x2 Matrix dazu gedacht ist, über lediglich fünf möglichst gleiche Frontlautsprecher wiedergegeben zu werden um eine möglichst realistische Lokalisation zu gewährleisten. Schließlich ist im Zuge der Wiedergabe über die fünf Lautsprecher bereits die gesamte Stereoabbildungsbreite enthalten. Werden dann noch zwei Lautsprecher, im vorliegenden Fall in Form der *LARS-arrays*, an den Außenpositionen hinzugefügt, welche ein konventionelles Stereosignal wiedergeben, werden die von Gerzon unter Zuhilfenahme verschiedener psychoakustischer Parameter entwickelten Lokalisationskurven¹⁰⁸ wohl empfindlich beeinflusst.

In wieweit die Wahrnehmung der Stereobreite dadurch negativ beeinflusst wird ist eine Frage, die zu beantworten es näherer Untersuchungen bedarf.

6.3 Spektrale Panoramisierung

Wie bereits im Theorieteil dieser Arbeit erwähnt, gründet die spektrale Panoramisierung auf eine richtungs- und frequenzabhängige Pegelreduktion der wiederzugebenden Schallquellen am abgewandten Ohr. Es handelt sich damit gleichsam um eine Lokalisation durch Unterschiede im Frequenzgang der beiden Stereo-Lautsprecherseiten.

Jeder Einfallsrichtung kann also eine entsprechende Filterkurve zugeordnet werden. Im Fall der Festwocheneröffnung standen uns Filterkurven für sechs Positionen, also sechs Einfallsrichtungen innerhalb des üblichen Stereo-Lautsprecheröffnungswinkels von 60° zu Verfügung. Wie aus der dritten Zeile der folgenden Tabelle ersichtlich, handelte es sich dabei um die Positionen 25°links, 15°links, 5°links, 5°rechts,

¹⁰⁸ Siehe dazu Gerzon, 1992: Seite 580ff.

15°rechts und 25°rechts. Um die Einordnung zu erleichtern zeigt die zweite Zeile der folgenden Tabelle die Außenpositionen (je 30°), die Mittenposition (0°), sowie die Positionen "halb-rechts" und "halb-links" (je 15°).

LINKS		MITTE		RECHTS	
30°	15°	0°		15°	30°
25°	15°	5°	5°	15°	25°

Tabelle 12

Anders als bei der Matrix nach Gerzon, mittels derer aus einer konventionellen Stereomischung Signale für mehrere Frontlautsprecher erstellt werden können, benötigte man in diesem Fall für die Konstruktion eines spektral-panoramisierten Stereosignals eine Mischung auf die genannten *sechs* Panoramapositionen, um in weiterer Folge Signale für *zwei* Stereo-Lautsprecherpositionen zu gewinnen.¹⁰⁹

Die folgende Tabelle soll diesen Umstand verdeutlichen:

LINKS		MITTE		RECHTS	
25°	15°	5°	5°	15°	25°
Bus 1	Bus 2	Bus 3	Bus 4	Bus 5	Bus 6
La ¹¹⁰	Lm	Li	Ri	Rm	Ra

Tabelle 13

Die am Mischpult anliegenden, zu verstärkenden Signale wurden auf die Busse 1-6 gemischt, welche den Panoramapositionen "25°links/La" - "25°rechts/Ra" entsprachen. Diese sechs "Ohrkurvenbusse" dienten in weiterer Folge als Eingangssignale für das *soundweb*.¹¹¹ Im *soundweb* wurden die Signale der Busse nach den entsprechenden Ohrkurven-Filtern bearbeitet.

Beispiel:

Möchte man die Flöte aus der Position "15° rechts" hören, weist man den Kanal der Flöte dem entsprechenden Bus zu. Wie aus der oberen Tabelle ersichtlich handelt es sich in unserem Fall um Bus 5.

Steht eine Mischung auf sechs Positionen bzw. auf sechs entsprechende Busse als *input* für das *Soundweb* zur Verfügung, werden die Busse nach Ihrer Panoramafunktion gefiltert und im Pegel manipuliert. Eine Mischung der behandelten beziehungsweise unbehandelten Busse bildet das neue, spektral-panoramisierte Stereosignal für die PA.

Die folgende Darstellung soll die Vorgehensweise verdeutlichen:

¹⁰⁹ Siehe dazu im Vergleich die Abbildungen 70 und 77.

¹¹⁰ Position "Links außen": La; Position "Links mitte": Lm; Position "Links innen": Li; Entsprechendes gilt für die rechten Positionen.

¹¹¹ Wie bereits erwähnt gab es je ein Mischpult für das Orchester und eines für die Bands. Es standen also von beiden Pulten je eine Stereomischung sowie eine spektral panoramisierte Mischung über sechs Busse zur Verfügung. Die Busse und Stereomischungen beider Pulte wurden im *PM5D* zusammengefasst, sodass das *soundweb* nur noch 8 Eingänge (6 Ohrkurvenbusse, 1 Stereomischung) verwalten musste.

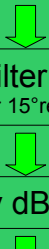
INPUT 1 Bus 1 Position 1: La entspricht 25°li	INPUT 2 Bus 2 Position 2: Lm entspricht 15°li	INPUT 3 Bus 3 Position 3: Li entspricht 5°li	INPUT 4 Bus 4 Position 4: Ri entspricht 5°re	INPUT 5 Bus 5 Position 5: Rm entspricht 15°re	INPUT 6 Bus 6 Position 6: Ra entspricht 25°re
					
	Filter für 25°li		Filter für 5°re	Filter für 15°re	Filter für 25°re
					
	-x dB		-z dB	-y dB	-x dB
					
X	Y	X	Y	X	Y

Tabelle 14

Die **Summe** aller **X**, also die Summe der unbehandelten Busse 1-3 und der ohrkurvengefilterten Busse 4-6 ergibt das spektral-panoramisierte Signal für die **linke Seite** der PA/delaylines.

