

Bachelorarbeit
im Studiengang
Audiovisuelle Medien (AM7)

Leitfaden der Beschallungstechnik

vorgelegt von:

Stefan Kempf (28916)

an der Hochschule der Medien Stuttgart

am 14.02.2018

zur Erlangung des akademischen Grades eines Bachelor of Engineering

Erstprüfer: Professor Jens-Helge Hergesell

Zweitprüfer: Professor Oliver Curdt

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Stefan Kempf, ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Titel: „Leitfaden der Beschallungstechnik“ selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen wurden, sind in jedem Fall unter Angabe der Quelle kenntlich gemacht. Die Arbeit ist noch nicht veröffentlicht oder in anderer Form als Prüfungsleistung vorgelegt worden.

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§26 Abs. 2 Bachelor-SPO (6 Semester), § 24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester), § 23 Abs. 2 Master-SPO (3 Semester) bzw. § 19 Abs. 2 Master-SPO (4 Semester und berufsbegleitend) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Stuttgart, den 14.02.2018

(Stefan Kempf)

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit werden die einzelnen Komponenten von Beschallungssystemen und deren Einrichtung betrachtet.

Da Audionetzwerke im Bereich der Beschallungstechnik eine immer wichtigere Position einnehmen, wird auf die relevantesten Varianten dieser Übertragungsform eingegangen.

Anhand eines praktischen Beispiels wird die Planung und Umsetzung einer Beschallungsaufgabe erläutert. Das Vorgehen lässt sich auf andere Systeme übertragen und kann daher als Leitfaden zur Einrichtung von Beschallungssystemen gesehen werden.

Abstract

This thesis considers the individual components of public-address systems and their configuration.

Audio networks are getting more and more important, so most relevant variants of this form of transfer are discussed.

Based on a practical example, the planning and realization of a public-address system is explained. The procedure can be transferred to other systems, so it can be used as a guide to the installation of public-address systems.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Kurzfassung	III
Inhaltsverzeichnis	IV
1 Einleitung	1
2 Historie	2
3 Ziele einer Beschallung	5
4 Bestandteile eines Beschallungssystems	6
4.1 Lautsprechersystem	6
4.1.1 PA-System bei Kleinveranstaltungen	9
4.1.2 PA-System bei Großveranstaltungen	10
4.1.3 Monitoring	17
4.1.4 Leistungsverstärker	19
4.2 Mischpult	20
4.2.1 FoH-Mischpult	20
4.2.2 Monitormischpult	21
4.2.3 Stagebox/Splitter	21
4.3 Mikrofone	24
5 Signalübertragung	28
5.1 Analoge Übertragung	28
5.2 Digitale Übertragung	30
5.2.1 Punkt-zu-Punkt Übertragung	31
5.2.2 Audionetzwerke	34
5.2.3 Synchronisation	42
6 Aufbaukonzepte	44
6.1 Frontale Beschallung	44
6.1.1 Horizontale Frontalbeschallung	45
6.1.2 Vertikale Frontalbeschallung	46
6.1.3 Nearfield-Lautsprecher	46
6.1.4 Delay Lautsprecher	47
6.2 Dezentrale Beschallung	48

7	Produktion: Konzertbeschallung	49
7.1	Planung	49
7.1.1	Die Band	49
7.1.2	Der Raum	50
7.1.3	Die Technik	52
7.2	Durchführung	68
7.2.1	Aufbau	68
7.2.2	Einmessen des Beschallungssystems	69
7.2.3	Line Check	75
7.2.4	Sound Check	76
7.2.5	Konzert	77
8	Fazit	78
	Danksagung	VI
	Abkürzungsverzeichnis	VII
	Abbildungsverzeichnis	VIII
	Tabellenverzeichnis	IX
	Formelverzeichnis	X
	Formelzeichenverzeichnis	X
	Literaturverzeichnis	XI
	Inhalt des Datenträgers	XIV
	Anhang	XV

1 Einleitung

Beschallungssysteme sind heutzutage nicht mehr wegzudenken, sei es bei Kulturveranstaltungen wie beispielsweise bei Konzerten, Vorträgen oder auch bei politischen oder wirtschaftlichen Veranstaltungen.

Kommt eine große Anzahl von Menschen zusammen ist es notwendig, die verhältnismäßig kleinen Schallereignisse wie die Sprache oder von Instrumenten erzeugte Signale zu verstärken.

Dieser Leitfaden soll die Realisierung einer Beschallungsaufgabe beschreiben. Dies wird anhand eines praktischen Beispiels dargestellt. Hierbei wird detailliert die Planung im Vorfeld sowie die eigentliche Umsetzung vor Ort erklärt.

Um ein besseres Verständnis für die Thematik zu erhalten wird eingangs auf die Historie von Beschallungssystemen eingegangen. Anschließend werden die einzelnen Komponenten vorgestellt und deren Funktionsweise beschrieben. Hierbei werden grundsätzliche Kenntnisse in den Bereichen Akustik und Tontechnik vorausgesetzt. Neben der reinen Funktionsweise werden auch unterschiedliche Aufbaukonzepte von Lautsprechern vorgestellt.

Da in den letzten Jahren die Übertragung digitaler Signale im Bereich der Beschallungssysteme Einzug gehalten hat, wird auf diese Thematik verstärkt eingegangen. Auch bei dem praktischen Beispiel kommt ein solches digitales Datenübertragungsverfahren zwischen Mischpult und Stagebox zum Einsatz.

Zur besseren Lesbarkeit wird auf die Nennung beider Geschlechterformen verzichtet. Wird eine Personen-, Gruppen oder Berufsbezeichnung genannt, ist stets auch die weibliche Form miteinbezogen.

2 Historie

Konzerte und Theateraufführungen gab es schon vor vielen Jahrhunderten. Beschallungssysteme wurden aber erst im letzten Jahrhundert entwickelt. Wie also war es in der Zeit davor möglich, den Zuhörern Schallereignisse näherzubringen? Da es noch keinerlei technische Unterstützung gab, wählte man der Musik entsprechende Räume, um diese zu unterstützen:

Kirchenmusik wurde in Kirchen aufgeführt, die je nach Stil eine längere oder kürzere Nachhallzeit haben. Kammermusik wurde in kleineren Räumen mit meist stark gedämpfter Raumakustik und Feldmusik im Freien dargeboten. Konzertmusik mit Orchester wurde in den großen Fest- und Tanzsälen, den Redouten, von Schlössern und Residenzen sowie in Ratsälen aufgeführt. ¹

Erst im Verlauf des 18. Jahrhunderts wurden größere Räume speziell für Musikaufführungen in eigens erbaute Konzert- und Opernhäusern errichtet.

Der Große Musikvereinsaal in Wien von Theophil Hansen wurde 1870 für 1680 Zuhörer eröffnet. Er gilt als der beste Konzertsaal der Welt. Bei knapp 9m³ Volumen pro Sitzplatz liegt die Nachhallzeit etwas über 2s.²

Die Basis für die Entwicklung von Lautsprecheranlagen bildete die Elektronenröhre, welche von den Forschern Robert von Lieben und Lee de Forest 1906 entwickelt wurde. Mit diesem Bauteil war die Verstärkung elektrischer Signale erstmals möglich. In den 1920er Jahren wurden dann die ersten Lautsprecheranlagen zur Hörsaalbeschallung gebaut.³

Bei den Mikrofonen legte Georg Neumann 1928, mit der Erfindung der Neumann-Flasche, dem ersten Kondensatormikrofon der Welt, den Grundstein. Zuvor waren Kohlemikrofone üblich, welche jedoch qualitativ sehr viele Defizite aufwiesen.

Ab Ende der 1920er Jahre war der Tonfilm maßgebend für die Weiterentwicklung der Lautsprecheranlagen. Durch immer größere Kinosäle waren auch immer leistungsfähigere Lautsprecher notwendig.

¹ Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:52)

² Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:55)

³ Vgl. Pieper (2011:38)

Mit der wachsenden Popularität der E-Gitarre in den 1950er Jahren wurde der Grundstein für die heutige Pop- und Rockmusik gelegt. Da es damals jedoch noch keine konzerttauglichen Beschallungssysteme gab, wurden Konzerte mittels der Instrumentenverstärker beschallt und der Gesang wurde über die im Gebäude verbaute Anlage, wie beispielsweise die Stadionanlage in einem Fußballstadion übertragen.⁴

Durch die in den 1960er Jahren neu entwickelte Transistortechnik kamen damals auch die ersten transportablen Beschallungssysteme auf den Markt. Die Transistortechnik machte es möglich Leistungsverstärker zu bauen, welche hinsichtlich Größe und Preis klare Vorzüge gegenüber bisherigen Röhrenverstärkern hatten.⁵ Da auch Mischpulte immer kompakter und zuverlässiger wurden, ging man dazu über, nicht nur den Gesang, sondern die komplette Band mit Mikrofonen abzunehmen. Jedoch war es jahrelang sehr schwierig Großkonzerte zu beschallen. Ein Beispiel hierfür ist das Konzert der Beatles im New Yorker Shea Stadium 1965. Bei diesem Konzert wurde die komplette Band mit Mikrofonen abgenommen. Jedoch wurde das Signal über die Stadionanlage ausgespielt, welche dafür nicht ausgelegt war. Das Ergebnis war dementsprechend.

In den 1970er Jahren wurde viel im Bereich der Beschallung experimentiert. So wurden Konzerte beispielsweise mit einer sehr großen Anzahl an Lautsprechern, welche auf Gerüsten gestapelt wurden, bestritten. Eine der bekanntesten Lautsprecheranordnungen ist die sogenannte Wall of Sound der Band Grateful Death (Abbildung 1).

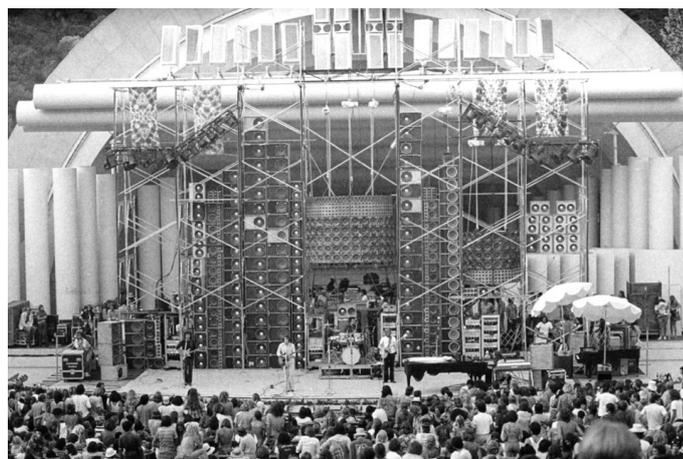


Abbildung 1: Die Wall of Sound der Band Grateful Death

⁴ Vgl. Pieper (2011:39)

⁵ Vgl. Pieper (2011:39)

Damals war es üblich, für jeden Frequenzbereich einen eigenen Lautsprecher aufzustellen. Mit der Entwicklung von Fullrange-Lautsprechern war es möglich, ein größeres Frequenzspektrum in einem Lautsprechergehäuse abzudecken. Durch diesen Aspekt wurden Lautsprecheranlagen kompakter und waren leichter zu transportieren.

Durch den Fortschritt in der Digitaltechnik seit den 1980er Jahren wurden auch die Beschallungssysteme stets weiterentwickelt. So sind digitale Mischpulte und Effektgeräte heutzutage nicht mehr wegzudenken. Die heutige Entwicklung geht hin zu immer kleineren Anlagen, welche dennoch sehr leistungsstark sind.

3 Ziele einer Beschallung

In erster Linie sollen mit Hilfe eines Beschallungssystems Audiosignale ausgespielt beziehungsweise verhältnismäßig kleine Schallereignisse vor Ort verstärkt und damit einer großen Anzahl von Menschen nahegebracht werden.

Beschallungssysteme gibt es sowohl als festverbaute sowie auch als transportable Systeme. Im weitesten Sinne bestehen diese aus Mikrofonen, Mischpulten, Leistungsverstärkern und Lautsprechern. Die einzelnen Komponenten können dabei je nach Bedarf passend zusammengestellt werden.

Ziel bei der Planung eines Beschallungssystems ist es, dieses so auszulegen, dass möglichst der gesamte Publikumsbereich mit dem gleichen Schalldruckpegel versorgt wird. Die Schwierigkeit dabei liegt darin, möglichst nur das Publikum und nicht die Wände zu beschallen, da dies zu Reflexionen führt, welche den Klang negativ beeinflussen.

Neben der einfachen Verstärkung von Signalen kann mit Hilfe der Beschallung die Balance zwischen den einzelnen Schallereignissen geregelt werden, um ein stimmiges Gesamtbild zu kreieren.

Die Qualität einer Beschallung ist dann als gut zu erachten, wenn sie das Schallereignis unterstützt, dabei aber nicht wahrgenommen wird.

4 Bestandteile eines Beschallungssystems

Ein Beschallungssystem setzt sich aus vielen einzelnen Komponenten zusammen, die je nach Größe der Beschallungsaufgabe konzipiert und zusammengestellt werden können. In diesem Kapitel werden diese einzelnen Komponenten vorgestellt.

4.1 Lautsprechersystem

Das Lautsprechersystem, bestehend aus Lautsprechern und Leistungsverstärkern, ist das Herzstück eines Beschallungssystems. Dieses sollte in der Lage sein, einen möglichst großen Teil des, für das Gehör relevanten, Frequenzbereichs zwischen 20 und 20000 Hz abzubilden.

Im Bereich der Beschallung kommen vorwiegend dynamische Lautsprecher in Form von Konus- und Hornlautsprechern zum Einsatz. „Mit Ihnen lassen sich im Gegensatz zu anderen Systemen verhältnismäßig einfach und wirtschaftlich große Schallpegel breitbandig bei relativ geringen Verzerrungen erzeugen.“⁶

Konuslautsprecher

Das Funktionsweise eines Konuslautsprechers (Abbildung 2) basiert auf einer Spule, welche in den Luftspalt eines Topfmagneten getaucht wird. Bei Stromfluss durch ihre Windungen führt die Spule, aufgrund der Wirkung des eigenen induzierten Magnetfeldes mit dem Magnetfeld des Topfmagneten, definierte Bewegungen aus. Der Spulenkern ist fest mit einer konusförmigen Membran verbunden, welche wiederum schwingend mittels Sicke und Zentriermembran gelagert ist. Durch diese Verbindung werden die Bewegungen der Spule auf die Membran übertragen.

⁶ Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:203)

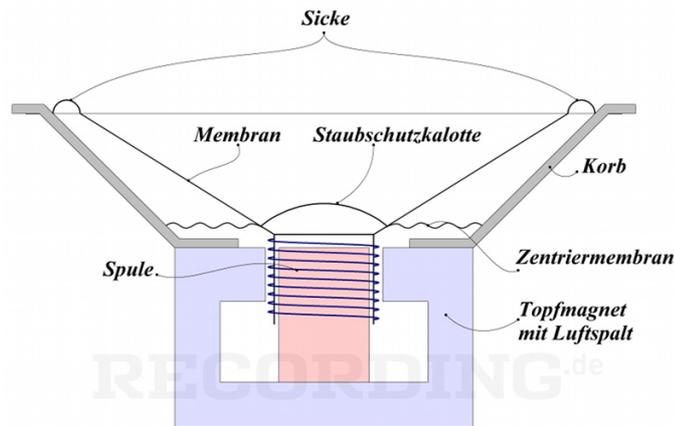


Abbildung 2: Aufbau eines Konuslautsprechers

Da die Membran bei höheren Frequenzen nicht mehr in ihrer Gesamtheit in Schwingung versetzt wird, sondern vielmehr am Membranrand konzentrische Biegeschwingungen entstehen, bildet sich hieraus eine komplizierte Schwingungsverteilung. Dadurch entstehen partielle Auslöschungen und Überlagerungen.⁷

Aus diesem Grund ist diese Art des dynamischen Lautsprechers vorrangig als Tief- und Mitteltontreiber zu verwenden.

Hornlautsprecher

Der Hornlautsprecher setzt sich zusammen aus einem Kalottenlautsprecher und einem davor gesetztem Horn. Die Funktionsweise eines Kalottenlautsprechers ist gleich der des Konuslautsprechers, jedoch verzichtet der Kalottenlautsprecher auf den Korb und die konische Membran. Der Schall wird hierbei lediglich durch die Kalotte erzeugt. Das davor gesetzte Horn ist ein genau definierter Schalltrichter (Abbildung 3). „Das akustische Prinzip ist das eines Impedanzwandlers, der die hohe akustische Impedanz des Lautsprechersystems an die niedrige Impedanz eines Raums anpasst und damit neben anderen Effekten durch Leistungsanpassung den Wirkungsgrad etwa verzehnfacht.“⁸ Demnach liegt der Kennschalldruckpegel bei Hornlautsprechern um 10dB höher als bei einem Kalottenlautsprecher ohne Horn.

⁷ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:205)

⁸ Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:206)

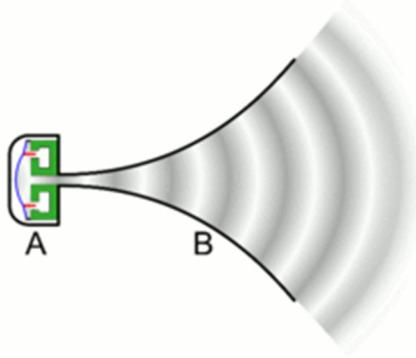


Abbildung 3: Hornlautsprecher bestehend aus Lautsprecher(A) und Schalltrichter (B)

Die effektivste Form des Horns ist die Exponentialform. Hierbei nimmt die Querschnittsfläche pro Längeneinheit um einen konstanten Prozentsatz zu. Dies entspricht einer Exponentialfunktion. Mit zunehmender Trichteröffnung sinkt hierbei die untere Grenzfrequenz.⁹ Sollen also mit einem Hornlautsprecher tiefe Frequenzen wiedergegeben werden, muss der Lautsprecher dementsprechend groß sein. Daher kommen Hornlautsprecher meist als Hochtontreiber zum Einsatz.

Im Bereich von Beschallungssystemen sind Hörner jedoch auch bei Subwoofern zu finden. Um die Bauform dennoch verhältnismäßig gering zu halten, werden die Hörner gefaltet (Abbildung 4).

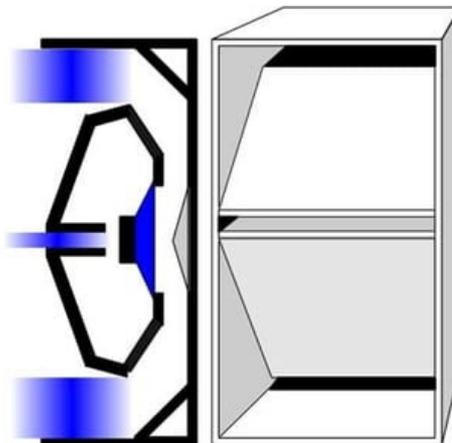


Abbildung 4: Querschnitt (links) und Außendarstellung (rechts) eines Subwoofers mit gefaltetem Horn.

⁹ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:206)

Fullrange-Lautsprecher

Um mit einem Lautsprecher den gesamten Frequenzbereich sauber abbilden zu können, kommen bei Beschallungssystemen in der Regel Kombinationen aus Konus- und Hornlautsprecher zum Einsatz, welche gemeinsam in einem Gehäuse verbaut werden. Mittels einer passiven Frequenzweiche werden die einzelnen Lautsprechertreiber voneinander getrennt. Bei dieser Art von Lautsprechern spricht man von sogenannten Fullrange-Lautsprechern.

In Beschallungssystemen werden mehrere Lautsprecher zu einem System vereint. Richtig aufgebaut und konfiguriert sorgt ein solches System dafür, dass der gesamte Publikumsbereich mit gleichem Schalldruckpegel beschallt wird.

Die Größe des Lautsprechersystems ist sowohl abhängig von der Raumgröße als auch von dem dargebotenen Programm. Handelt es sich beispielsweise um eine klassische Sprachbeschallung kann das Lautsprechersystem wesentlich kleiner ausfallen als bei einem Rockkonzert. Umgangssprachlich wird beim Lautsprechersystem für den Zuschauerbereich auch von dem PA-System gesprochen. Neben dem PA-System gibt es in der Regel noch ein weiteres Lautsprechersystem für das Monitoring der Akteure auf der Bühne.

4.1.1 PA-System bei Kleinveranstaltungen

4.1.1.1 Fullrange-Lautsprecher

Die einfachste und kleinste Form eines PA-Systems sind zwei Fullrange-Lautsprecher, welche auf einem Stativ positioniert werden und ein dazugehöriger Leistungsverstärker mit analogem Mischpult oder Powermischer. Der Vorteil hierbei liegt in dem schnellen Auf- und Abbau, sowie in der kostengünstigen Realisierung. Ein Nachteil des Systems ist jedoch die recht schwache Basswiedergabe. Kommt ein solches System bei der Konzertbeschallung einer Band zum Einsatz, wird meist nur der Gesang, Keyboard und weitere akustische Instrumente über das PA-System verstärkt. E-Gitarren und E-Bass werden wiederum über die Instrumentenverstärker gespielt. „Üblicherweise gibt das Schlagzeug einen Mindestpegel vor, und die anderen Instrumente inklusive der Gesangsanlage orientieren sich im Interesse eines ausgewogenen Gesamtsounds daran.“¹⁰

Fullrange-Lautsprecher gibt es in unterschiedlichen Ausführungen. Die meisten setzen sich aus einem 12 Zoll Tieftontreiber und einem 1 Zoll Hochtontreiber zusammen. Dies

¹⁰ Pieper (2011:44)

ist im Hinblick auf Transportvolumen und Wiedergabequalität ein sehr guter Kompromiss.¹¹ Jedoch leidet hierbei die Basswiedergabe etwas. Eine bessere Variante in Anbetracht der Basswiedergabe stellt die Zusammenstellung aus einem 15 Zoll Tieftontreiber und 1 Zoll Hochtontreiber dar. Bei dieser Konstellation liegt die Trennfrequenz recht hoch, weshalb der Tieftontreiber verhältnismäßig hohe Frequenzen abbilden muss. Dies führt dazu, dass gewisse Partialschwingungen entstehen können.¹² Daher stellt eine Variante bestehend aus 15 Zoll Tieftontreiber und 2 Zoll Hochtontreiber in Bezug auf die Abbildung eines möglichst großen Frequenzbereichs die beste Option dar. Hintergrund ist die Tatsache, dass dieser Hochtontreiber eine wesentlich tiefere Grenzfrequenz ausweist.

4.1.1.2 Fullrange-Lautsprecher mit Subwoofer

Um die tiefen Frequenzen noch besser abbilden zu können, kann in das oben beschriebene PA-System ein Subwoofer integriert werden. Hierbei handelt es sich in der Regel um einen 15 Zoll oder 18 Zoll Treiber, welcher in den Signalweg der Fullrange-Lautsprecher integriert wird. Mittels einer Frequenzweiche im Inneren des Subwoofers werden die Frequenzen bei ca. 100Hz getrennt und alles was darüber liegt an die Fullrange-Lautsprecher ausgegeben.¹³

4.1.1.3 Aktives PA-System

Alternativ zu sogenannten passiven Lautsprechern, gibt es auch aktive Systeme. In diesem Fall sind die Leistungsverstärker bereits in die Lautsprecher integriert. Sie sind im Vergleich zu passiven Lautsprechern etwas schwerer, bieten aber den Vorteil, dass kein zusätzlicher Leistungsverstärker aufgebaut werden muss. Besonders praktisch sind solche Systeme, wenn nur sehr wenig Platz für das PA-System zur Verfügung steht.

4.1.2 PA-System bei Großveranstaltungen

Um große Hallen beschallen zu können, werden PA-Systeme benötigt, welche mehr Leistung ausweisen, als die bisher beschriebenen Systeme. Des Weiteren werden bei diesen Systemen grundsätzlich alle Bühnensignale über das PA-System verstärkt. Hierbei muss sichergestellt werden, dass das Lautsprechersystem den gesamten Frequenzbereich gleichmäßig abdecken kann. Da einzelne Lautsprecher die benötigte

¹¹ Vgl. Pieper (2011:45)

¹² Vgl. Pieper (2011:47)

¹³ Vgl. Pieper (2011:48)

Leistung nicht aufbringen können, werden mehrere Lautsprecher kombiniert. Jedoch ist dies, hinsichtlich der Signalübertragung, nicht ohne weiteres möglich.

4.1.2.1 Array

Werden mehrere Lautsprecher kombiniert, um den Schalldruckpegel oder den Abstrahlwinkel zu erhöhen, spricht man von einem Array. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Lautsprecher zu einem Array zu kombinieren. Eine davon besteht darin, mehrere Lautsprecher parallel nebeneinander aufzustellen. Dies hat allerdings negative Auswirkungen, da es zu Überlagerungen der einzelnen, abgestrahlten Schallwellen kommt. Die daraus resultierenden Interferenzen und frequenzabhängigen Kammfiltereffekte wirken sich störend auf das Klangbild und somit auf die Qualität des Lautsprechersystems aus. Um diese negativen Auswirkungen zu vermeiden, sollten die Lautsprecher in dem Winkel angeordnet werden, an dem der Pegel um 6 dB zur Hauptachse abgeflacht ist. Hierbei wird bei möglichst wenigen, störenden Interferenzen über die gesamte Abstrahlfläche ein gleichmäßiger Pegel erzielt. Dieser Einstellwinkel wird Splay Angle genannt. Einige Hersteller stellen ihre Gehäuse daher bereits mit passenden, angewinkelten Seiten her. Somit ist ein korrekter Splay Angle bei der Verwendung mehrerer Lautsprecher als Array sozusagen voreingestellt.

Eine weitere Methode ist das sogenannte Stacking. Hierbei werden die Lautsprecher übereinander platziert. Jedoch kann dabei der gleiche Effekt wie bei nebeneinander platzierten Lautsprechern auftreten. Auch hier können sich die Schallwellen unvorteilhaft überlagern. Um diese Überlagerungen zu verhindern, werden die Lautsprecher in einem Array so angeordnet, dass es zu einer akustischen Kopplung kommt. Diese Kopplung ist abhängig von der Frequenz und dem Abstand der beiden Schallquellen zueinander. Solange die halbe Wellenlänge der Frequenz im Verhältnis zum Abstand größer ist, tritt die akustische Kopplung auf:

$$d < \frac{\lambda}{2} \quad (1)$$

Die beiden Schallquellen sind in diesem Falle als eine Schallquelle zu betrachten. Die Kopplung sorgt bei tiefen Frequenzen für eine Anhebung des Schalldruckpegels um 6dB, bei hohen Frequenzen um 3dB.¹⁴

Befindet sich der Hochtontreiber des Lautsprechers im oberen Bereich des Gehäuses, kann es beim Stapeln zweier Lautsprecher von Vorteil sein, den oberen Lautsprecher kopfüber aufzustellen. Somit sind die beiden Hochtontreiber sehr nahe beieinander und es kommt zu der erwähnten akustischen Kopplung.

¹⁴ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:594)

4.1.2.2 Line Array

Neben dem Ansatz des Arrays gibt es eine weitere Variante um mehrere Einzelschallquellen zu kombinieren, das sogenannte Line Array. Dieses basiert ebenfalls auf der gleichphasigen, akustischen Kopplung einzelner, nahe zusammen angeordneter Lautsprecher. Durch die Kopplung vieler Lautsprecher wird erreicht, dass das Line Array als eine große Linienschallquelle strahlt. Allerdings funktioniert dieses Abstrahlverhalten, abhängig der gewählten Wandler und der Konstruktion der einzelnen Module, nur innerhalb gewisser Grenzen.

Die untere Grenzfrequenz ist abhängig vom Abstand der Mitteltontreiber. Je größer der Abstand der Treiber, desto tiefer die untere Grenzfrequenz:

$$f_{gu} = \frac{c}{2 * d} \quad (2)$$

In der Praxis kommen 8 Zoll- oder auch 12 Zoll-Treiber zum Einsatz. Bei 8 Zoll beträgt die theoretische untere Grenzfrequenz 843 Hz.

$$f_{gu} = \frac{343 \text{ m/s}}{2 * 0,2032 \text{ m}} = 843 \text{ Hz}$$

Auch die obere Grenzfrequenz der Kopplung ist abhängig vom Abstand der Treiber. Ausgehend davon, dass die akustische Kopplung mit dem Hochtontreiber bis zu Frequenzen von 10000 Hz erreicht werden soll, muss Formel 2 umgestellt werden:

$$d_{max} = \frac{c}{2 * f_{go}} \quad (3)$$

Das Ergebnis ist somit der maximale Abstand der Hochtontreiber zueinander:

$$d_{max} = \frac{343 \text{ m/s}}{2 * 10000 \text{ Hz}} = 0,0172 \text{ m} = 1,72 \text{ cm}$$

Bei 10000 Hz dürfte der Abstand der Treiber nur 1,72 cm betragen. Bei einer Baugröße eines Hochtontreibers von 1 Zoll, wäre dies jedoch nicht umsetzbar. Abhilfe schaffen hierbei spezielle Hochtonhörner, welche mittels eines Waveformers den Schall sphärisch abstrahlen. In Abbildung 5 ist ein Line Array Modul mit Konuslautsprecher und Hochtontreiber mit vorgebautem Waveformer zu sehen.



Abbildung 5: Line Array Modul bestehend aus Konuslautsprecher und Hochtontreiber mit vorgebautem Waveformer

Linienschallquellen strahlen den Schall von Frequenzen, deren Wellenlänge kürzer als die Baulänge des Line Arrays ist, in Form einer Zylinderwelle ab. Gegenüber den von Punktschallquellen abgestrahlten Kugelwellen haben Zylinderwellen den Vorteil, dass der Schalldruckpegel bei einer Entfernungsverdopplung nur um 3dB abnimmt, anstelle der üblichen 6dB.¹⁵ Dies kommt daher, dass sich die Schalleistung der Zylinderwelle im Gegensatz zur Kugelwelle bei Entfernungsverdopplung auf eine doppelt so große statt auf eine viermal so große Fläche verteilt.

Das beschriebene Verhalten einer Linienschallquelle gilt indes nur für einen gewissen Bereich. Abhängig von der Frequenz des Signals und der Länge des Line Arrays strahlt auch dieses ab einer bestimmten Entfernung erneut eine Kugelwelle aus. Mit folgender Formel kann die Ausdehnung der Zylinderwelle berechnet werden:

$$r_z = \frac{l^2 * f}{2 * c} \quad (4)$$

Um Line Arrays noch besser an die zu beschallende Fläche anzupassen, besteht die Möglichkeit, die einzelnen Module in vertikaler Richtung zueinander zu verkippen. Folglich kann in vertikaler Richtung eine größere Fläche abgedeckt werden. Als Konsequenz des Curvings verringert sich die Bündelung der Schallenergie. In den meisten Fällen werden diesbezüglich lediglich die unteren Module mit einem Winkel versehen, um mit den oberen Modulen die Schallenergie über eine möglichst weite Distanz gebündelt abzustrahlen.

¹⁵ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:595)

4.1.2.3 Subwoofer

Subwoofer kommen zum Einsatz um die Wiedergabe der tiefen Frequenzen sicherzustellen und sind in der Regel Kugelstrahler. Das bedeutet, sie strahlen in alle Richtungen etwa gleich aus. Wie Abbildung 6 zeigt beträgt der Schalldruckpegel auf der Rückseite nur 3dB weniger im Vergleich zu der Vorderseite.

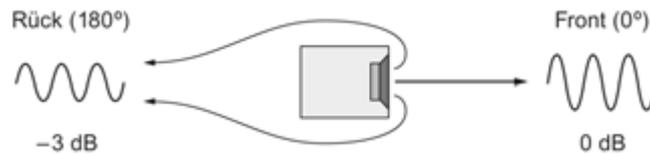


Abbildung 6: Konventioneller Subwoofer, Verhältnis frontaler zu rückwärtigem Pegel

Die klassische Anordnung der Subwoofer ist deren Positionierung links und rechts vor der Bühne. Diese Aufstellung hat allerdings keinerlei richtende Wirkung. Das hat zur Folge, dass sowohl auf der Bühne, als auch links und rechts neben dem Publikumsbereich ein ebenso großer Teil der Schallenergie ankommt, wo er jedoch nicht benötigt wird.

Aufgrund des großen Abstands der Lautsprecher und der tiefen abgestrahlten Frequenzen kommt es ebenfalls, wie bereits bei den Lautsprecher Arrays erläutert, zu Interferenzen. Wie in Abbildung 7 dargestellt, führt dies zu Auslöschungen, weshalb keine gleichmäßige Schalldruckpegelverteilung möglich ist.

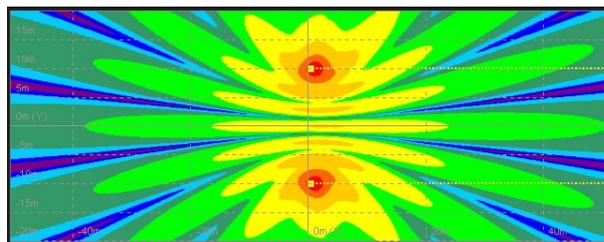


Abbildung 7: Schalldruckpegelverteilung bei der Stereoanordnung der Subwoofer

Ausgehend davon, dass Schallquellen nur dann eine Richtwirkung erzielen, wenn sie gegenüber der Wellenlänge verhältnismäßig groß sind, müssten Subwoofer unverhältnismäßig groß sein. Um eine richtende Wirkung zu erzielen greift man daher auch hier auf Arrays zurück.