Die **Summe** aller **Y**, also die Summe der ohrkurvengefilterten Busse 1-3 und der unbehandelten Busse 4-6 ergibt das spektral-panoramisierte Signal für die **rechte Seite** der PA/delaylines.

Beispiel:

Möchte man im Zuge einer Signalwiedergabe über ein konventionelles Stereosystem eine wiederzugebende Schallquelle als 15° links¹¹² positioniert erklingen lassen, lässt man das Signal sowohl vom linken als auch vom rechten Lautsprecher wiedergeben. Allerdings wird das Signal für den rechten Lautsprecher nach der entsprechenden "15° von links" Abschattung des Kopfes und der Ohrmuschel gefiltert und zusätzlich um einen bestimmten Wert, in obiger Tabelle als Wert y dargestellt, im Pegel reduziert.

Handelt es sich um mehrere an verschiedenen Panoramapositionen wiederzugebende Schallquellen, werden diese, wie aus obiger Tabelle ersichtlich, den entsprechenden Bussen zugewiesen. Die entsprechende Mischung der Busse wurde bereits beschrieben.

Die spektral-panoramisierten Signale standen hiermit als umschaltbare Alternative zu einem konventionellen Stereosignal für die Wiedergabe über die *LARES-arrays* und *delaylines* zur Verfügung.¹¹³

Zudem konnten die unbehandelten Signale der sechs Busse, in obiger Darstellung durch die langen grünen bzw. roten Pfeile dargestellt, als Alternative zu den Signalen der "Gerzonmatrix" als *input* für die sechs Positionen der *mid*.-bzw. *frontfills* dienen.¹¹⁴

¹¹² Also 15° links innerhalb der üblichen Stereobreite von 60°.

¹¹³ Siehe Tabelle 11.

¹¹⁴ Die Zusammenfassung der mittleren *mid*- und *frontfill*-Lautsprecher, wie in Abbildung 90 veranschaulicht, wurde ausschließlich bei Wahl der Gerzon-Matrixsignale aufgrund der Realisierung einer 5 x 2-Matrix vorgenommen.

6.4 Vor- und Nachteile der spektralen Panoramisierung

Unsere Versuche beim Probeaufbau im Museumsquartier ergaben eindeutig, dass die spektrale Panoramisierung ganz hervorragend dazu geeignet ist, den Stereoeindruck besonders wohlklingend über einen breiten Zuhörerbereich zu vermitteln.

"Die spektrale Panoramisierung führt im Vergleich zu reiner Pegelpanoramisierung zu einer schärferen Lokalisierung bei höherer Transparenz des Klangbildes. Dies auch bei unterschiedlich ausgerichteter Kopfposition von ca. $\pm 30^\circ$ bezogen auf das Lautsprecher-Stereosystem."

(Ulrich Vette im Gespräch am 13.12.2008)

Der bei Beschallungen übliche, traurige Umstand, quasi *mono* mischen zu müssen, damit der Zuhörer auch an "extremen Positionen"¹¹⁵ eine ausgewogene Mischung zu Ohren bekommt, könnte also durch Anwendung der spektralen Panoramisierung wesentlich gemildert werden. Schließlich wird jedes Signal von beiden Lautsprechern wiedergegeben, nur eben um richtungsabhängige Abschattungs- beziehungsweise Beugungswirkung filtertechnisch manipuliert.

Als Nachteil dieser Methode muss lediglich festgehalten werden, dass der Aufwand zur Realisierung sehr groß ist. In unserem Fall haben die Probenzeiten am Veranstaltungsort leider nicht ausgereicht, um zusätzlich zur konventionellen Stereomischung auch eine nach Möglichkeit auch zum Zwecke der Methodenkombination entsprechende Mischung über sechs Busse einzurichten. Zudem sollte der Auswahl der Filtereigenschaften besondere Zeit und Aufmerksamkeit geschenkt werden, um die für den jeweils verwendeten Filter möglichst wohlklingendsten Einstellungen zu finden.

Eine Erleichterung der Anwendung ist allerdings bereits in Planung.

7.0 Programmierung im *soundweb*

Die folgende Abbildung 97 zeigt die Programmierung der spektralen Panoramisierung im *soundweb*.

Zwar wurde im Laufe dieses Berichtes immer nur von *einem* solchen Gerät gesprochen, doch handelt es sich im Falle dieser Realisierung um zwei *Soundwebs*, welche über ein Netzkabel miteinander verbunden wurden. Auf diese Weise stehen dem Benutzer neben der pro Gerät vorhandenen acht analogen Ein- und Ausgänge auch noch jeweils acht virtuelle Ein- und Ausgänge¹¹⁶ über das Netzwerk zur Verfügung.

Diese kann man benutzen, um Signale zwischen den beiden Geräten hin- und her zu schicken. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise notwendig, wenn die DSP-Leistung eines Gerätes, und/oder dessen Anzahl an Ein- und Ausgängen nicht ausreicht, um die gewünschte Schaltung zu realisieren.

¹¹⁵ Also beispielsweise weit außerhalb des *sweet spots*, wo man möglicherweise nur eine Stereoseite wahrnehmen kann.

¹¹⁶ Siehe blaue Markierung in Abb. 97.

In unserem Fall ist *soundweb 1*¹¹⁷ daher primär dazu gedacht, die spektral-panoramisierten Signale zu generieren, während durch *soundweb 2*¹¹⁸ die Gerzon-Matrix realisiert wird.

Wie in Kapitel 5.2 bereits erwähnt, sollten als Eingangssignal für die *mid*- bzw. *frontfills* sowohl die sechs unbehandelten Ohrkurvenbusse als auch die fünf durch Gerzon-Matrix generierten Lautsprecher-signale zur Auswahl stehen. Zu diesem Zwecke benötigt man so genannte *source selectoren*¹¹⁹. Diese Verarbeitungsstufen erlauben es, die entsprechenden Möglichkeiten als *input* für die jeweiligen Lautsprecher zur Weiterführung an die folgenden Bearbeitungsstufen auszuwählen.