Eine praktikable Lösung besteht bei großen Bühnen darin, die Subwoofer in kleinen Einheiten von 2-4 Systemen mit Abständen von 2m zueinander quer vor der gesamten Bühne zu platzieren. Diese Anordnung wird auch Zahnlückenordnung genannt. Damit entsteht für Frequenzen bis ca.

150 Hz eine einzige lang gestreckte Linienquelle, die eine recht scharf begrenzte Richtkeule entsprechend ihrer Breite abstrahlt.¹⁶

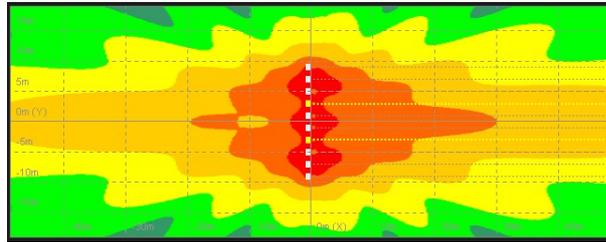


Abbildung 8: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung von Subwoofern

In Abbildung 8 ist zu erkennen, dass diese Variante vorwiegend dabei hilft, den Schall in seitlicher Richtung zu bündeln. Die rückwirkende Schallenergie in Richtung Bühne besteht weiterhin. Um auch hier eine Bündelung bzw. Dämpfung des Schalldruckpegels zu erhalten, können die in Zahnlückenordnung aufgestellten Subwoofer in einem Kreisbogen vor der Bühne angeordnet werden. Dies wird entweder durch die Anordnung der Subwoofer, wodurch jede Menge Platz vor der Bühne verloren geht, oder mittels nach außen hin, zunehmendem Delay, umgesetzt. Wie Abbildung 9 zeigt, wird der Abstrahlwinkel in Richtung Publikum erweitert. Im Bereich der Bühne führt dies hingegen in bestimmten Bereichen zu einer Pegelsenkung.

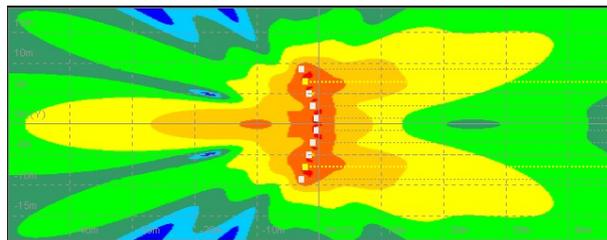


Abbildung 9: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung der Subwoofer auf einem Kreisbogen

Um den Pegel noch weiter zu senken, kommt eine Methode zur Anwendung, bei der Teilbereiche mittels gezielter Interferenzen ausgelöscht werden.

Subwoofer arbeiten in einem Bereich von ungefähr 30 – 150Hz. Werden zwei Subwoofer Rücken an Rücken mit einem Abstand von $a = 1/4 f_{Mitte}$ positioniert, gegenseitig verpolt und mit einem frequenzabhängigen Delay versehen, welches zu einer konstanten Phasenverschiebung über die Frequenz führt, werden die Schallanteile auf der Rückseite weitestgehend eliminiert. In der gewünschten

¹⁶ Weinzierl (2008:453)

Abstrahlrichtung addiert sich die Schallenergie (Abbildung 10).¹⁷ Der so gerichtete Subwoofer wird als Cardioid-Subwoofer bezeichnet.

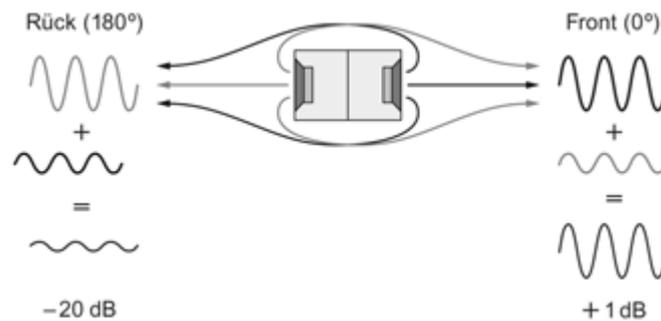


Abbildung 10: Cardioid-Subwoofer, Funktion des rückwärtigen Systems

Der Cardioid-Subwoofer, positioniert in einer Zahnfüllung, erweist sich somit als gute Möglichkeit eine gezielte Richtwirkung im Bereich tiefer Frequenzen zu erhalten (Abbildung 11).

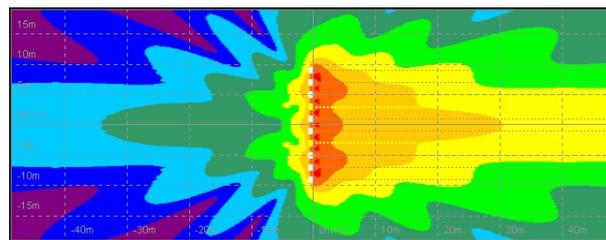


Abbildung 11: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnfüllung des Cardioid-Subwoofers

Eine Richtwirkung kann allerdings auch ohne Cardioid-Subwoofer erreicht werden. Bei dem sogenannten Endfire-Array werden mindestens zwei Subwoofer im Abstand von $a = \frac{1}{4} f_{\text{Mitte}}$ hintereinander aufgebaut.¹⁸ Der Vordere wird dann um den Wert einer Viertel Wellenlänge verzögert. Wie Abbildung 12 zeigt, addiert sich der Pegel in Abstrahlrichtung, während in der rückseitigen Richtung eine Auslöschung erfolgt. Diese Anordnung beinhaltet jedoch das Problem, viel Platz zu benötigen und zudem einen erhöhten Aufwand bezüglich Aufbau und Einrichtung in Anspruch zu nehmen.

¹⁷ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:592)

¹⁸ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a:593)

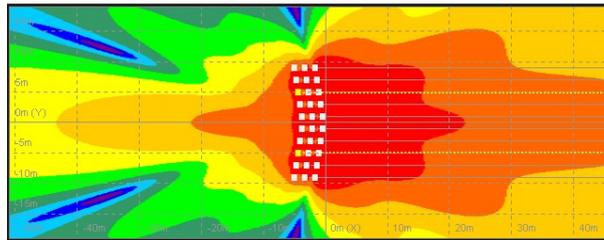


Abbildung 12: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung der Subwoofer auf einem Kreisbogen als Endfire-Array mit drei Reihen

4.1.2.4 Planungssoftware für Lautsprechersysteme

Die große Anzahl an Lautsprechern, welche bei Großveranstaltungen zum Einsatz kommen und deren optimale Positionierung im Raum, stellt eine sehr komplexe Aufgabe dar. Um Lautsprechersysteme optimal planen zu können, stellen Lautsprecherhersteller Softwarelösungen zur Verfügung, mit deren Hilfe die Lautsprecher virtuell im Raum platziert und die Schalldruckpegelverteilung dargestellt werden können. Eine dieser Lösungen stellt die Software ArrayCalc der Firma d&b dar. Auf die Anwendung dieser Software wird im praktischen Beispiel näher eingegangen.

4.1.3 Monitoring

Wie bereits angesprochen, kommt bei Veranstaltungen neben dem PA-System auch ein System für die Musiker und Akteure zum Einsatz. In der Regel erhält jeder Musiker seinen eigenen Monitorlautsprecher, sowie eine Monitormischung.

Auf die Positionierung dieser Lautsprecher ist besonders zu achten. Da auf der Bühne Mikrofone und Lautsprecher sehr nahe beieinanderstehen, kann es bei ungenauer Anordnung zu Rückkopplungen kommen. Dies ist beispielsweise dann der Fall, wenn der Lautsprecher im empfindlichen Bereich der Richtcharakteristik eines Mikrofons steht. Daher sollte beim Aufstellen von Monitoren stets auf die Richtcharakteristik des verwendeten Mikrofons geachtet werden. Hinsichtlich des Monitorings auf der Bühne gibt es verschiedene Lautsprecherbau- beziehungsweise Einsatzformen.

4.1.3.1 Monitor Wedge

Der wohl bekannteste und weit verbreitetste Monitorlautsprecher ist der Monitor Wedge. Hierbei handelt es sich um einen Lautsprecher, welcher durch seine Keilform vor dem Akteur auf dem Boden platziert werden kann. Er verfügt, wie auch gängige Fullrange-Lautsprecher, üblicherweise über einen 12 oder 15 Zoll Tieftontreiber sowie einen 1 oder 2 Zoll Hochtontreiber. Des Weiteren haben diese Lautsprecher in der

Regel einen relativ engen Abstrahlwinkel, um vorwiegend den vorgesehenen Platz und nicht die gesamte Bühne zu beschallen.

4.1.3.2 Monitor Sidefill

Bei sehr großen Bühnen werden neben den Monitor Wedges zusätzliche Monitor Sidefills links und rechts an der Bühne aufgebaut, welche die komplette Bühne beschallen. Über diese wird auf die Bühne eine gewisse Grundmischung, ähnlich der Publikumsmischung, übertragen. Über die Monitor Wedges werden dann jedem Musiker zusätzlich noch seine favorisierten Signale zugemischt.

Bei dieser Form der Monitorbeschallung ist zu beachten, dass die Sidefills, durch ihren großen Pegel, welcher auch im Publikumsbereich wahrzunehmen ist, bei der Planung des PA-Systems Berücksichtigung finden müssen.

4.1.3.3 In-Ear Monitoring

Eine weitere Möglichkeit, das Monitoring für Musiker zu realisieren, ist das In-Ear Monitoring. Hierbei handelt es sich um Ohrstöpsel, welche individuell angepasst und gefertigt werden. Diese sind einerseits ein wirksamer Gehörschutz, dämpfen hochwertige Systeme den Außenpegel doch um bis zu 25dB,¹⁹ andererseits verfügen diese über Kopfhörerwandler, welche dem Musiker sein Monitor signal direkt ins Ohr liefern.

Üblicherweise handelt es sich hierbei um Drahtlossysteme, vergleichbar mit Funkmikrofonensystemen, nur in entgegengesetzter Richtung.

Ein Vorteil liegt darin, dass die Lautstärke auf der Bühne drastisch reduziert wird. Der Musiker wird durch dieses System indessen akustisch isoliert, was zur Folge hat, dass dieser nur noch sehr wenig von der Reaktion des Publikums mitbekommt. Mit Hilfe von Mikrofonen, welche an der Bühnenkante angebracht werden, um die Reaktionen des Publikums einzufangen, kann die Isolierung aufgehoben werden.

Für den Toningenieur, welcher die Monitormischung erstellt, stellt das In-Ear Monitoring eine hohe Verantwortung in Bezug auf die Gesundheit des jeweiligen Künstlers dar. Dieser kann durch einen zu hohen Schalldruckpegel an Gehörschäden bis hin zum Hörverlust erkranken. Daher ist es beim Einsatz von In-Ear Monitoring unumgänglich im entsprechenden Signalweg einen Limiter zu integrieren.

¹⁹ Vgl. Smyrek (2016:398)

4.1.4 Leistungsverstärker

Die Signale, welche vom Mischpult ausgegeben werden, müssen für eine ausreichende Leistungsversorgung der Lautsprecher verstärkt, sowie ihre Impedanz an die niedrige Impedanz des Lautsprechers angepasst werden. Für diese Aufgaben kommen Leistungsverstärker, meist vereinfacht auch Endstufe genannt, zum Einsatz.

Die Auswahl eines Leistungsverstärkers, passend zum Lautsprechersystem, ist wichtig. Verstärker welche zu groß oder aber auch zu klein dimensioniert werden, können die Lautsprecher zerstören. Interessant ist die Tatsache, dass eine höhere Anzahl an zu klein dimensionierten Verstärkern zerstört wird.²⁰ Dies liegt an der falschen Leistungsanpassung. Als Faustregel gilt, dass der Verstärker über etwa 30% mehr Leistung verfügen sollte, als der angeschlossene Lautsprecher benötigt. Als Leistungsangabe sollte der RMS-Wert zur Hand genommen werden, da dieser die zulässige Leistung über die Gesamtdauer angibt.

Zur Ermittlung der korrekten Leistungsangabe des Leistungsverstärkers ist die Impedanz des angeschlossenen Lautsprechers entscheidend. Dabei gilt, je niedriger die Impedanz, desto höher die Leistung.

Abhängig von der Leistung des Verstärkers verfügt dieser über eine begrenzte Ausgangsspannung. Wird diese überschritten, kappt der Verstärker das Signal. Wie in Abbildung 13 zu erkennen ist, kommt es zum sogenannten Clipping.

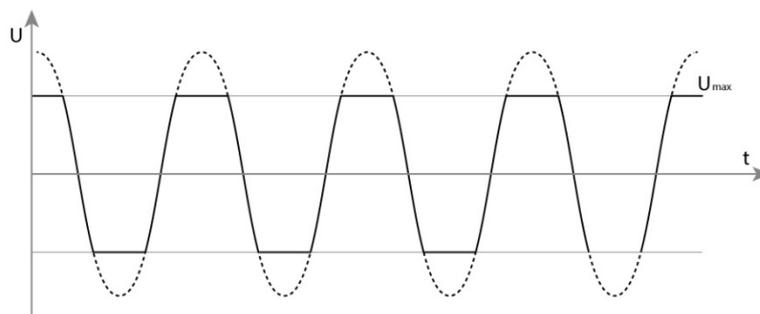


Abbildung 13: Clipping bei Erreichen der maximalen Ausgangsspannung

Das dabei entstehende Rechtecksignal, verfügt neben dem eigentlichen Ausgangssignal über hochfrequente Oberschwingungen. Im Vergleich zu dem ursprünglichen Signal erscheint das aus den Lautsprechern klingende Signal verzerrt und ist besonders für die Hochtontreiber gefährlich, da sie durch die thermische

²⁰ Vgl. Thomann (2018)

Überlastung verbrennen können. Wird der Leistungsverstärker hingegen korrekt dimensioniert, kann Clipping vermieden werden.

Optimal ist die Verwendung sogenannter Systemendstufen. Diese verfügen über einen eingebauten Controller mit Presets, passend zu den vom Hersteller angebotenen Lautsprechern. Somit ist eine optimale Abstimmung zwischen Leistungsverstärker und Lautsprecher gegeben.

4.2 Mischpult

Das Mischpult ist die Schaltzentrale einer Beschallungsanlage. Hier liegen alle Einzelsignale an, werden bearbeitet und als Summen an die unterschiedlichen Ziele wie Lautsprecher oder Aufnahmegeräte verteilt. Je nach Art der Veranstaltung kommen ein oder zwei Mischpulte zum Einsatz. Eines für das PA-System, das sogenannte FoH-Pult und ein Monitormischpult, worüber die Monitormischungen erstellt werden. Bei kleineren Veranstaltungen übernimmt das FoH-Pult beide Aufgaben.

4.2.1 FoH-Mischpult

Lange Zeit wurde am FoH auf analoge Mischpulte gesetzt. Dies hatte den Grund, dass digitale Pulte über hohe Latenzen verfügten, was das live mischen unmöglich machte. Des Weiteren waren analoge Mischpulte übersichtlicher und die einzelnen Parameter waren schneller zugänglich im Vergleich zu digitalen Mischpulten. Mittlerweile sind digitale Mischpulte so weit entwickelt, dass sie den analogen in diesem Bereich in nichts mehr nachstehen. Vielmehr bieten sie gegenüber analogen Mischpulten viele Vorteile. Mussten bei analogen Mischpulten immer zusätzlich Geräte wie Effekte, Kompressoren oder Equalizer mit aufgebaut und angeschlossen werden, sind diese in heutigen, digitalen Mischpulten bereits integriert. Dies gilt in den meisten Fällen sogar für jeden gesonderten Kanal. Die Folge ist ein größerer Bearbeitungsumfang bei weniger benötigtem Platzbedarf.

Mischpulte, welche für den FoH-Bereich konzipiert sind, verfügen im Gegensatz zu Produktionsmischpulten, wie sie beispielsweise im Studio zum Einsatz kommen, über eine Mischmatrix. Hierüber ist die Verteilung der Signale auf eine große Anzahl verschiedenster Summen möglich. Des Weiteren sind die Kanalzüge übersichtlich gestaltet um möglichst schnell Zugriff auf alle Parameter zu gewähren. Da FoH-Mischpulte, wie bereits erwähnt, neben der Mischung für das PA-System in manchen

Fällen auch die Monitormischung übernehmen müssen, verfügen diese zudem über eine große Anzahl von Aux-Wegen, welche dafür benötigt werden.

4.2.2 Monitormischpult

Bei Monitormischpulten handelt es sich um spezielle Beschallungsmischpulte. Mit diesen Pulten wird für jeden Musiker eine eigene Mischung erstellt. Um dies umsetzen zu können, verfügt das Pult über möglichst viele Hilfssummen. Im Rahmen von professionellen Konzerten kann die Anzahl von 24 Summen schnell erreicht werden, ausgehend von der Beschallung durch Sidefills, den Stereo-In-Ear Monitoring Systemen, sowie zusätzlichen Monitor Wedges.

Um die Pulte dennoch verhältnismäßig kompakt zu bauen und die einzelnen Summen schnell zugänglich zu machen, liegen diese meist in mehreren, umschaltbaren Ebenen übereinander.

Die Herausforderung besteht in dem Erstellen der einzelnen Mischungen für die Musiker. Um diese abhören zu können, muss ein Monitormischpult über eine eigene Abhörmatrix verfügen, worüber alle Summen einzeln abgehört werden können.

4.2.3 Stagebox/Splitter

Das FoH-Mischpult steht in der Regel nicht direkt am Ort des Geschehens, sondern im Idealfall im Publikumsbereich. Die Mikrofonsignale stehen jedoch direkt auf der Bühne zur Verfügung. Um den Aufwand der Verkabelung zu reduzieren, kommt eine sogenannte Stagebox zum Einsatz. Diese verfügt über Ein- und Ausgangsbuchsen und ist mittels eines Multicore-Kabels mit dem Mischpult verbunden.

Während die eingehenden Signale bei analogen Stageboxen direkt zum Mischpult weitergeleitet werden, gibt es für den Einsatz digitaler Mischpulte spezielle Stageboxen. Hier findet die A/D-Wandlung der Signale bereits in der Stagebox statt. Die Übertragung mehrerer Kanäle zwischen Mischpult und Stagebox erfolgt über ein Cat-Kabel oder optisches Glasfaserkabel. Näheres zu diesem Thema wird im Kapitel Signalübertragung behandelt.

Eine weitere Steigerung professioneller Systeme ist das Auslagern der kompletten Signalverarbeitung auf die Bühne. Hierbei ist die Mischpulttechnik in einem Rack mit integrierter Stagebox untergebracht. Das eigentliche FoH-Mischpult dient hierbei lediglich als kabelgebundene Fernsteuerung.

Bei einem Setup, bei dem vom FoH-Mischpult sowohl der Saalmix als auch die Monitormischungen übernommen werden, funktioniert der Aufbau mittels Stagebox

problemlos. Kommt zusätzlich ein Monitormischpult zum Einsatz, ist es notwendig, alle Signale der Stagebox für beide Mischpulte bereitzustellen. Bei analogen Stageboxen ist die einfachste Variante, die Signalaufteilung mittels parallelem Abgriff (Abbildung 14). Hierbei werden die Signale parallel an beide Mischpulte übertragen. Auch wenn diese Variante generell funktioniert, so ist es technisch keine saubere Lösung. „Die Signalquellen werden stets von zwei parallelen Eingangswiderständen abgeschlossen, was eine zu niedrige Gesamtimpedanz ergeben kann.“²¹ Dies kann zu Signaldämpfungen und Klangeinbußen führen.

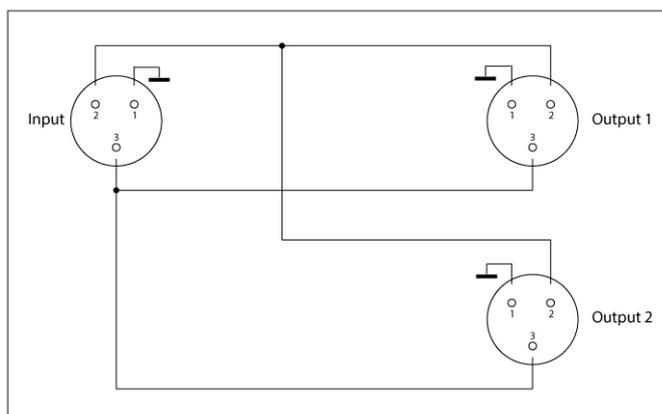


Abbildung 14: Signalaufteilung mittels parallelem Abgriff

Des Weiteren ist bei dieser Variante darauf zu achten, dass nur eines der Pulte die Phantomspeisung übernimmt. „Doppelversorgung verursacht bei ungleichen Spannungen Ausgleichströme, die Störgeräusche auf den Signalwegen nach sich ziehen können.“²²

Eine technisch saubere Lösung stellt ein aktiver Splitter dar. Bei diesem wird der Eingang eines jeden Kanals von den einzelnen Ausgängen mittels Trenntrafo galvanisch getrennt (Abbildung 15). Somit entstehen keine Probleme bezüglich der parallelen Eingangswiderstände. Aktive Splitter verfügen oft über drei oder vier Ausgänge je Eingang, um neben FoH- und Monitormischpult weitere Ausspielwege wie beispielsweise Fernsehübertragungswagen daran anzuschließen.

²¹ Pieper (2011:286)

²² Pieper (2011:286)

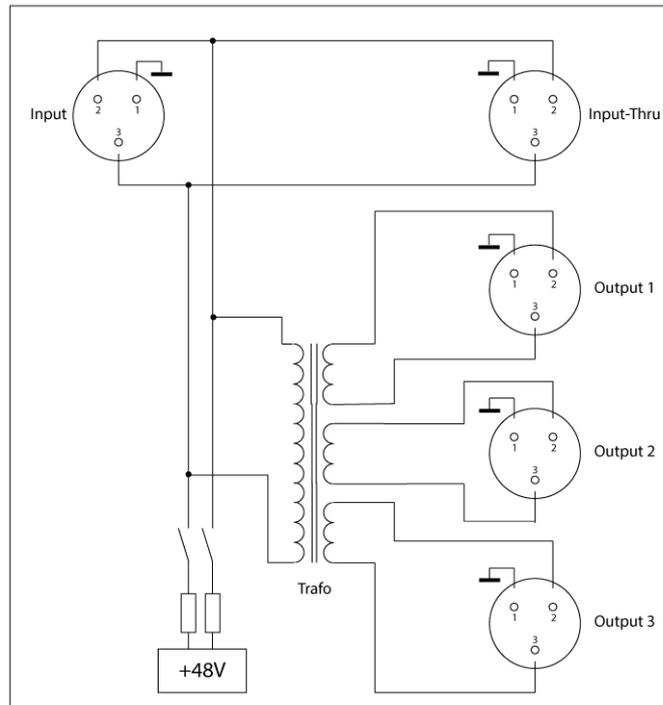


Abbildung 15: Aktiver Splitter mit Input-Thru Anschluss

Zwar entfällt bei dem aktiven Splitter auch das Problem der parallelen Phantomspeisung, jedoch kommt es zu einem neuen Problem. Durch den Trenntrafo ist die Phantomspeisung mittels Mischpult nicht mehr möglich. Daher verfügen aktive Splitter in der Regel über eine eigene Möglichkeit, die Eingänge zu versorgen. Neben den klassischen Ausgängen steht oft auch ein sogenannter Input-Thru-Ausgang zur Verfügung. Dieser ist nicht durch einen Trenntrafo vom Eingang getrennt und ermöglicht ebenfalls die Versorgung mit der Phantomspeisung vom angeschlossenen Mischpult aus.

Beim Einsatz digitaler Systeme stellt es sich anders dar: Wird die Stagebox beispielsweise in einem Netzwerk wie DANTE betrieben, entfällt der physische Splitter. Die Signale werden innerhalb des Netzwerks auf die verschiedenen Mischpulte geroutet. Da die Signale bereits in der Stagebox gewandelt werden, gibt es hier bezüglich der genannten Probleme keine Einschränkungen. Die Phantomspeisung wird in diesem Fall ebenfalls über die Stagebox geregelt.

Bei dieser Art von Stageboxen besteht die Herausforderung im Einstellen der Vorverstärkung. Durch die A/D-Wandlung in der Stagebox muss auch hier die korrekte Vorverstärkung eingestellt werden, um den optimalen Pegel zur Wandlung zu erzielen. Greifen mehrere Mischpulte das Signal eines Eingangs ab, verändert eine Anpassung der Vorverstärkung an einem Pult auch das ankommende Signal am zweiten Pult. Um

dies zu verhindern, darf nur ein Pult den Gain steuern. Das zweite darf das Signal ausschließlich mittels digitalem Gain, innerhalb des Mischpults anpassen.

Um die Anwendung zu erleichtern, ist beispielsweise bei dem System RockNet der Firma Riedel der sogenannte Independent-Gain implementiert. Wird der Gain an einem im RockNet angeschlossenen Mischpult verändert, verändert sich der Gain bei den anderen Mischpulten dementsprechend entgegengesetzt, um die Änderung auszugleichen. Andere Hersteller haben ähnliche Funktionen im Angebot.

4.3 Mikrofone

Bei der Auswahl passender Mikrofone für die Bühne ist nicht, wie im Studio, die Klangästhetik des Mikrofons ausschlaggebend, sondern dessen Robustheit und Störfestigkeit.²³ Daher kommen bei der Beschallung in der Regel dynamische Mikrofone oder einfache Kondensatormikrofone zum Einsatz. Wie bereits im Kapitel Lautsprechersystem erwähnt, werden die einzelnen Schallquellen, abhängig von der Größe der Veranstaltung, mit einem eigenen Mikrofon versehen.

Mikrofone sollten im Bühnenbetrieb nahe an der Schallquelle positioniert werden. Dies minimiert die Gefahr von Rückkopplungen. Des Weiteren muss darauf geachtet werden, dass auf der Bühne aufgebaute Monitorlautsprecher möglichst im unempfindlichen Bereich der Mikrofone stehen.

Durch die nahe Positionierung an der Schallquelle treten am Mikrofon extrem hohe Schalldrücke auf, weshalb Mikrofone die für den Bühnenbetrieb konzipiert sind jedoch keinen Schaden nehmen. Durch die hohen Schalldrücke können die Mikrofone niedriger angesteuert werden, wodurch die Störfestigkeit erhöht und eine gute Kanaltrennung gewährleistet wird. Zu beachten gilt, dass durch den entstehenden Nahbesprechungseffekt der Bassbereich zusätzlich angehoben wird. Der Frequenzgang von Mikrofonen für diesen Einsatzzweck ist jedoch in der Regel darauf abgestimmt.²⁴

²³ Vgl. Görne (2002:235)

²⁴ Vgl. Görne (2002:236)

Im Folgenden sind einige Mikrofone aufgeführt, welche sich im Bühnenbetrieb bewährt haben:

- **Shure SM58**
 - Dynamisches Mikrofon mit Nierencharakteristik.
 - Einsatzgebiet: Gesang
- **Shure Beta 58**
 - Dynamisches Mikrofon mit Supernierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Gesang
- **Shure SM57**
 - Dynamisches Mikrofon mit Nierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Elektrische Gitarre; Snaredrum
- **Sennheiser E 609**
 - Dynamisches Mikrofon mit Supernierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: elektrische Gitarren
- **Neumann KM184**
 - Kondensatormikrofon mit Nierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Akustikgitarre; Klavier; Streicher
- **Sennheiser MD 421**
 - Dynamisches Mikrofon mit Nierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Toms; Bläser
- **Sennheiser MD 441**
 - Dynamisches Mikrofon mit Supernierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Toms; Bläser; Cajon
- **AKG C414**
 - Kondensatormikrofon – 9 schaltbare Charakteristiken
 - Einsatzgebiet: Becken; Overhead Mikrofon
- **Shure Beta 52**
 - Dynamisches Mikrofon mit Supernierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Bassdrum
- **Sennheiser E 904**
 - Dynamisches Mikrofon mit Nierencharakteristik
 - Einsatzgebiet: Toms

Drahtlosmikrofone

Auf einer Bühne mit vielen Schallquellen summiert sich die Menge an Kabeln schnell zu einer hohen Anzahl. Einerseits kann dies bei unsauberer Verlegung unübersichtlich werden, andererseits sind gerade Sänger bei kabelgebundenen Mikrofonen nicht sehr flexibel was die Bewegungsfreiheit angeht. Daher kommen immer häufiger Drahtlossysteme zum Einsatz. Diese haben im Hinblick auf Bewegungsfreiheit und Unübersichtlichkeit bezüglich der Vielzahl von Kabeln zwar deutliche Vorteile, doch bringen diese Systeme wiederum andere Probleme mit sich.

Drahtlossysteme senden Signale mittels Hochfrequenzübertragung vom Sender zum Empfänger. Die zur Verfügung stehenden Frequenzen sind in mehrere Frequenzbänder im UHF Bereich unterteilt. Dieser befindet sich zwischen 300MHz und 3000MHz.²⁵

Das größte Problem hierbei ist der immer kleiner werdende Frequenzbereich, in dem Drahtlossysteme betrieben werden dürfen. Dies hängt mit dem Vorantreiben des LTE Ausbaus im Bereich von 758 – 821 MHz der Mobilfunkbetreiber zusammen.²⁶

Neben freien Frequenzbereichen, welche für Jedermann zur Verfügung stehen, gibt es für professionelle Anwender weitere Frequenzbereiche. Diese liegen einerseits im Bereich von 470 bis 700 MHz, sowie in dem Bereich von 1452 bis 1518 MHz. Der obere Frequenzbereich darf allerdings bisher nur in geschlossenen Räumen genutzt werden und es besteht das Problem einer eingeschränkten Reichweite.²⁷ Für die Nutzung dieser Frequenzen ist eine Anmeldung bei der Bundesnetzagentur erforderlich.

Um einen störungsfreien Empfang garantieren zu können, muss eine Sichtverbindung zwischen Sender und Empfänger bestehen. Darüber hinaus sollten folgende Faustregeln eingehalten werden:²⁸

- Sendeantenne nicht berühren
- Zwischen Hand und Antenne mindestens 5mm Abstand
- Zwischen Sende- und Empfangsantenne mindestens 5m Abstand

Auch bei Sichtkontakt zwischen Sender und Empfänger können reflektierende Funksignale die Übertragung stören und zu Auslöschungen, sogenannten Dropouts, führen. Mit Hilfe des Diversity-Verfahrens kann die Übertragungssicherheit

²⁵ Vgl. Dickreiter (2011:122)

²⁶ Vgl. Shure (2016)

²⁷ Vgl. Shure (2016)

²⁸ Vgl. Dickreiter (2011:123)

diesbezüglich weiter erhöht werden. Hierzu wird eine zweite Empfangsantenne im Raum aufgestellt. Die beiden Hochfrequenzpegel der Antennen werden verglichen und nur das Signal mit höherem Pegel zum Empfänger durchgeschaltet.²⁹

²⁹ Vgl. Smyrek (2016:232)

5 Signalübertragung

Um die bisher kennengelernten einzelnen Komponenten zu einem funktionierenden System zusammenzufügen, werden diese in der Regel über Kabel verbunden. Die zu übertragenden Signale können dabei in analoge und digitale Signale gegliedert werden. Früher wurden ausschließlich Kabel zur analogen Signalübertragung an allen Stellen einer Beschallungsanlage eingesetzt. Durch die fortschreitende Digitalisierung im Bereich der Systeme kommen immer häufiger auch Kabeltypen zur digitalen Signalübertragung zum Einsatz.

5.1 Analoge Übertragung

Bei der analogen Übertragung werden elektrische Signale in Form einer Spannung übertragen. Entscheidend für die Übertragung zwischen zwei Geräten ist das Verhältnis der Impedanzen, also der frequenzabhängigen elektrischen Widerstände.

Um das korrekte Verhältnis zwischen dem Ausgangswiderstand am sendenden Gerät und dem Eingangswiderstand am Empfänger zu erhalten, wird die sogenannte Spannungsanpassung angewandt. Um die Spannung welche zum Empfänger übertragen wird zu maximieren, wird der Eingangswiderstand mindestens fünfmal so hoch gewählt wie der Ausgangswiderstand:

$$R_E \geq 5 * R_A \quad (5)$$

Um diese Bedingungen herstellerunabhängig einhalten zu können, sind für Geräte der Tontechnik Nennimpedanzen definiert. Da die Impedanzen frequenzabhängig sind, werden diese vereinfacht bei einer Frequenz von 1kHz angegeben. Die Nenn-Eingangsimpedanz von Mischpulten und Verstärkern beträgt mindestens 1kΩ. Die Nenn-Ausgangsimpedanz von Mikrofonen und Verstärkern darf höchstens 200Ω betragen.³⁰

Die analoge Signalübertragung findet heutzutage vorrangig auf der Bühne statt. Hier werden die Mikrofonsignale mittels symmetrischer Kupferkabel zur Stagebox geführt.