Im Falle der Lautsprecher-signale für die *mid*- und *frontfills* finden sich die entsprechenden sechs Selektoren in *soundweb 1*, während die *source selectoren* für die PA und *delaylines* mit den Möglichkeiten "spektral-panoramisiertes Stereosignal" und "konventionelles Stereosignal" in *soundweb 2* zu finden sind.

Es liegt nahe, dass virtuelle Verbindungen genutzt werden müssen, um die einzelnen Signale den entsprechenden *source selectoren* zukommen zu lassen. So muss zum Beispiel auch das spektral-panoramisierte Stereosignal, welches in *soundweb 1* erzeugt wird ins *soundweb 2* zu den *source selectoren* für die PA und *delaylines* geführt werden.

Der gelb gekennzeichnete Bereich in Abbildung 97 markiert die analogen Eingänge des *soundweb1*. Als *inputs* liegen hier (von oben nach unten) die sechs Busse für die Ohrkurven-Positionen (von links nach rechts) sowie der Stereo-Solobus an.

Die gelben Felder links davon stellen die EQs dar, welche zur Ohrkurvenfilterung an den jeweiligen Bussen erforderlich sind. Bei den beiden blauen Rechtecken an der unteren Bildkante handelt es sich um die beiden Mixereinheiten, welche die gefilterten bzw. ungefilterten Ohrkurvenbusse für die PA zusammenfassen.¹²⁰

Wie bereits erwähnt, werden die sich daraus ergebenden spektral-panoramisierten Signale für die linke und rechte Seite der PA in weiterer Folge über virtuelle Verbindungsleitungen ins *soundweb 2* geführt.

Die größeren in Abbildung 97 grün markierten Felder kennzeichnen die für die *mid*- beziehungsweise *frontfills* eingerichteten *source selectors*. In unserem Fall liegen hier zwei verschiedene Signale zur Auswahl an. Dabei handelt es sich einerseits um die fünf *outputs* der Gerzon-Matrix als Möglichkeit 1, sowie um die sechs unbehandelten Busse der spektralen Panoramisierung als Möglichkeit 2.

Hat man sich für die Verwendung einer dieser beiden Signalarten entschieden, werden die fünf beziehungsweise sechs Busse nur noch den jeweiligen Lautsprechern entsprechend gefiltert sowie bei Bedarf verzögert und im Pegel angepasst, bevor sie schlussendlich die analogen *outputs* passieren.

Wie bereits in Kapitel 6.1 beschrieben wird das C₃-Signal der Gerzonmatrix auf vier anstatt zwei Lautsprecherpositionen weitergeführt. Es gilt daher, eine entsprechende Pegelabsenkung einzurichten. Die dafür vorgesehene Verarbeitungsstufe wurde in Abbildung 98 blau markiert.

117 Siehe dazu Abb. 97.

118 Siehe dazu Abb. 98.

119 Die grünen Markierungen in den Abbildungen 97 und 98 heben die *source selectoren* hervor.

120 Siehe dazu die entsprechende Darstellung in Kapitel 6.3.

Die roten Markierungen in den Abbildungen 97 und 98 hingegen stellen Mixereinheiten heraus, die es ermöglichen, die Signale des Stereo-Solobusses¹²¹ (Analoger Eingang 7 und 8 des *soundweb* 1) den Signalen für die mittleren beiden Positionen der *mid*- und *frontfills* beziehungsweise den Signalen für die PA hinzuzufügen.