Bei symmetrischen Kabeln wird das Signal am Sender gesplittet und auf einer Ader phasenrichtig, auf der Anderen um 180° phasengedreht übertragen. Bei einfallenden Störsignalen werden diese gleichermaßen von den Nutzsignalen aufgenommen. Durch eine Subtraktion der beiden Signale beim Empfänger werden diese Störsignale

³⁰ Vgl. Görne (2015:213)

eliminiert und das reine Nutzsignal bleibt bestehen. Bei der symmetrischen Übertragung sind Kabellängen von mehreren 100 Metern möglich.³¹

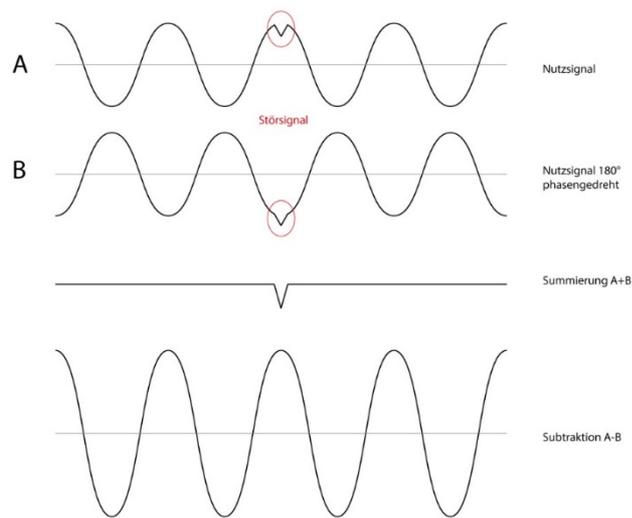


Abbildung 16: Symmetrische Signalübertragung

DI-Boxen

Neben Schallquellen, welche über Mikrofone abgenommen werden, gibt es auch Instrumente und Einspielgeräte, welche das Signal unsymmetrisch ausgeben. Unsymmetrische Kabel haben nur eine signalführende Ader und sind daher störanfällig. Für den Bühnenbetrieb sind sie deshalb nur bedingt geeignet. Um diese Geräte dennoch verwenden zu können, müssen die Signale symmetriert werden. Dies geschieht mit Hilfe einer DI-Box. Hierbei wird mittels eines Trafos im Inneren der Box ein unsymmetrisches Signal in ein symmetrisches Signal gewandelt (Abbildung 17). Somit können auch Instrumentensignale problemlos über längere Distanzen übertragen werden.

³¹ Vgl. Görne (2002:132)

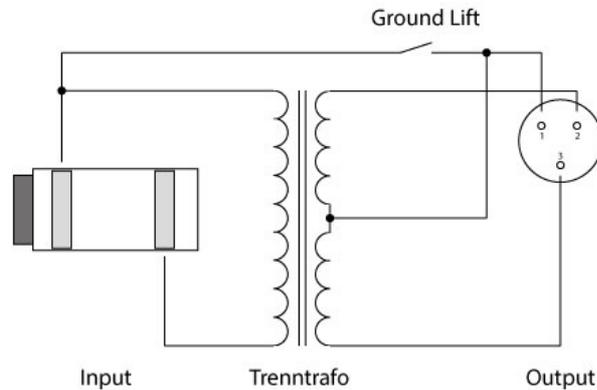


Abbildung 17: Funktionsweise einer DI-Box

Die meisten DI-Boxen verfügen über einen Ground Lift Schalter, mit dem es möglich ist, die Verbindung der Leitungsschirme zu unterbrechen, um Brummschleifen zu vermeiden. Des Weiteren verfügen viele DI Boxen auch über einen PAD-Schalter, womit eine Dämpfung des Signals um -20dB oder sogar -40dB möglich ist.

Es wird zwischen passiven und aktiven DI-Boxen unterschieden. Passive DI-Boxen dienen lediglich der Umwandlung eines unsymmetrischen in ein symmetrisches Signal. Aktive DI-Boxen verfügen im Gegensatz dazu zusätzlich über eine Verstärkerschaltung, womit das ankommende Signal verstärkt werden kann. Die Versorgungsspannung des Verstärkers kann über Phantomspeisung oder Batterien bereitgestellt werden.

5.2 Digitale Übertragung

Für den Weg von der Stagebox zum Mischpult musste zu Zeiten analoger Technik für jedes Eingangssignal ein eigenes Kabel gelegt werden. Dies wurde zwar mittels Multicore Kabeln realisiert, jedoch waren diese Kabel teuer und es waren große Anstrengungen notwendig, um das Kabel zu verlegen. In Zeiten von digitalen Mischpulten stellt es sich anders dar:

Bei digitalen Mischpulten findet am Signaleingang eine A/D-Wandlung statt. Dabei wird das analoge, zeit- und wertkontinuierliche Signal mittels Puls-Code-Modulation in ein digitales, zeit- und wertdiskretes Signal gewandelt. Diese Digitalisierung erlaubt es, die Daten digital zu bearbeiten und zu übertragen. Heute ist es üblich, die Signale so früh wie möglich in der Signalkette zu digitalisieren, um mögliche Signalverfälschungen zu minimieren beziehungsweise auszuschließen. Daher findet die A/D-Wandlung in der Regel bereits in der Stagebox statt.

Die Echtzeitübertragung digitaler Signale mehrerer Kanäle über ein Kabel ist nur mit Hilfe des Zeitmultiplex-Verfahrens möglich. Dieses Verfahren setzt voraus, dass die Signale sowohl beim Sender als auch beim Empfänger gepuffert werden. Nur so ist eine unterbrechungsfreie Übertragung im digitalen Takt, welcher aus der Abtastrate generiert wird, möglich.³² Zur eigentlichen Übertragung kommen sogenannte Leitungscodes zum Einsatz, welche die digitalen Signale für den Übertragungskanal aufbereiten.³³

War bei der analogen Übertragung von Spannungsanpassung die Rede, kommt bei der elektrischen Übertragung digitaler Signale die Leistungsanpassung zum Tragen. Da sowohl der Strom als auch die Spannung möglichst groß sein sollen, um die zu übertragende Leistung zu maximieren, sind Eingangswiderstand und Ausgangswiderstand möglichst gleich zu wählen, da dies den besten Kompromiss darstellt:

$$R_E = R_A \quad (6)$$

Die Leistungsanpassung ist auf Grund der hohen Bandbreite digitaler Signale in Verbindung mit dem Resonanzverhalten von Kabeln bei hohen Frequenzen notwendig. Hierbei kommt es an Impedanzsprüngen zur Wellenreflexion.³⁴ Um Reflexionen an Kabelenden zu vermeiden, müssen diese stets mit einem Abschlusswiderstand in gleicher Größe versehen werden. Auch hier gibt es festgelegte Impedanzen. Diese betragen bei der symmetrischen Signalübertragung 110Ω und bei der unsymmetrischen Signalübertragung 75Ω .³⁵

Für die Echtzeitübertragung der digitalen Audiosignale gibt es verschiedene Ansätze, welche im Folgenden näher erläutert werden.

5.2.1 Punkt-zu-Punkt Übertragung

Wie bei der Übertragung von analogen Signalen, gibt es auch bei digitalen Signalen die sogenannte Punkt-zu-Punkt-Übertragung. Bei diesen Standards findet die Datenübertragung unidirektional zwischen zwei Geräten statt.

³² Vgl. Görne (2015:217)

³³ Vgl. Görne (2015:207)

³⁴ Vgl. Görne (2015:213)

³⁵ Vgl. Görne (2015:213)

AES/EBU Standard

Der AES/EBU-Standard ermöglicht die Übertragung von Audiodaten zweier Audiokanäle in einer Auflösung von bis zu 24Bit, bei einer Abtastrate von 192 kHz.³⁶ Der AES/EBU-Standard basiert auf der AES3-Norm.

Nacheinander folgend werden hierbei ein Audiosample von Kanal A und Kanal B gesendet. Diese einzelnen Samples werden jeweils als Subframe bezeichnet. Ein Subframe hat eine Länge von 32 Bit. Die ersten vier Bits bilden eine Präambel, welche der Synchronisation dient. Im Anschluss folgt das Audiosignal mit 24 Bit. Am Ende eines jeden Subframes stehen weitere vier Bits, welche jeweils spezielle Funktionen erfüllen:³⁷

- *das Validity Bit (V) signalisiert, ob die übertragenen Daten einen gültigen Audioabtastwert darstellen,*
- *das User Data Bit (U) kann als unabhängiger Bitstrom für Applikationen frei verwendet werden,*
- *die Channel-Status-Bits (C) jeder Gruppe werden über eine bestimmte Datenstromlänge gesammelt und ergeben so die Kanalstatus-Information,*
- *das Parity-Bit (P) schließlich hilft zu überprüfen, ob Bit 4 bis Bit 31 korrekt übertragen wurden; es wird so gewählt, dass sich eine gerade Anzahl von Nullen bzw. Einsen ergibt.*

Die Übertragung eines Subframes von Kanal A und Kanal B wird als Frame zusammengefasst (Abbildung 18). 192 Frames bilden dabei einen Block. Zur Leitungscodierung wird ein selbsttaktender Biphas-Mark-Code eingesetzt.³⁸

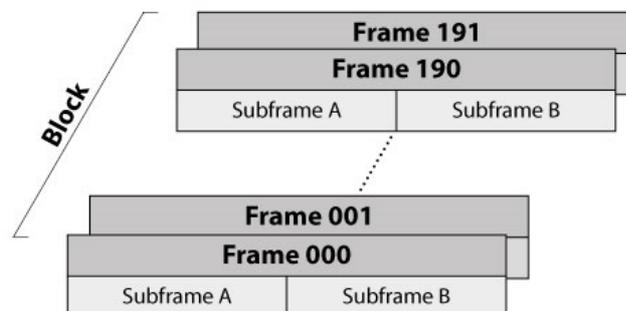


Abbildung 18: Bestandteile eines AES/EBU-Blocks

³⁶ Vgl. NTi-Audio (2012b:1)

³⁷ Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014b:690)

³⁸ Vgl. Smyrek (2016:256)

Die Übertragung dieser digitalen Audiosignale erfolgt üblicherweise über symmetrische Kupferkabel mit XLR-Stecker und einer Impedanz von 110Ω . Auf diese Weise sind Übertragungslängen von bis zu 300m möglich.³⁹ Handelsübliche, symmetrische Audiokabel haben eine Impedanz von 75Ω . Für kürzere Distanzen können aber auch diese eingesetzt werden. Neben der symmetrischen Variante können Signale auch mittels Koaxialkabel mit BNC-Stecker und 75Ω Impedanz unsymmetrisch übertragen werden. Die Übertragungslängen bei dieser Variante betragen bis zu 100m.⁴⁰ Eine Übertragungslatenz ist kaum vorhanden. Sie liegt bei unter 2 Samples.⁴¹

ADAT Standard

Der ADAT Standard ist eine Erfindung des Herstellers Alesis, welcher diesen für seine ADAT Mehrspurrekorder entwickelt hat. ADAT steht für Alesis Digital Audio Tape. Auch wenn die Mehrspurrekorder nicht mehr auf dem Markt zu finden sind, hält sich der Standard auch weiterhin. Immerhin lassen sich hiermit acht Audiokanäle mittels optischer Verbindung gleichzeitig bis zu fünf Meter weit übertragen, was ideal ist um mehrere digitale Signale zwischen zwei Geräten zu übertragen.

Die maximal übertragbare Auflösung bei acht Kanälen beträgt 24Bit bei einer Abtastrate von 48kHz.⁴² Höhere Abtastraten sind mittels des SMUX-Protokolls realisierbar. In diesem Fall werden die höher abgetasteten Datenströme fragmentiert und auf mehrere ADAT-Kanäle verteilt. Höhere Abtastraten bedeuten somit weniger übertragbare Kanäle. So wird beispielsweise ein mit 96kHz abgetastetes Signal auf zwei ADAT-Kanäle zu je 48kHz aufgeteilt.

Die Codierung des ADAT-Standards erfolgt mittels eines NRZI-Codes mit zusätzlichen Synchron-Bits.⁴³ Die ADAT-Schnittstelle basiert auf TOSLINK, einem Lichtwellenleiter-Verbindungssystem.

MADI (AES10-Standard)

MADI ist eine Abkürzung und steht für Multichannel Audio Digital Interface. Wie daraus zu erkennen ist, handelt es sich um eine digitale Schnittstelle zur mehrkanaligen Audioübertragung. Bis zu 64 Audiokanäle können mit einer Abtastung von je 48kHz und 24 Bit Auflösung übertragen werden.⁴⁴ Höhere Abtastungen sind möglich, wirken sich aber

³⁹ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014b:694)

⁴⁰ Vgl. Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014b:695)

⁴¹ Vgl. Slavik (2017:25)

⁴² Vgl. Görne (2015:226)

⁴³ Vgl. Smyrek (2016:259)

⁴⁴ Vgl. Smyrek (2016:257)

negativ auf die Anzahl der Kanäle aus. Standardisiert wurde MADI unter dem Namen AES10.

MADI hat hinsichtlich der Unterteilung der Daten in Frames und Subframes eine große Ähnlichkeit mit dem AES/EBU-Standard. Bis auf die ersten vier Bits, welche bei dem AES/EBU-Standard als Präambel verwendet werden, ist die Struktur eines Subframes vergleichbar.

Anstelle der Präambel wird bei MADI das Bit 0 (Frame Sync) zur Markierung der Framegrenze genutzt; Bit 1 (On/Off) ist ein Indikator für den Kanalstatus (wird bei ungenutzten Kanälen auf 0 gesetzt). Bit 2 (A/B) kennzeichnet den AES3-Subframe A oder B, Bit 3 (Block Sync) kennzeichnet die AES3-Blockgrenze.⁴⁵

Die Codierung bei MADI erfolgt ebenfalls über den NRZI-Code. Im Gegensatz zum ADAT-Standard gibt es bei MADI keine zusätzlichen Synchron-Bits, daher ist MADI nicht zwingend selbsttaktend. Die Regeneration des Taktes aus dem MADI-Signal ist generell möglich, kann aber zu Übertragungsfehlern führen. Daher ist der Einsatz zusätzlicher Wordclock-Leitungen ratsam.⁴⁶

Es stehen verschiedene Leitungstypen zur Verfügung. So lässt sich MADI mittels Koaxialkabel mit 75Ω bis zu 50m oder per Lichtwellenleiter bis zu 2000m übertragen.⁴⁷ Bei der Verwendung dieser Schnittstelle, wird vorwiegend redundant gearbeitet, da der Defekt eines Kabels den Ausfall von bis zu 64 Signalen zur Folge hätte.

5.2.2 Audionetzwerke

Neben diesen klassischen Punkt-zu-Punkt Übertragungsvarianten, bieten Audionetzwerke die Möglichkeit, Audiodaten zwischen mehreren Netzwerkteilnehmern zu verteilen.

Die Basis dieser Audionetzwerke stellt die, aus IT-Netzwerken bekannte, Ethernet-Hardware dar. So werden die einzelnen Komponenten aller in diesem Kapitel vorgestellten Netzwerke mit Kabeln, welche mindestens der Cat5-Norm entsprechen, verbunden. Es kommen RJ45-Steckverbinder zum Einsatz. Um diese widerstandsfähiger zu machen, wurden sie mit einem Metallgehäuse ummantelt, ähnlich einem XLR-Stecker. Die Bezeichnung dieser Steckverbinder lautet etherCON RJ45.

⁴⁵ Görne (2015:225)

⁴⁶ Vgl. Görne (2015:225)

⁴⁷ Vgl. NTi-Audio(2012a:1)

Die Kommunikation innerhalb eines wird anhand des OSI-Schichtenmodells und dessen sieben Layern beschrieben:

OSI-Layer 1

- Stellt den physikalischen Transport zwischen zwei Geräten im Netzwerk dar

OSI-Layer 2

- Beinhaltet die Organisation der Daten in Frames
- Adressierung über MAC-Adressen

OSI-Layer 3

- Zuordnung von Datenpaketen vom Sender zum Empfänger
- Enthält die Adressfunktion IP

OSI-Layer 4

- Datenübertragung zwischen Endsystemen

OSI-Layer 5

- Regelt den Ablauf einer Sitzung (Aufbau, Sende- und Empfangsrecht)

OSI-Layer 6

- Wandelt lokale Datenformate in Formate für den Transport

OSI-Layer 7

- Netzwerkdienste wie Email oder Telefonie

Je nach Komplexität und Aufbau werden Audionetze als Layer 1-, Layer 2- oder Layer 3-Netzwerke bezeichnet, da die eigentliche Audioübertragung weniger Schichten als die Übertragung von zusätzlichen Userdaten und Applikationen benötigt. Dadurch wird wertvolle Zeit eingespart, kurze Latenzen ermöglicht.⁴⁸

Da die Anzahl an unterschiedlichen Audionetzen auf dem Markt stetig zunimmt, wird hier nur auf die wichtigsten, beziehungsweise bekanntesten Produkte eingegangen.

⁴⁸ Slavik (2017:26)

5.2.2.1 Audio over Ethernet – Layer 1

Audio over Ethernet Systeme, welche in Layer 1 aufgebaut sind, verwenden nur teilweise die Ethernet Hardware, wie sie auch in IT-Netzwerken zum Einsatz kommt. Die Verbindung erfolgt über die bereits erwähnten Cat-Kabel. Die Systeme basieren aber auf eigenen Datenprotokollen. Für diese Systeme muss jeweils ein eigenes Netzwerk eingerichtet werden. Andere Daten können nicht darüber übertragen werden.

RockNet

Das RockNet der Firma Riedel gibt es in zwei Varianten: Das RockNet100, mit dem bis zu 80 Audiokanäle übertragen werden können und das RockNet300. Beim Zweitgenannten ist eine Übertragung von bis zu 160 Audiokanälen möglich. Die Wortlänge und die Abtastrate betragen dabei 24Bit/48kHz.⁴⁹ Eine Abtastrate von 96kHz ist bei dem RockNet300 möglich, führt jedoch zur Reduzierung der übertragbaren Kanäle. Als Übertragungsformat kommt das bereits bekannte AES/EBU zum Einsatz.⁵⁰ Die Adressierung der einzelnen Eingangskanäle erfolgt über die Zuweisung einer Kanalnummer. Dies kann entweder am Modul selbst oder über die verfügbare PC-Software Rockworks erledigt werden. Die Größe des Netzwerks ist auf 99 RockNet-Module begrenzt,⁵¹ welche eingesetzt und gesteuert werden können. Zwischen den einzelnen Modulen sind Kabellängen von bis zu 150m zulässig. Neben dem Cat-Kabel kann die Übertragung auch mittels Lichtwellenleiter realisiert werden. Hierbei beträgt die Reichweite zwischen zwei Modulen bis zu 20km.⁵²

Die Verkabelung bei RockNet erfolgt in Ring-Topologie. Dadurch wird eine Redundanz in der Datenübertragung erreicht. Eine Besonderheit ist der Independent-Gain. Sind mehrere Mischpulte im System angeschlossen, sorgt eine Gain-Veränderung an dem ersten Mischpult für eine gegenläufige Gain-Veränderung an den weiteren im System integrierten Mischpulten, um die Anpassung auszugleichen.

AES50

Bei dem Standard AES50 handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Standards AES10 (MADI). Es handelt sich nicht um ein echtes Netzwerksystem. Zwar setzt das System auf Ethernet Hardware, wie Cat-Kabel, jedoch kann es ausschließlich als Punkt-zu-Punkt Verbindung zwischen zwei Geräten eingesetzt werden. Bis zu 48 Kanäle werden mit einer Samplerate von 48kHz und 0,5 Millisekunden Latenz

⁴⁹ Vgl. Riedel (2017)

⁵⁰ Vgl. Smyrek (2016:472)

⁵¹ Vgl. Riedel (2017)

⁵² Vgl. Riedel (2017)

übertragen.⁵³ Durch den Einsatz in der Mischpultserie X32 des Herstellers Behringer und der M32 Serie von Midas, in denen der AES50-Standard zur Verbindung zwischen Mischpulten und Stageboxen standardmäßig verwendet wird, findet es auf dem Markt zunehmenden Anteil.

5.2.2.2 Audio over Ethernet – Layer 2

Audio over Ethernet Systeme, welche in Layer 2 angesiedelt sind, benötigen ebenfalls ein eigenes Netzwerk. Die Adressierung der Geräte erfolgt mittels ihrer MAC-Adressen. Der Einsatz neben anderem Datenverkehr ist generell möglich.

CobraNet

In den 90er Jahren war CobraNet der Firma Cirrus eines der ersten verfügbaren Audio netzwerke. Die Verkabelung basiert auf Ethernet-Komponenten oder Lichtwellenleitern. Je nach Art des Netzwerks ist mit CobraNet die Übertragung von 64 Hin- und Rückwegen bei 20Bit und 48kHz in einem 100Mbit/s Netzwerk oder bis zu 700 Audiokanälen mit 32 Bit und 192kHz in einem Gigabit-Ethernet Netzwerk über Cat-Kabel oder Lichtwellenleiter möglich.⁵⁴ Leider ist CobraNet für den Konzerteinsatz aufgrund der Latenzzeiten von bis zu 5,33ms nicht ideal.⁵⁵ Trotzdem findet es auch heute noch Anwendung vor Allem im Bereich von Stadien oder auch Themenparks, wo Audiosignale verteilt werden müssen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass über 50 Hersteller passende CobraNet-Schnittstellen zu ihren Produkten anbieten und somit eine Übertragung der Audiodaten zwischen verschiedenen Fabrikaten ermöglichen.⁵⁶ Ein weiterer Vorteil bietet die Möglichkeit der Stromversorgung von angeschlossenen Geräten mittels Power over Ethernet.

Die Verteilung im CobraNet wird mittels Sterntopologie realisiert. Jedes CobraNet-Gerät verfügt über zwei Anschlüsse. Um ein funktionierendes Netzwerk aufzubauen genügt bereits einer dieser Anschlüsse. Der zweite kann für die Redundanz der Datenübertragung verwendet werden. Hierzu wird ein weiteres Netzwerk parallel zu dem ersten Netzwerk aufgebaut.

⁵³ Vgl. HEDD (2018)

⁵⁴ Vgl. Smyrek (2016:471)

⁵⁵ Vgl. Bangert (2016)

⁵⁶ Vgl. Bangert (2012:120)

EtherSound

Ein weiterer Klassiker ist das EtherSound-Netzwerk der Firma Digigram. Mit dem ES100 ist eine Übertragung von 64 Audiokanälen bidirektional mit 24 Bit und 48kHz möglich.⁵⁷ Alternativ kann auch hier auf Lasten der Kanalanzahl die Abtastrate erhöht werden. Neben dem ES100 gibt es seit einiger Zeit auch eine weiterentwickelte Form, das sogenannte ES-GIGA, welches über eine wesentlich höhere Kanalanzahl verfügt. „Die Latenz beträgt 125µs (bei 48kHz). Jedes weitere Gerät im Netz verlängert die Latenz um 1,4µs.“⁵⁸

Das EtherSound-Netzwerk kann sowohl in Bus-Topologie als auch in Ring-Topologie aufgebaut werden. Über einen Switch ist auch eine Stern-Topologie möglich, jedoch ist dadurch die bidirektionale Verbindung nicht mehr gegeben.⁵⁹

In der Praxis spielt EtherSound mittlerweile keine sehr große Rolle mehr. Zunehmend wird es durch neuere Systeme abgelöst. War es beispielsweise lange Zeit das System, welches von Yamaha standardmäßig zur Übertragung von digitalen Audiosignalen eingesetzt wurde, so wurde es dort mittlerweile durch DANTE ersetzt.

AVB/TSN

Mit AVB werden eine Reihe von Standards der Audio Video Bridging Task Group (IEEE 802.1) beschrieben. Diese dienen zum synchronisierten und priorisierten Streaming von Audio- und Videodaten über Netzwerke. Durch die Erweiterung des Arbeitsgebiets wurde die Task Force 2012 umbenannt in die Time Sensitive Networking (TSN) Task Force und befasst sich unter anderem mit Erweiterungen der AVB Mechanismen.

Bei AVB handelt es sich um ein offenes, lizenzfreies Protokoll, welches Hersteller für sich passend zuschneiden können. AVB gibt nur den Grundrahmen vor. Die erforderlichen Parameter sind frei bestimmbar.

AVB-Netzwerke werden wie handelsübliche Ethernet-Netzwerke aufgebaut. Zu beachten ist, dass es sich bei den eingesetzten Netzwerkkomponenten um Geräte und Schnittstellen handeln muss, welche dem AVB-Standard entsprechen. Um die Unterscheidung zu erleichtern, werden AVB-Switche Brücke genannt. Gemeinsam mit den Endgeräten, formen die AVB-Brücken die sogenannte AVB-Wolke. Eine AVB-Wolke kann Teil eines anderen Netzwerks sein, welches nicht ausschließlich AVB-fähige Geräte enthält. Unter der Voraussetzung, dass maximal sieben Teilstrecken

⁵⁷ Vgl. Smyrek (2016:470)

⁵⁸ Smyrek (2016:470)

⁵⁹ Vgl. Smyrek (2016:471)

zwischen Anfangs- und Endpunkt liegen, kann von einer Latenzzeit von maximal 2ms ausgegangen werden.⁶⁰ Vorreiter im Einsatz von Produkten mit dem AVB-Standard ist die Firma MOTU, welche aktuell mehrere Audio Interfaces sowie eine AVB-Bridge auf dem Markt anbieten. Neben Audiointerfaces von MOTU, bietet die Firma Presonus ihre Mischpultserie StudioLive sowie passende Stageboxen ebenfalls mit eingebauter AVB Schnittstelle an.

5.2.2.3 Audio over IP

Neben Audio over Ethernet, gibt es mit Audio over IP eine weitere Möglichkeit Audiodaten über Netzwerk zu übertragen. Audio over IP arbeitet auf dem OSI-Layer 3, der sogenannten Vermittlungsschicht. Diese Netzwerke bieten die Möglichkeit, dass sie innerhalb von bestehenden Netzwerken, auch neben dem normalen Datenstrom betrieben werden können.

Für Audio over IP gibt es mittlerweile verschiedene Systemansätze.

RAVENNA

Ravenna ist ein IP-basiertes Netzwerkprotokoll zur Übertragung von Audio- und Mediendaten. Bei dem Protokoll handelt es sich, wie auch bei AVB, um ein lizenzfreies Produkt, welches von Herstellern in ihre Produkte implementiert werden kann. „Ravenna gibt eigentlich nur die Grundstruktur vor, die Nutzung der IP-Basis, die daraus resultierende Verpackung der Medieninhalte in Datenpakete, die Synchronisationsmechanismen, die Sicherstellung der Priorität von Medieninhalten im Netzwerk usw.“⁶¹ Parameter, wie Wortlänge oder Abtastrate sind dagegen nicht fest definiert und können vom implementierenden Hersteller frei gewählt werden. Die Latenzzeit beträgt auch bei einer großen Anzahl übertragener Kanäle unter 1ms,⁶² wodurch das Protokoll gut für den Livebetrieb geeignet ist.

Die besten Ergebnisse bezüglich der Übertragung werden in einfachen Subnetzen erzielt, da sich Router natürlich auf die Latenz auswirken. Aber auch ein Einsatz in großen Netzwerken wie beispielsweise in Funkhäusern ist möglich.

Mit der Software R3LAY VSC des Herstellers LAWO ist es zudem möglich, einen Computer direkt über den vorhandenen Netzwerkanschluss ins RAVENNA-Netzwerk einzubinden. Somit kann dieser Daten aus dem Netzwerk direkt verarbeiten

⁶⁰ Vgl. Bangert (2012:126)

⁶¹ Bangert (2013:107)

⁶² Vgl. Bangert (2013:107)

beziehungsweise Daten ins Netzwerk senden. Der Mitschnitt eines Konzerts bei Einsatz eines RAVENNA-Netzwerks ist dadurch technisch sehr einfach zu realisieren.

DANTE

Ein weiteres Audio over IP-System ist DANTE der Firma Audinate. Die Übertragung bei DANTE kann ebenfalls mit Hilfe handelsüblicher Netzwerkkomponenten realisiert werden. Sowohl in Netzwerken mit 100Mbit/s als auch 1Gbit/s ist DANTE einsetzbar und darüber hinaus ist es auch in Netzwerken einsetzbar, in denen beide Geschwindigkeiten verwendet werden. Bei einer Datenrate von 1Gbit/s und 24Bit/48kHz können bis zu 512 Hin- und Rückkanäle übertragen werden.⁶³

Um im DANTE-Netzwerk eine Redundanz zu ermöglichen ist es notwendig ein komplettes zweites Netzwerk, parallel zum Ersten, zu betreiben.

Konfiguriert wird ein DANTE-Netzwerk über die kostenlose Software DANTE Controller. Hier sind alle im Netzwerk verfügbaren Geräte sowie alle Ein- und Ausgänge aufgeführt und können individuell geroutet werden.

Ähnlich der Software R3LAY VSC von LAWO bietet auch Audinate mit der Software DANTE Virtual Soundcard eine Schnittstelle für Computer, womit Daten aus dem Netzwerk verarbeitet beziehungsweise ins Netzwerk gesendet werden können.

Die Übertragungslatenz bei DANTE ist variabel und kann vom Benutzer im DANTE Controller selbst eingestellt werden. Generell wird bei der Übertragung zwischen zwei Punkten von einer Latenz von 150µs ausgegangen.⁶⁴

DANTE ist aktuell wohl die am häufigsten verwendete Netzwerklösung auf dem Markt. Dies hat zur Folge, dass alle großen Hersteller, wie beispielsweise Soundcraft und Yamaha mittlerweile passende Schnittstellen zur Verwendung von DANTE an ihren Geräten anbieten.

Neben der klassischen Verwendung an Mischpulten, Stageboxen oder auch Audio-interfaces bieten auch Hersteller von Mikrofonen wie beispielsweise Sennheiser, mit dem Empfänger EM6000 oder Lautsprecherhersteller wie d&b, mit der Audio Network Bridge DS10 bereits DANTE-fähige Geräte an.

AES67

Wie die vorangegangenen Ausführungen zeigen, gibt es aktuell eine Vielzahl an Netzwerklösungen für den Audiobereich. Jedoch steht jedes Produkt beziehungsweise

⁶³ Vgl. Bangert (2010:89)

⁶⁴ Vgl. Audinate (2014)

Protokoll für sich allein. Eine Datenübertragung zwischen mehreren Protokollen kann aktuell nicht stattfinden. 2013 wurde mit dem AES67 ein offener Standard geschaffen, welcher genau dies ermöglichen soll.

Bei AES67 handelt es sich nicht um einen kompletten eigenen Standard, sondern vielmehr um den kleinsten gemeinsamen Nenner bezüglich der Themen Verpacken, Transport und Synchronisation. Der Standard zeigt auf, wie mittels bestehender Protokolle, verschiedene Systeme miteinander kommunizieren können.

Hinsichtlich der Kompatibilität sind aktuell RAVENNA- und DANTE-Schnittstellen AES67 fähig und somit untereinander einsetzbar.

Tabelle 1: Zusammenfassung der digitalen Übertragungsvarianten

		Netzwerk	Kanalanzahl	Wortlänge/ Abtastrate	Latenz	Verkabelung/ Entfernung	
Punkt-zu-Punkt		AES/EBU	2	24Bit/192kHz	< 2 Samples	Symmetrisch Koaxialkabel	300m 100m
		ADAT	8	24Bit/48kHz	Keine Angabe	TOSLINK	5m
		MADI	64	24Bit/48kHz	20,8µs	Koaxialkabel Lichtwellenleiter	50m 2km
Audio over Ethernet	OSI- Layer 1	RockNet100	80	24Bit/48kHz	250µs (48kHz)	Cat-Kabel Lichtwellenleiter	150m 2km
		RockNet300	160	24Bit/48kHz 24Bit/96kHz	250µs (48kHz) 75µs (96kHz)	Cat-Kabel Lichtwellenleiter	150m 2km
		AES50	48x48 24x24	24Bit/48kHz 24Bit/92kHz	500µs	Cat-Kabel	100m
	OSI- Layer 2	CobraNet	64x64 (100Mbit/s) 700x700 (1Gbit/s)	20Bit/48kHz 32Bit/192kHz	Bis zu 5,33ms	Cat-Kabel Lichtwellenleiter	100m 2km
		EtherSound	64x64 32x32	24Bit/48kHz 24Bit/96kHz	125µs (48kHz)	Cat-Kabel	100m
		AVB/TSN	Nicht definiert	Nicht definiert	< 2ms	Cat-Kabel	100m
Audio over IP	OSI- Layer 3	RAVENNA	Nicht definiert	Nicht definiert	< 1ms	Cat-Kabel	100m
		DANTE	48x48 (100Mbit/s) 512x512 (1Gbit/s)	24Bit/48kHz 24Bit/48kHz	150µs	Cat-Kabel	100m

5.2.3 Synchronisation

Die Verarbeitung digitaler Echtzeitsignale im Audibereich erfolgt mittels der sogenannten Wordclock. Dieser Takt wird durch einen internen Taktgenerator erzeugt. Als Taktsignal dient hierbei die Abtastfrequenz.

Werden die erzeugten, digitalen Audiodaten an ein weiteres Gerät übertragen, muss der Empfänger die Daten ebenfalls in diesem Takt verarbeiten. Die internen Taktgeneratoren beider Geräte müssen miteinander synchronisiert werden. Wird dies nicht beachtet, kann es zu Fehlern wie Dropouts (fehlende Samples) oder Glitches

(Diskontinuitäten im Amplitudenverlauf) durch gegeneinander driftende Taktgeneratoren kommen.⁶⁵

Zur Realisierung der Taktsynchronisation können zwei Varianten angewendet werden:

- Verkettung
Bei dieser Variante werden die einzelnen Geräte der Reihe nach miteinander verbunden. Das erste Gerät ist dabei der Wordclock-Master. Dieser gibt seinen Takt weiter. Die weiteren Geräte in der Kette sind die Wordclock-Slaves. Diese passen sich diesem vorgegebenen Takt an.
- Zentraler Wordclock-Generator
Hierbei kommt ein externer Wordclock-Generator zum Einsatz. Dieser ist direkt mit jedem einzelnen Gerät verbunden. Der externe Wordclock-Generator ist in diesem Fall der Wordclock-Master, alle weiteren Geräte sind die Wordclock-Slaves.