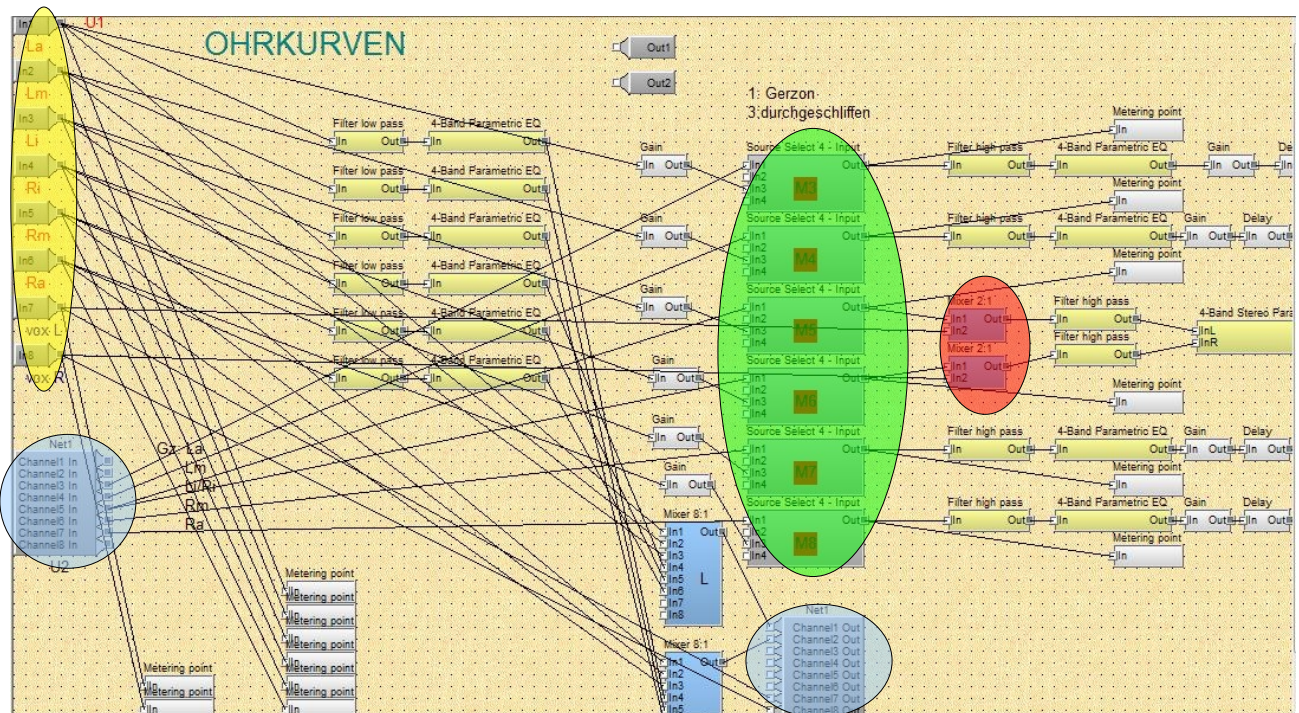


Abbildung 97
soundweb 1

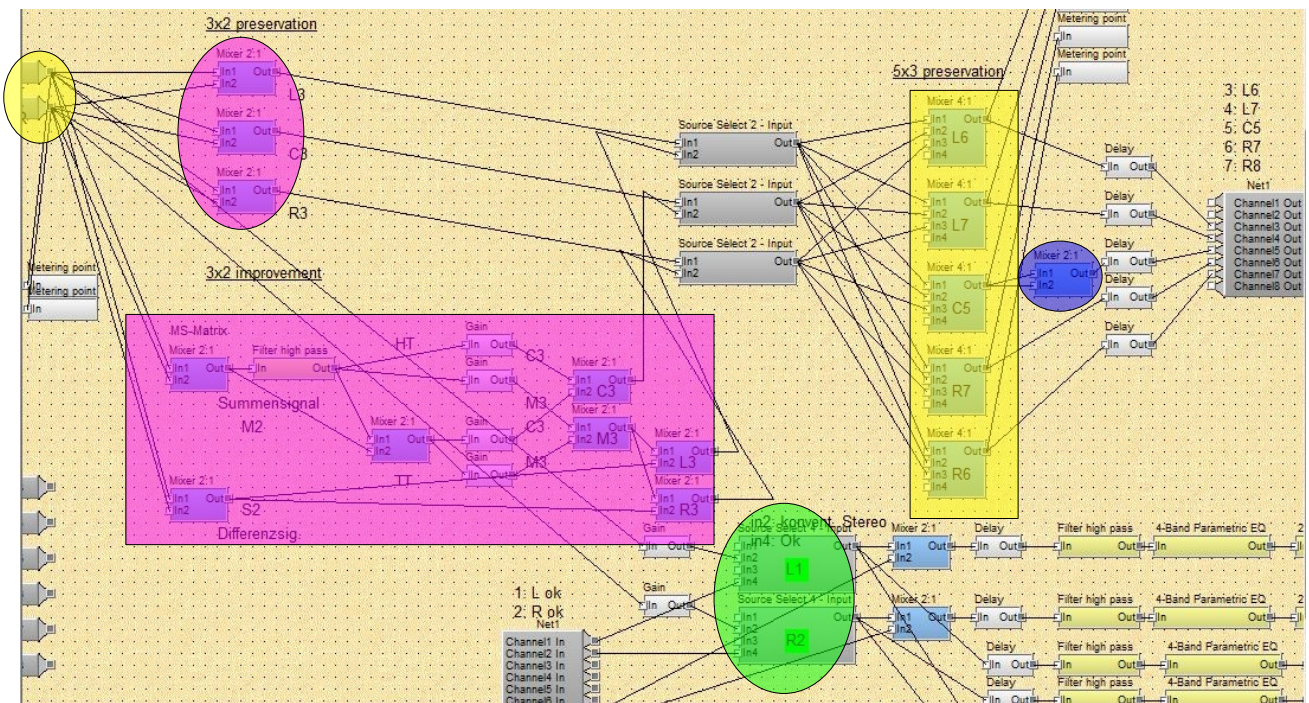


Abbildung 98
soundweb 2

¹²¹ Siehe dazu Kapitel 5.1.

Abbildung 98 zeigt primär die in *soundweb 2* realisierte Gerzonmatrix. Als *input* an den analogen Eingängen steht eine konventionelle Stereomischung zur Verfügung.

Der oben in Bild 98 gekennzeichnete rosarote Bereich stellt die Umsetzung des 3 x 2 *preservation decoders* dar.

Die durch ein rosarotes Viereck markierten Verarbeitungsstufen realisieren den 3 x 2 *improvement decoder*.

An der rechten oberen Kante des rosaroten Vierecks lassen sich wiederum drei *source selectoren* erkennen. An dieser Stelle kann man wählen, welche der beiden 3 x 2 Matrizen als *input* für den folgenden 5 x 3 *preservation decoder*¹²² (gelbe viereckige Markierung) dienen soll. Es ist dies also auch die Stelle, an der entschieden wird, ob man einen 5 x 2 *composite improvement decoder* oder einen 5 x 2 *composite preservation decoder* realisieren möchte.

Abbildung 99 zeigt nur eine der wahlweise zu erstellenden benutzerdefinierten Bedienoberflächen der in den beiden *soundwebs* programmierten Schaltung. In diesem Fall handelt es sich um eine Zusammenfassung der *source selectoren* für die *mid*- beziehungsweise *frontfills* und der *source selectoren* für die PA. Der viereckige rote Knopf im linken oberen Eck stellt den *link button* dar. Ist er aktiviert, lassen sich die gelinkten Selektoren gleichzeitig auf den gewünschten Eingang stellen.