Besteht die Möglichkeit, sollte der zentrale Wordclock-Generator bevorzugt verwendet werden, da nur hier die Taktgeneratoren aller Geräte wirklich synchron laufen. Bei der Geräteverkettung führen hingegen Latenzen in den einzelnen Geräten zu Ungenauigkeiten.⁶⁶

In Audionetzwerken der Layer 2 und 3 ist eine Taktung mittels Wordclock nicht möglich, da diese Ethernet-Frames nicht deterministisch versenden. Daher ist die Ableitung eines physischen Taktes wie Wordclock aus dem Signal nicht möglich⁶⁷ Um dennoch eine Synchronisation zu ermöglichen wird PTP mitübertragen. Dies ist ein Protokoll, welches ein Zeitsignal übermittelt. In dem Signal sind unter Anderem Informationen über die Latenz zwischengeschalteter Geräte enthalten. Der Empfänger kann anhand dieser Informationen die genaue Zeit errechnen.⁶⁸

⁶⁵ Vgl. Görne (2015:218)

⁶⁶ Vgl. Görne (2015:219)

⁶⁷ Vgl. Slavik (2017:26)

⁶⁸ Vgl. Slavik (2017:31)

6 Aufbaukonzepte

Die Positionierung des Lautsprechersystems ist grundsätzlich abhängig von den Raumeigenschaften.

Je nach Raum gestaltet sich das Verhältnis zwischen Direkt- und Diffusschall unterschiedlich. Direktschall beschreibt den Anteil, welcher direkt vom Lautsprecher beim Zuhörer ankommt. Im Gegensatz dazu, handelt es sich bei Diffusschall um Schallreflexionen, welche beispielsweise durch Wände erzeugt werden.

Wenn eine Schallquelle Direktschall abstrahlt, nimmt dieser mit zunehmender Entfernung im Pegel rasch ab. Außerdem entstehen in einem geschlossenen Raum Reflexionen, die nach einer gewissen Zeit überall im Raum den gleichen Pegel haben (aber nicht das gleiche Klangbild).⁶⁹

Der Hallradius definiert den Bereich um eine Schallquelle (Musikinstrument oder Lautsprecher), in dem der Direktschall dominiert. Außerhalb des Hallradius wird der Klangeindruck praktisch nur noch vom Diffusschall und damit vom Raum bestimmt.⁷⁰

Das Publikum sollte möglichst immer innerhalb des Hallradius positioniert werden, da nur hier das gewünschte Klangbild wahrzunehmen ist.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten die Lautsprecher im Raum zu aufzustellen. Diese werden im Folgenden näher erläutert.

6.1 Frontale Beschallung

Eine Variante der Lautsprecherpositionierung ist die frontale Beschallung. Hierbei werden die Lautsprecher in Bühnennähe positioniert.

Die wohl am häufigsten eingesetzte Anordnung im Bereich der Frontalbeschallung ist die Aufstellung der Lautsprecher links und rechts der Bühne. Dies hat einerseits optische Gründe, da die Lautsprecher hier das Bühnenbild nicht stören, andererseits kann damit ein gewisser stereofoner Effekt erzielt werden. Jedoch muss bedacht werden, dass die Stereomischung nur in einem kleinen Bereich, der Sweet Area, vernünftig wahrnehmbar ist. In allen anderen Bereichen führt dies zu einem

⁶⁹ Smyrek (2016:46)

⁷⁰ Görne (2015:99)

unausgewogenen Klang. Daher sollte bei der Beschallung darauf geachtet werden, die wichtigen Signale mono auszuspielen. Dennoch wird das System in Stereo aufgebaut um Effekte, wie beispielsweise künstlichen Hall, in Stereo wiederzugeben.

6.1.1 Horizontale Frontalbeschallung

Unter der Horizontalbeschallung versteht man das Anordnen der Lautsprecher auf Bühnenhöhe, also knapp über den Köpfen des Publikums.

Der Vorteil dieses Konzepts liegt wohl einzig und allein im geringen Aufwand des Aufbaus.

Wie im Kapitel Ziele einer Beschallung bereits erwähnt, soll das Schallfeld möglichst über den gesamten Publikumsbereich gleichmäßig verteilt sein. Leider ist dies bei dieser Anordnung nur sehr schwer bis gar nicht zu realisieren. Wird der gewünschte Schalldruckpegel in dem vorderen Publikumsbereich erreicht, beträgt der Schalldruckpegel im hinteren Bereich durch die entfernungsbedingte Pegelabnahme nur noch einen unzureichenden Teil des ursprünglichen Schalldruckpegels. Wird hingegen im hinteren Publikumsbereich der gewünschte Schalldruckpegel erreicht, ist der Schalldruckpegel vor der Bühne zu hoch (Abbildung 19).

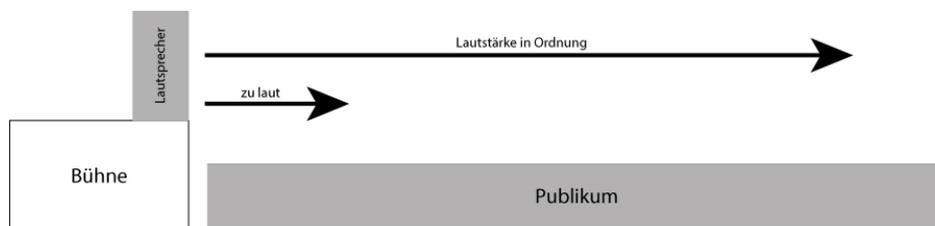


Abbildung 19: Horizontale Frontalbeschallung

Durch den geringen Abstrahlwinkel gegenüber des Publikums, kommt es bei dieser Anordnung im hinteren Publikumsbereich zu Veränderungen des Klangbildes, da hohe Frequenzen durch das Publikum absorbiert werden.

Ein weiterer Aspekt den es zu beachten gilt ist die erhöhte Gefahr von Rückkopplungen bei diesem Aufbau, da die Lautsprecher nahe bei den Mikrofonen positioniert sind.

6.1.2 Vertikale Frontalbeschallung

Um den Problemen der horizontalen Beschallung aus dem Weg zu gehen, kann der Lautsprecheraufbau als vertikale Frontbeschallung realisiert werden. Hierbei werden die Lautsprecher an Traversen oder Stative gehängt. Man spricht hierbei auch von geflogenen Lautsprechern (Abbildung 20).

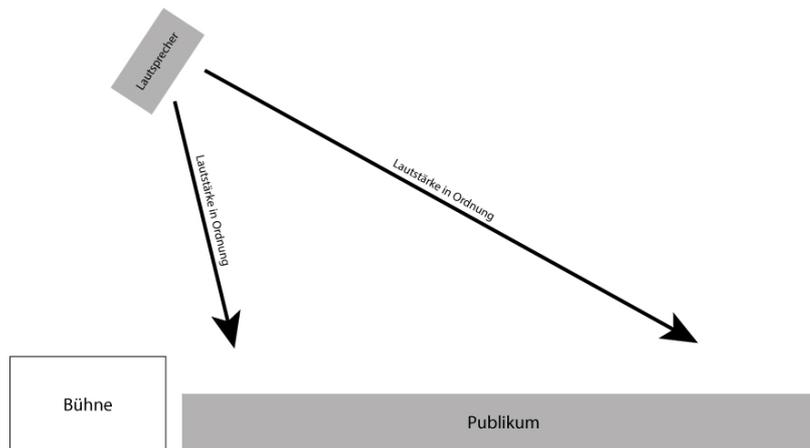


Abbildung 20: Vertikale Frontalbeschallung

Durch die Verschiebung der Lautsprecher in vertikaler Richtung, wird der Abstand zu den Zuschauern in den ersten Reihen vergrößert, während sich der Abstand zu den hinteren Reihen nur gering verändert. Bei angenommenen 2-4m Höhe sinkt der Schalldruckpegel bei den vorderen Zuschauern um bis zu 12 dB. Da bei dieser Ausrichtung die Absorption der hohen Frequenzen durch den größeren Abstrahlwinkel vermieden wird, sollte, sofern die Möglichkeit besteht, diese Variante bevorzugt werden.

6.1.3 Nearfield-Lautsprecher

Durch das vertikale Verschieben der Lautsprecher, verschiebt sich auch die Ortung der Schallquellen für die Zuhörer in den ersten Reihen in vertikaler Richtung. Um diesem Effekt entgegen zu wirken, werden an der Bühnenkante zusätzliche Lautsprecher aufgestellt (Abbildung 21).

Da der Nearfield-Lautsprecher in geringerem Abstand zum Publikum steht als der geflogene Lautsprecher, erreicht dessen Schall das Publikum zuerst. Somit greift das Gesetz der ersten Wellenfront. Der Schall des Nearfield-Lautsprechers wird als eigentliches Schallereignis wahrgenommen, während der Schall des geflogenen

Lautsprechers als erste zugehörige Reflexion wahrgenommen wird. Die Ortung der Schallquelle verlagert sich zurück auf die Bühne.

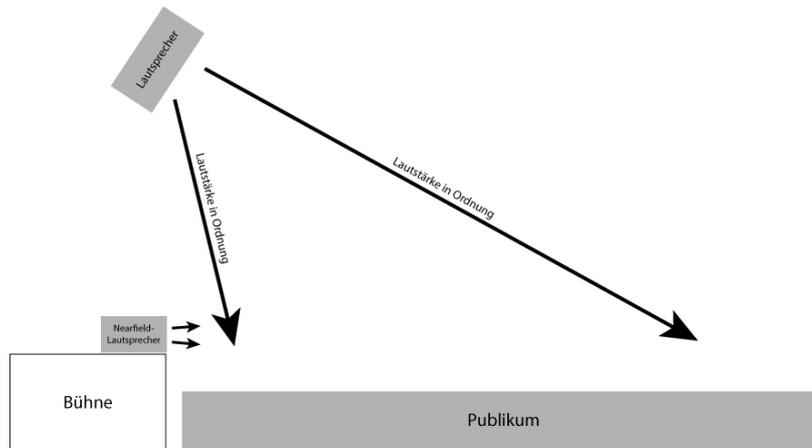


Abbildung 21: Nearfield-Lautsprecher

6.1.4 Delay Lautsprecher

Lautsprecher haben nur eine bedingte Reichweite. In langen Räumen kann dies dazu führen, dass der hintere Publikumsbereich nicht mit ausreichend Direktschall versorgt wird. In diesem Fall ist es erforderlich eine weitere Beschallungsebene aufzubauen (Abbildung 22).

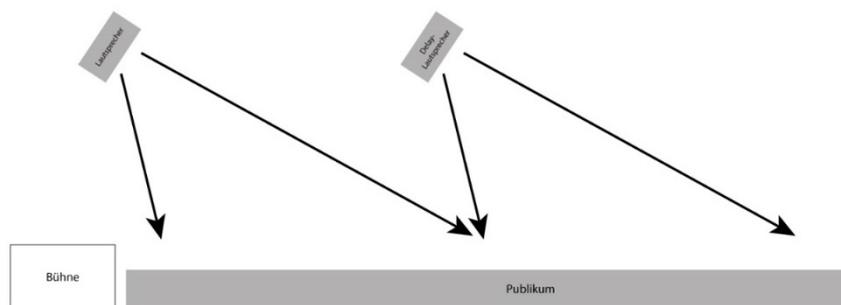


Abbildung 22: Delay-Lautsprecher

Diese wird als Delay-Line bezeichnet. Der Name leitet sich von der zeitlichen Verzögerung ab, welche bei der Verwendung mehrerer Lautsprecherebenen zwischen den einzelnen Ebenen angewendet werden muss. Dies ist relevant um an Stellen im Publikumsbereich an denen beide Lautsprecherebenen zu hören sind keine Interferenzen und Kammfiltereffekte zu erzeugen. Des Weiteren trägt sie dazu bei, die Ortung zur Bühne beizubehalten.

Zur Berechnung der zeitlichen Verzögerung ist der Abstand zwischen den Lautsprecherebenen erforderlich. Über die Schallgeschwindigkeit kann die Verzögerung mit folgender Formel berechnet werden:

$$t = \frac{d}{c} \quad (7)$$

Daraus ergibt sich bei einem Abstand von 34 Metern eine Zeitverzögerung von rund 100ms. Bei einem Abstand von einem Meter beträgt die Verzögerung rund 3ms. Um die Ortung zur Bühne zu wahren, ist der Abstandsverzögerung nach dem sogenannten Haas-Effekt eine weitere Verzögerung von 20ms hinzuzufügen. Dadurch greift auch hier das Gesetz der ersten Wellenfront.

6.2 Dezentrale Beschallung

Neben der frontalen Beschallung gibt es mit der dezentralen Beschallung eine weitere Variante der Lautsprecherpositionierung. Hierbei kommt eine große Anzahl von Lautsprechern zum Einsatz, welche im gesamten Raum verteilt sind. Ein Beispiel wäre die Anbringung von Lautsprechern an jedem einzelnen Sitz im Publikum. Diese Variante eignet sich unter anderem für Räume mit großer Nachhallzeit, da hierbei der Schalldruckpegel und damit die Anregung des Raums geringgehalten wird.

Da diese Variante jedoch sehr umfangreich hinsichtlich der Installation und Einrichtung der Lautsprecher ist, eignet sie sich eher für Festinstallationen.

7 Produktion: Konzertbeschallung

Um die Anwendung der einzelnen bisher beschriebenen Komponenten innerhalb eines Beschallungssystems besser verdeutlichen zu können, wird diese im folgenden Kapitel anhand eines praktischen Beispiels erläutert. Als Ausgangssituation dient eine Konzertveranstaltung wofür das Beschallungssystem geplant und realisiert werden soll.

7.1 Planung

Vor dem eigentlichen Konzert ist es unabdingbar, sich mit den Gegebenheiten und Besonderheiten der Produktion vertraut zu machen. Dazu gehören Informationen zur Veranstaltung, der Band und den Räumlichkeiten, welche vorab eingeholt werden müssen. Anhand dieser Informationen kann das Beschallungssystem zusammengestellt werden.

7.1.1 Die Band

Bei der Veranstaltung handelt es sich um ein Konzert der Band No Control. Die Band ist eine klassische Coverband. Ihr Repertoire umfasst Rock- und Popsongs der letzten 40 Jahre. Gegründet im Jahr 2008, kann sie mittlerweile auf zahlreiche Auftritte zurückblicken.

Die Band setzt sich wie folgt zusammen:

Julia Harter – Gesang

Manuel Reusrath – Gitarre, Backgroundgesang

Steffen Lang – Bass, Backgroundgesang

Stefan Kempf – Keyboard, Backgroundgesang

Matthias Baumann – Schlagzeug

Um einen Überblick der technischen Anforderungen der Band zu erhalten, verfügt diese über einen Bühnenplan (Anhang A). Aus diesem geht die Bühnenaufstellung der Band hervor. Des Weiteren enthält er Informationen zur Technik, wie gewünschte Mikrofone und Anzahl der Monitorwege.

7.1.2 Der Raum

Um eine Produktion hinsichtlich des Beschallungssystems professionell planen und umsetzen zu können, ist es wichtig gewisse Parameter des Veranstaltungsraums zu kennen.

Dazu gehören:

- Abmaße des Publikumsbereichs
- Abmaße der Bühne
- Verwendete Materialien
- Art der Publikumspositionierung
 - stehendes oder sitzendes Publikum
 - Verteilung des Publikums im Raum

Im aufgeführten Beispiel soll eine Mehrzweckhalle beschallt werden. Die Abmaße der Halle sind der Abbildung 23 zu entnehmen.

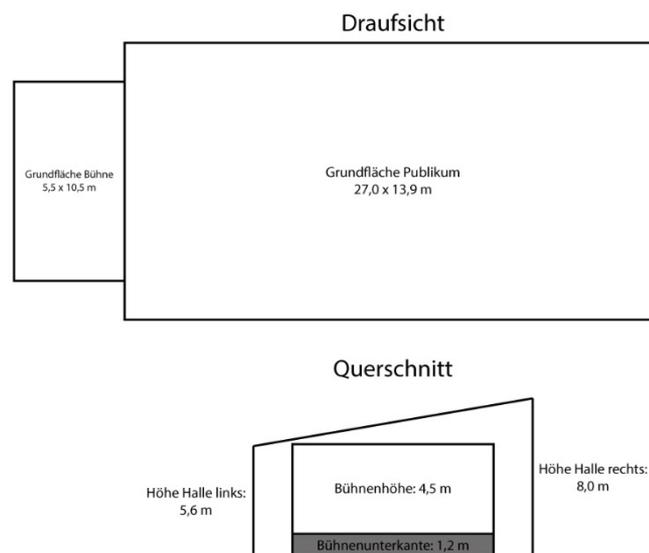


Abbildung 23: Grundrisse des Veranstaltungsraums

Bühne

Die Bühne ist von allen drei Seiten mit Bühnenmolton behangen. Dieser verhindert Wandreflexionen im Bühnenbereich. Durch diese Maßnahme wird die Gefahr von Rückkopplungen auf der Bühne minimiert und erleichtert die Erstellung der Monitormischungen.