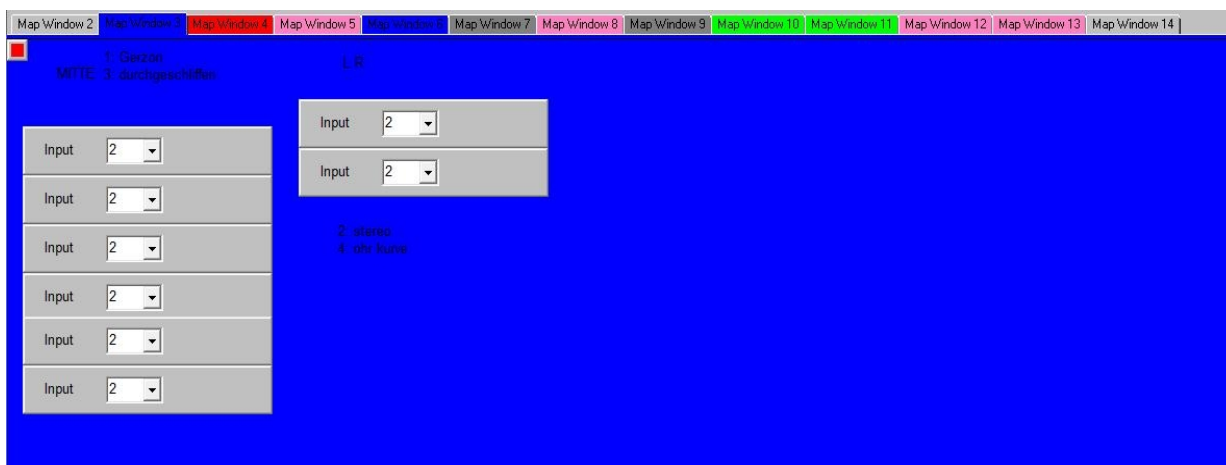


Abbildung 99

Zu guter Letzt soll die folgende Aufstellung noch einmal einen kurzen Überblick über die möglichen Signale geben, die wahlweise als *input* für die entsprechenden Lautsprechergruppen dienen können:

PA/DELAYLINES		
konventionelles Stereo L	oder	spektral-panoramisiertes Stereo L
konventionelles Stereo R		spektral-panoramisiertes Stereo L

Tabelle 15

¹²² Umsetzung der 5x3 Matrix aus Abb. L.

MIDFILLS/FRONTFILLS				
Bus 1/La (ungefiltert!)	oder	Gerzon L6	für	2 C4 bzw. 1 K&F La (Pos 1)
Bus 2/Lm (ungefiltert!)		Gerzon L7		2 C4 bzw. 1 K&F Lm (Pos 2)
Bus 3/Li (ungefiltert!)		Gerzon C5		2 C4 bzw. 1 K&F Li (Pos 3)
Bus 4/Ri (ungefiltert!)		Gerzon C5		2 C4 bzw. 1 K&F Ri (Pos 4)
Bus 5/Rm (ungefiltert!)		Gerzon R7		2 C4 bzw. 1 K&F Rm (Pos 5)
Bus 6/Ra (ungefiltert!)		Gerzon R6		2 C4 bzw. 1 K&F Ra (Pos.6)

Tabelle 16

8.0 Conclusio

"Weisheit ist Zurückhaltung im Urteil."

Phyrrhon

(zitiert nach Spierling, 2004: Seite 8)

Aufgrund der Experimentierfreudigkeit des technischen Leiters, gepaart mit dem Bedürfnis nach besseren Ergebnissen als durch konventionelle Methoden erzielt werden können, kamen bei der Veranstaltung "Wiener Festwocheneröffnung 2008" spezielle Techniken zum Einsatz. Dabei handelte es sich im Falle der Bühnenbeschallung um eine durchdachte Raumsimulation, im Falle der Publikumsbeschallung um die geplante Kombination einer Matrix nach Gerzon, sowie einer spektralen Panoramisierung mittels spezieller Ohrkurven.

Während auf die Techniken der Raumsimulation im Zuge dieser Arbeit nicht näher eingegangen werden kann, wurde die Realisierung der genannten beiden Methoden zur Erstellung einer befriedigenden Abbildung im Publikumsbereich in Kapitel 5 dieses Teils der Arbeit erläutert. Vor- und Nachteile der beiden Methoden wurden bereits genannt, womit ich meine Einschätzung der Methoden der spektralen Panoramisierung, sowie der Matrizen nach Gerzon bereits dargelegt habe.

Zusammenfassend lässt sich bemerken, dass sowohl im Zuge des Probeaufbaus im Museumsquartier als auch am Rathausplatz sowohl die durch Gerzonmatrix erstellten Signale, als auch die spektrale Panoramisierung in jedem Fall eine Verbesserung zur konventionellen Signalaufteilung auf multiple Lautsprecherpositionen darstellen. Einzelheiten bezüglich der Eigenschaften dieser beiden Methoden wurden bereits in den Kapiteln 6.2, sowie 6.4 erläutert.

Die Aufgabenstellung, beide Systeme zusätzlich zur Raumsimulation für die Anwendung am Rathausplatz zu optimieren, stellte sich aufgrund begrenzter Orchesterprobenzeiten am Ort des Geschehens allerdings als zu komplex heraus. Auf den Einsatz der spektralen Panoramisierung für diese Veranstaltung musste daher leider verzichtet werden.

Um jedoch auf eine Konzertbeschallung hinzuweisen, die auf den sehr erfolgreichen Einsatz der Spektralpanoramisierung zurückgriff, findet sich im Anhang ein kurzer Abschnitt zu einer Veranstaltung, die im Vorjahr in der Schweiz stattfand.

Sowohl "Gerzon-Matrix" als auch die spektrale Panoramisierung stellen insofern eine deutliche Verbesserung gegenüber konventionellen Techniken dar, als dass die wiedergegebenen Schallquellen im gesamten Publikumsbereich wahrnehmbar sind. Pegelinformationen der einzelnen Signale sind schließlich in jedem Wiedergabelautsprecher vorhanden. Damit kann der Umstand, an ungünstigen Abhörsituationen bei konventioneller Stereo-Beschallung eine oftmals höchst unbefriedigende Mischung zu Ohren zu bekommen, wesentlich gemindert werden.

Die Richtungsinformationen bei Wahrnehmung von lediglich einer spektral-panoramisierten Stereo-Lautsprecherseite beziehungsweise lediglich eines Lautsprechers, der ein Matrix-Signal nach Gerzon wiedergibt, kann zwar nicht im vollen Ausmaß zur Geltung kommen, zeigt sich allerdings wesentlich schlüssiger als dies für konventionelle Panoramisierung der Fall wäre.

Die theoretischen Betrachtungen in dieser Arbeit sollen dem interessierten Leser vermitteln, dass die beiden Anforderungen, eine regelmäßige Schalldruckpegelverteilung bei einigermaßen linearem Frequenzgang im gesamten Publikumsbereich zu erstellen, sowie eine möglichst realistische Abbildung der Schallquellen zu erzielen, individuelle Maßnahmen erfordern. Viele vermeintliche Verbesserungsmaßnahmen bringen allerdings neue Herausforderungen bezüglich anderer Parameter mit sich.

Es zeigt sich jedoch ebenfalls anhand der Wiener Festwocheneröffnung 2008, dass durchaus sehr befriedigende Ergebnisse erreicht werden können, sofern Wille (und Budget) vorhanden sind, Zeit und Mühe in ein gut durchdachtes Konzept, welches auf die besonderen Anforderungen der jeweiligen Veranstaltung zugeschnitten ist, zu investieren. Selten wird es der Fall sein, dass es dabei mit einer simplen Aufstellung mehrerer Lautsprecher an den Bühnenseiten, wie sie so oft vorgefunden werden kann, getan ist.

Die Tonanlagenplanung übernimmt jedoch zumeist der Verleiher. Dieser ist aufgrund des harten Wettbewerbes dazu gezwungen, unter anderem auch unter der Berücksichtigung von Materialverfügbarkeit konkurrenzfähige Angebote zu erstellen. Ein unabhängiges, individuell auf Optimierung des akustischen Ergebnisses zugeschnittenes Beschallungskonzept kann damit oft nicht realisiert werden. Die Angebote der verschiedenen Verleiher beruhen nicht auf derselben Planung, weshalb eine möglichst kostengünstige Lösung gefunden werden muss.

Dem für die Veranstaltung letztendlich verantwortlichen Tontechniker wird dann zumeist weder ausreichend Zeit noch Material für innovative Umsetzung gegönnt.

Im Gegensatz dazu steht die Arbeit des *sounddesigners*, der zunächst darauf bedacht ist, das möglichst beste akustische Ergebnis zu erzielen, um in weiterer Folge für die Umsetzung seines Konzeptes geeignetes Material zusammenzustellen. Durch eine gute und effiziente Planung kann auch bei Berücksichtigung der Kosten ein gutes Ergebnis erzielt werden.

Um den Kreis zu schließen sei an dieser Stelle deshalb nochmals an das eigentliche Ziel einer Beschallung, wie es zu Beginn dieser Arbeit dargestellt wurde, erinnert:

"to please the audience"

Und so erlaube ich mir, die Betrachtungen der vorliegenden Arbeit mit ein wenig Humor zu schließen, indem ich zitiere:

"Es könnte alles so einfach sein-
isses aber nicht."

Die Fantastischen Vier
(Bonner; Weiss, 2008: Seite 48)

Literaturhinweis

Ahnert, Wolfgang: *The Complex Simulation of Acoustic Sound Fields by the Delta Stereophonie System*. Paper zur 81. AES Convention in Los Angeles, New York 1986

Ahnert, Wolfgang; Steffen, Frank: *Beschallungstechnik. Grundlagen und Praxis*. S.Hirzel-Verlag: Stuttgart, Leipzig 1993

Bonner, Stefan; Weiss, Anne: *Generation Doof. Wie blöd sind wir eigentlich?* Verlagsgruppe Lübbe GmbH & Co. KG, Bergisch Gladbach 2008

Dickreiter, Michael: *Handbuch der Tonstudioteknik*, Band 1 von 2, hrsg. von der SRT-Schule für Rundfunktechnik; ⁶München K. G. Saur 1997

Deutsch, Diana (Hrsg.): *The Psychology of Music*, second edition, Academic Press San Diego, London, Boston, New York, Sydney, Tokyo, Toronto 1999

Ebner, Michael: *Handbuch der PA-Technik*. ⁴Elektor-Verlag, Aachen 2006

Gerzon, Michael: *Optimum Stereo Reproduction Matrices for Multispeaker Stereo*, in: AES-Journal Vol.40, Seite 571-589. hrsg. v. AES, New York 1992

Görne, Thomas; Bergweiler, Steffen: *Monitoring. Lautsprecher in Studio- und HiFi-Technik. Von der Aktivbox bis zur Surround-Abhöre*. Technik, Akustik, Aufstellung. PPV Medien GmbH, Bergkirchen 2004

Hau, Andreas: *Der Homerecording Guide*. Factfinder-Serie. Hrsg. Gunther Carstensen. CG Carstensen Verlag, München 2008

Helmholtz, Hermann von: *Die Lehre von den Tonempfindungen* (Als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik), 2. unveränderte Nachdruckauflage der 6. Ausgabe, Georg Olms Verlag, Hildesheim, Zürich, New York 1983

Kesner, Z.; Minarik, V.: *Experience over Five Years with the Deltastereophonie System in Palace of Culture in Prague*. Paper zur 77. AES Convention in Hamburg, New York 1985

McCarthy, Bob: *Meyer Sound Design Reference for Sound Reinforcement*, Meyer Sound Laboratories, Berkeley 1997

Meyer Sound *Full Line Catalog*, Meyer Sound Laboratories, Berkeley 2007

Piccarella, John: "Grateful Dead", Seite 277-278 in: *The New Grove Dictionary of American Music*, Band II von IV, hrsg.v. H. Wiley Hitchcock und Stanley Sadie, Macmillan Press limited, London; Grove's Dictionaries of Music Inc., New York 1986

Pieper, Frank: *Das P.A. Handbuch. Praktische Einführung in die professionelle Beschallungstechnik*. Factfinder-Serie. Hrsg. Gunther Carstensen, 2. überarbeitete Auflage. CG Carstensen Verlag, München 2001

Sobol, Norbert: *The "Delta Stereophony System": A Multi-Channel Sound System to achieve True Directionality and Depth*. Paper 6-008 zur 6. Internationalen AES Conference, New York 1988

Spierling, Volker: *Kleine Geschichte der Philosophie. Große Denker von der Antike bis zur Gegenwart*. Piper Verlag Gmbh, München 2004

Steinke, Gerhard: Delta Stereophony - A Sound System with True Direction and Distance Perception for Large Multipurpose Halls. in: AES-Journal Vol. 31 Nr. 7, Seite 500-511, hrsg. v. AES, New York 1963

Terhardt, Ernst: *Akustische Kommunikation. Grundlagen mit Hörbeispielen*. Springer- Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1998

Veit, Ivar: *Technische Akustik. Grundlagen der physikalischen, physiologischen und Elektroakustik*. 6. erweiterte Auflage, Vogel Buchverlag, Würzburg 2005

Webers, Johannes: *Tonstudiotechnik. Schallaufnahme und -wiedergabe bei Rundfunk, Fernsehen, Film und Schallplatte*. ⁵Franzis-Verlag Gmbh, München 1989

Zwicker, Eberhard: *Psychoakustik*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1982

Zwicker, Eberhard; Fastl, Hugo: *Psychoacoustics. Facts and Models*. Second updated edition, hrsg.v. M.R. Schroeder, Springer Series in Information Sciences 30-35, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York 1999

www.dbaudio.com (Grundzüge der Akustik und Beschallungstechnik)
(12.5.2001)

www.yamahaproaudio.com (*CS1DE Reference Manual Software PM1D*)
(1.4.2007)

www.sengpielaudio.com
(4.5.2008)

www.pispeakers.com/ssdm_99.pdf (*JBL Sound System Design Reference Manual*)
(7.11.2008)

<http://www.hifi-forum.de/viewthread-42-71.html>
(24.11.2008)

http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783540343004-c1.pdf?SGWID=0-0-45-520906-p173660052
(Weinzierl, Stefan: *Handbuch der Audiotechnik*, Springer-Verlag, 2008
(24.11.2008)

<http://www.dj4uf.de/lehrg/e02/bild2-11a.gif>
(26.11.08)

http://www.yamahacommercialaudio.com/ca/uk/10_news/20_installed_sound/30_education/archive/2007_12/31_concerto_mogno/index.html
(26.11.1008)

<http://www.lindos.co.uk/cgi-bin/FlexiData.cgi?SOURCE=Articles&VIEW=full&id=17>
(26.11.2008)

<http://www.bose.de/DE/de/musicians/products/l1-systems/l1-model-l-basic-package/index.jsp>
(27.11.2008)

<http://www.bose.de/DE/de/musicians/the-bose-system/the-bose-approach/index.jsp>
(27.11.2008)

<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?IA=EP2006006569&WO=2007%2F009599&DISPLAY=DESC>
(27.11.2008)

<http://www.syntheticwave.de/WFS-Prinzip-Animation.htm>
(27.11.2008)

http://www.hauptmikrofon.de/theile/DSS_Beschallung_TMI_Maerz_1999.PDF
(27.11.2008)

<http://vsr.medien.fh-duesseldorf.de/~herder/events/dinjp-aizu2005/index.de>
(27.11.2008)

<http://www.audiojunkies.com/blog/730/an-insiders-look-at-the-grateful-deads-wall-of-sound>
(27.11.2008)

<http://www.mcsquared.com/directvt.htm>
(29.11.2008)

http://www.studer.ch/pdf/swiss_sound/swissound42.pdf
(14.12.2008)

http://www.resy.waldsoft.at/page_pool/200404812458/datacenter/Bregenzer_Festspiele_2005.pdf
(3.2.2009)

Anhang

I Konzertbeschallung in Mogno (CH)



Abbildung 100
Foto: privat



Abbildung 101

http://www.yamahacommercialaudio.com/ca/uk/10_news/20_installed_sound/30_education/archive/2007_12/31_concerto_mogno/index.html

Die obige Abbildung zeigt die Bühne einer *open-air*-Produktion des Schweizer Fernsehens im August 2007 in Mogno. Es handelte sich dabei um ein Orchesterkonzert, welches sowohl eine elektroakustische Verstärkung am Ort des Geschehens erforderte, als auch einen *multitrack*-Mitschnitt für die spätere Fernsehübertragung.

In weiterer Folge dieser Erläuterungen soll allerdings lediglich auf die Beschallung eingegangen werden.

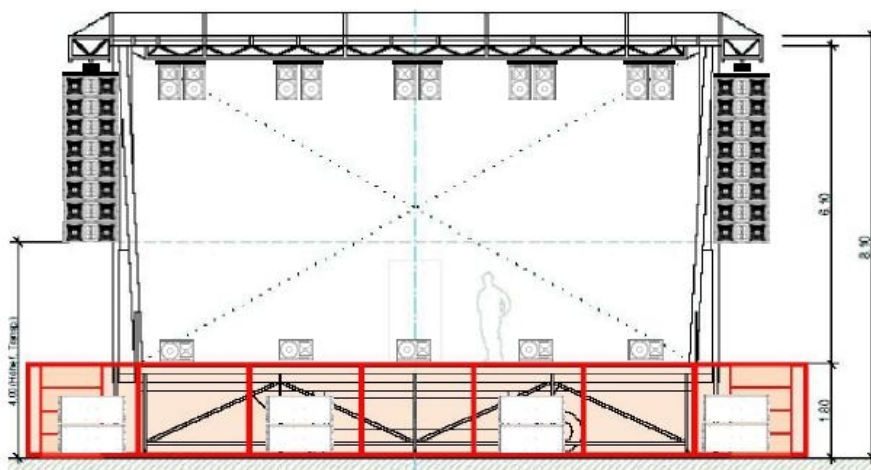


Abbildung 102

Die Abbildungen zeigen die Bühne dieser Veranstaltung.

Die folgende Tabelle gibt Aufschluss über Wahl und Platzierung der Lautsprecher:

PA	MIDFILL	FRONTFILL	SUBS
je 8 <i>line array</i> Elemente (ungekrümmt) des Modells <i>Vertec 4888</i>	2x K&F CA 1215/6	1x K&F CA 1215/6	2x Vertec 4880A
links und rechts neben der Bühne	an 5 Positionen über der Bühne	an 5 Positionen an der Bühnenkante (den midfill-Positionen entsprechend)	an 4 Positionen unter der Bühne

Tabelle 17

Zudem wurde mit Hilfe 12 weiterer Lautsprecher des Modells K&F CA 1215/6 an 12 Positionen um den Publikumsbereich herum eine *surround-Atmo*¹²³-Beschallung zum Zwecke der schlüssigen Einbindung der Beschallung in die Umgebung realisiert. Abgesehen von diversen akustischen *special effects* wurden eine Raumsimulation, sowie eine allgemeine Naturatmo von diesen *surround*-Lautsprechern wiedergegeben

Zur Mischung der Signalquellen auf der Bühne bediente man sich der spektralen Panoramisierung über Ohrkurven nach Vette.

Die Signalquellen wurden demnach auf fünf Busse, fünf gewählten Panoramapositionen entsprechend, gemischt. Als *input* für die 5 Lautsprecherpositionen von *front*- und *midfills* dienten die (unbehandelten) Signale dieser fünf Busse.

Das wie in Kapitel 3.2.2 beschriebene, spektral-panoramisierte Stereosignal diente als *input* für die *line arrays*.

Die Anspielung der *Subs* erfolgte über vier *Aux*-Wege. Somit konnte selbst für den Tieftonbereich eine Panoramisierung stattfinden.

Diese erstmalige Einbindung der spektralen Panoramisierung für die Anwendung bei einer Beschallung stellte sich als hervorragendes Mittel zur Erzeugung einer wohlklingenden, realistischen Abbildung über einen großen Zuschauerbereich heraus.

¹²³ Unter dem Begriff *Atmo* versteht man eine akustische Klangfläche, die wenig diskrete Klangereignisse aufweist. Somit kann sie wesentlich zur akustischen Einbettung in eine entsprechende optische Umgebung beitragen.

II Abstract

Grundsätzlich durch eine Beschallung zu erreichende Ziele werden zunächst in Kapitel 1 beschrieben. Grob gesprochen handelt es sich dabei zum einen um die Abdeckung des gesamten zu beschallenden Bereiches mit ausreichend Schalldruckpegel bei linearem Frequenzgang beziehungsweise um eine Erhöhung des Direktschallanteils im Sinne einer akustischen „Verständlichkeit“, sowie zum anderen um eine möglichst realistische Abbildung der elektroakustisch wiedergegebenen Schallquellen im gesamten Abhörbereich. Ein wohlklingendes, klares Klangergebnis soll dadurch begünstigt werden.

Probleme die sich in dem Bestreben ergeben, diese Anforderungen mittels konventioneller Stereo-Beschallung zu erfüllen, werden in weiterer Folge in Kapitel 2 aufgezeigt, indem entsprechende akustische Faktoren, sowie psychoakustische Begebenheiten nähere Erläuterung finden.

Die pegelmäßige Abdeckung des zu beschallenden Bereiches durch Kombination mehrerer Lautsprecher beziehungsweise durch *line arrays* und die jeweils damit einhergehenden Herausforderungen werden beschrieben.

Anhand der Betrachtungen zu bekannten Lokalisationstheorien soll deutlich werden, dass sich eine Umsetzung des Konzeptes *stereo* auf größere zu beschallende Bereiche zumindest unter Verwendung konventioneller Panoramisierung unter anderem aufgrund des Haas-Effekts als problematisch erweist.

Lösungsansätze sowohl in Bezug auf die Erreichung einer regelmäßigen Schallpegelabdeckung als auch in Bezug auf die Erzeugung einer möglichst realistischen Abbildung finden in Kapitel 3 Berücksichtigung. Besonderes Augenmerk wird dabei auf eine spektrale Panoramisierung mit speziellen Ohrkurven nach Ulrich Vette sowie auf eine Matrix zur Erzeugung von Signalen für mehr als zwei Lautsprecherpositionen aus einer konventionellen Stereomischung nach Michael Gerzon gelegt.

Der Praxisteil beschreibt die Anwendung dieser beiden Methoden im Zuge der Veranstaltung „Wiener Festwocheneröffnung 2008“. Erkenntnisse, die sich aus diesem Vergleich ergeben, finden ebenfalls im Praxisteil Erläuterung.

III Lebenslauf

Doris Jaendl, geboren am 13.6.1982 in Graz.

1998-1999	Auslandsaufenthalt in Maryland, USA
2000	Matura am Akademischen Gymnasium, Graz
2000 – 2002	Studium der Musikwissenschaft und Kunstgeschichte an der Karl-Franzens-Universität, Graz sowie Vorbereitungslehrgang für Gesang, Konzertfach an der Universität für Musik und darstellende Kunst, Graz
seit 2002	Tonmeisterstudium an der Universität für Musik und darstellende Kunst, Wien
2007-2008	Chair of the <i>Audio Engineering Society</i> Student Section, Vienna
seit 2004	Studium der Musikwissenschaft an der Universität Wien
seit 2005	Studium der Gesangspädagogik an der Universität für Musik und darstellende Kunst, Wien

Langjährige Chortätigkeit unter anderem in diversen Ensembles und Chören des Domchor Graz. Langjährige Violin-Ausbildung.

Seit 2003 als selbstständige Tontechnikerin in vielen verschiedenen Bereichen tätig.