Publikumsbereich - Deckenfläche

Im Querschnitt des Publikumsbereichs ist zu erkennen, dass Boden und Decke nicht parallel verlaufen. Dies hat den Vorteil, dass Raummoden in vertikaler Richtung unterbunden werden. Des Weiteren ist die Decke mit Lochplatten aus Holz verkleidet (Anhang B.3). Hinter diesen Platten ist ein Absorptionsmaterial angebracht. Dieses verringert von der Deckenfläche ausgehende Reflexionen.

Publikumsbereich - Wandflächen

Die Wände im Publikumsbereich sind mit unterschiedlichen Materialien verkleidet (Anhang B.1). Die Wandfläche der rechten Seite ist im unteren Bereich mit Holz verkleidet. Im oberen Bereich besteht sie aus Beton und einer Reihe Fenstern. Die gegenüberliegende Wand besteht im vorderen Bereich ebenfalls aus Holz, Beton und Fenstern. Im hinteren Bereich wurde zusätzlich eine große Fensterfront angebracht (Anhang B.2). Bei diesen Flächen ist mit starken Reflexionen zu rechnen. Um diese bestmöglich zu unterbinden müssen die Lautsprecher so positioniert werden, dass verhältnismäßig wenig Schall auf die Wände trifft.

Die Rückwand des Raums besteht komplett aus Holz. Im unteren Bereich sind komplette Holzplatten verbaut. Auch hier ist mit Reflexionen zu rechnen. Im oberen Bereich kommen einzelne Holzbretter zum Einsatz. Die Holzbretter sind mit einem Abstand von 10mm zueinander montiert. Ähnlich wie bei der Decke ist auch hier ein Absorptionsmaterial dahinter eingebracht, wodurch die Rückwand einen gewissen Schallanteil absorbieren und Reflexionen zurück zur Bühne verringert werden sollen.

Publikumsbereich - Fußboden

Der Fußboden kann im Hinblick auf mögliche Reflexionen während der Veranstaltung vernachlässigt werden, da das Publikum diesen komplett bedeckt und den Schall absorbiert.

Interessant ist die Betrachtung des Fußbodens hinsichtlich des Sound Checks. Je nach Art des verwendeten Fußbodenmaterials ist die Klangänderung zwischen Sound Check, welcher ohne Publikum stattfindet und dem Konzert mit Publikum unterschiedlich groß. So ändert sich das Klangbild zwischen Sound Check und Konzert bei einem Teppichboden deutlich weniger, als bei einem glatten Fußbodenmaterial wie beispielsweise Holz oder Fliesen.

Die Mehrzweckhalle verfügt über einen Linoleumboden. Somit ist davon auszugehen, dass zwischen Sound Check und Konzert eine große Klangveränderung wahrnehmbar sein wird.

7.1.3 Die Technik

Sind die Gegebenheiten vor Ort und die Anforderungen der Band bekannt, kann die passende Technik für diese Produktion ausgewählt und vorbereitet werden.

7.1.3.1 Lautsprechersystem

PA-System

Um das passende PA-System für das Konzert zusammenzustellen, wird dieses im Vorfeld mit Hilfe einer Planungssoftware konfiguriert. Hierbei werden sowohl die Lautsprechertypen, deren Anzahl und auch die entsprechende Positionierung im Raum bestimmt. Die Software berechnet den Schalldruckpegel und die Abstrahlung des Systems. Diese werden grafisch dargestellt. Neben den Lautsprechern können auch die dazu passenden Leistungsverstärker mit Unterstützung der Software ausgewählt und konfiguriert werden.

Für das Konzert kommen Lautsprecher und Leistungsverstärker des Herstellers d&b zum Einsatz. Daher wird zur Konfiguration des PA-Systems die Software Array Calc verwendet. In Abbildung 24 ist die Benutzeroberfläche von ArrayCalc zu erkennen. Diese ist unterteilt in die Eingabemaske auf der linken Seite und die grafische Darstellung auf der rechten Seite des Bildschirms.

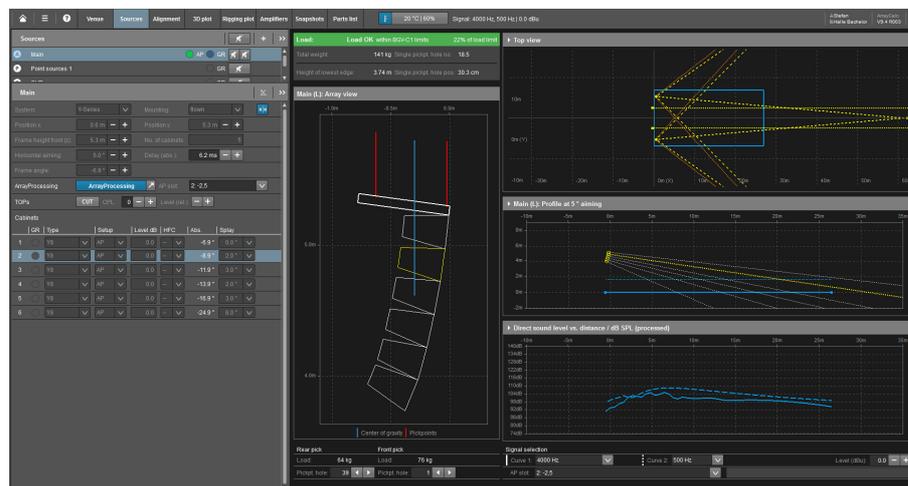


Abbildung 24: Benutzeroberfläche der Planungssoftware ArrayCalc

Zu Beginn der Konfiguration werden in ArrayCalc die Abmaße des zu beschallenden Raums abgefragt. Hier können sowohl einfache als auch komplexere Räume mit mehreren Rängen erstellt werden. Sind die Raummaße eingetragen werden die passenden Lautsprecher ausgewählt.

Aufgrund der Raumgröße kommen als PA-System zwei LineArray-Systeme der Y-Serie zum Einsatz, welche sich für die Beschallung von kleineren und mittelgroßen Räumlichkeiten anbieten. Die Anzahl der Lautsprecher richtet sich nach der zu beschallenden Fläche. Bei der Planung und Berechnung des Systems kann von 100-110dB Schalldruckpegel ausgegangen werden, der beim Publikum ankommen soll.⁷¹ Um über die komplette Länge des Raums diesen Schalldruckpegel erbringen zu können, wird ein LineArray aus sechs Lautsprechern des Typs Y8 zusammengestellt. Die Y8-Lautsprecher bestehen aus zwei 8 Zoll Treibern und einem 1,4 Zoll Treiber. Der horizontale Abstrahlwinkel beträgt 80°.⁷² Wie in Abbildung 25 zu erkennen ist, sollte der Abstrahlwinkel keinesfalls größer sein, da ansonsten mit sehr starken Reflexionen von den Wänden zu rechnen wäre. Um die Reflexionen weiter abzuflachen werden die Systeme leicht nach innen gedreht. Das blaue Rechteck stellt die zu beschallende Fläche dar.

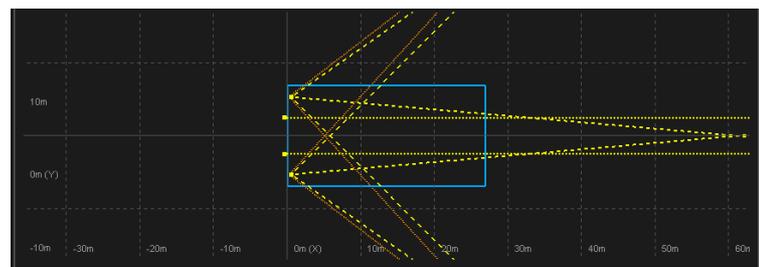


Abbildung 25: Horizontaler Abstrahlwinkel der LineArray-Systeme

In vertikaler Richtung werden die Lautsprecher so ausgerichtet, dass der obere Lautsprecher auf das Ende des Publikumsbereichs gerichtet ist, möglichst aber nicht auf die Wandfläche der Rückseite um Reflexionen zurück zur Bühne zu vermeiden. Abbildung 26 zeigt die weiteren Lautsprecher, welche in Bezug zum oberen Lautsprecher verwinkelt angeordnet werden, damit möglichst über die komplette Raumlänge eine gleichmäßige Schalldruckpegelverteilung erreicht wird.

⁷¹ Vgl. Adler (2016:7)

⁷² Vgl. d&b Audiotechnik (2018c)

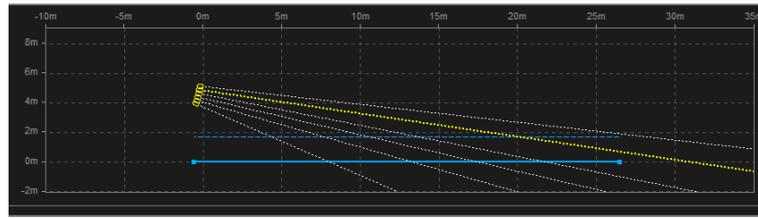


Abbildung 26: Vertikale Ausrichtung der einzelnen Lautsprecher

Die Schalldruckpegelverteilung wird ebenfalls für zwei wählbare Frequenzen angezeigt (Abbildung 27). In Bereichen, in denen die Kurven parallel zueinander verlaufen ist das Klangbild ausgewogen. An nicht parallellaufenden Stellen kommt es zu Abweichungen im Klangbild. Aus der Grafik geht hervor, dass dies in dieser Konfiguration im Bereich der ersten 5m der Fall ist. Dies hängt damit zusammen, dass das Line Array-System die ersten 5m nicht direkt beschallt. Dies kann jedoch vernachlässigt werden, da zusätzlich Nearfield-Lautsprecher auf der Bühnenkante aufgestellt werden, um den vorderen Publikumsbereich zu beschallen.

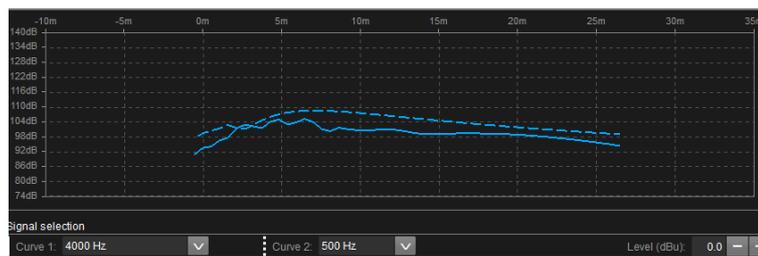


Abbildung 27: Schalldruckpegelverteilung über die Raumlänge bei 4000Hz und 500Hz

Um das Klangbild über die gesamte Fläche noch weiter anzugleichen, können die einzelnen Lautsprecher mittels Array Processing weiter optimiert werden. Jede Frequenz benötigt für eine gleichbleibende Wiedergabe über die Fläche grundsätzlich eine unterschiedliche Anordnung der einzelnen Lautsprecher eines Arrays zueinander. Da dies mechanisch nicht möglich ist, berechnet ArrayCalc für mehrere Punkte im Raum die optimale Anordnung der einzelnen Lautsprecher für eine Vielzahl von Frequenzen.

Abbildung 28 zeigt den Vergleich der Frequenzgänge an den Punkten mit und ohne Array-Processing. Über eine Kombination von FIR- und IIR-Filtern werden die einzelnen Lautsprecher während des Betriebs, abhängig von der ausgespielten Frequenz, virtuell verschoben. Durch diese Berechnungen wird das Signal um 5,9ms verzögert.⁷³

⁷³ Vgl. d&b Audiotechnik (2018a)

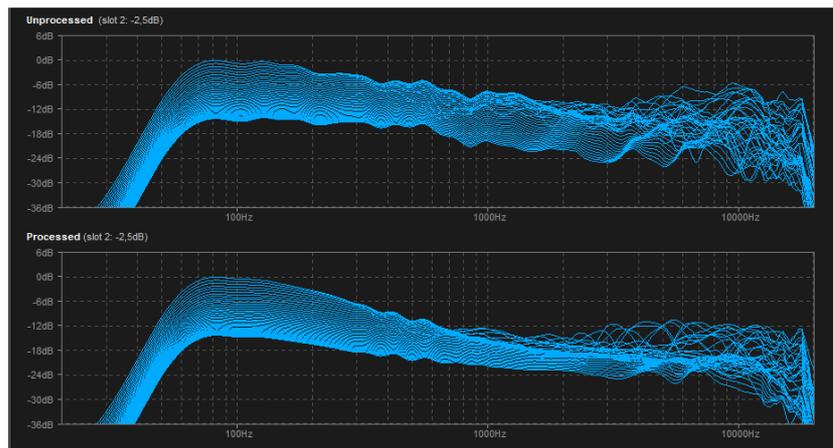


Abbildung 28: Frequenzgang mit und ohne Array-Processing

Wie bereits angesprochen kommen für den vorderen Publikumsbereich Nearfield-Lautsprecher zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um d&b Lautsprecher des Typs Y10P. Diese bestehen, wie auch die LineArray-Module aus zwei 8 Zoll Treibern und einem 1,4 Zoll Treiber. Der horizontale Abstrahlwinkel beträgt 110° , der Vertikale 40° .⁷⁴ Der große horizontale Abstrahlwinkel ist von Vorteil, da mit einem Lautsprecher eine sehr breite Fläche beschallt werden kann.

Neben der Beschallung der vorderen Reihen kann über die Nearfield-Lautsprecher auch die Ortung zur Bühne aufrechterhalten werden. Dieses Verfahren wurde im Kapitel Aufbaukonzepte erläutert.

Die Lautsprecher werden liegend auf der Bühnenkante positioniert. Insgesamt kommen vier dieser Lautsprecher zum Einsatz um den vorderen Publikumsbereich zu beschallen.

Abbildung 29 zeigt die Schalldruckpegelverteilung der Nearfield-Lautsprecher, welche vorrangig auf den vorderen Publikumsbereich ausgerichtet sind.

⁷⁴ Vgl. d&b Audiotechnik (2018b)

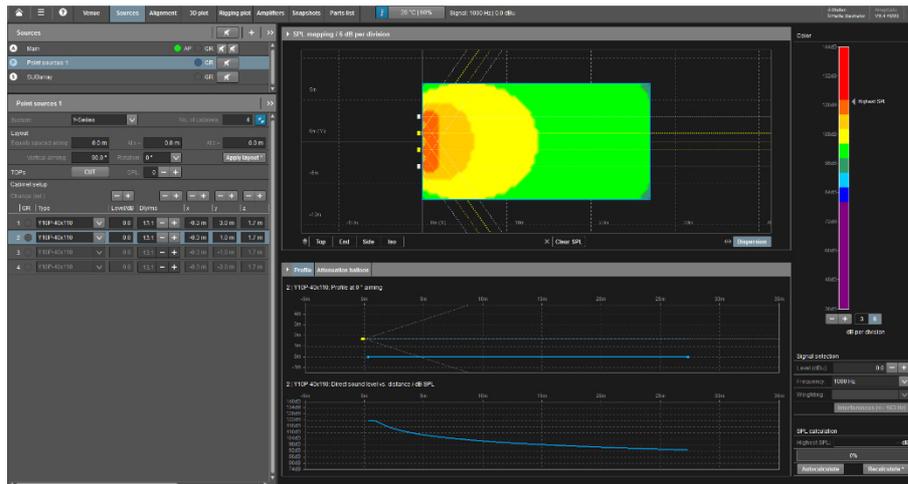


Abbildung 29: Positionierung und Schalldruckpegelverteilung der Nahfeld-Lautsprecher

Sowohl das LineArray als auch die Nearfield-Lautsprecher eignen sich gut um den mittleren und hohen Frequenzbereich abzubilden, jedoch mangelt es diesen Lautsprechern an der Abbildung von tiefen Frequenzen unterhalb 150Hz. Daher wird ein Subwoofer Array für das PA-System eingeplant, welches diesen unteren Frequenzbereich abdeckt.

Dieses besteht aus vier Subwoofern des Typs Y-Sub von d&b. Der Y-Sub ist ein Cardioid-Subwoofer und besteht aus einem 18 Zoll Treiber welcher in Frontalrichtung abstrahlt sowie einem nach hinten abstrahlenden 12 Zoll Treiber.⁷⁵ Die vier Subwoofer werden in Abständen von zwei Metern vor der Bühne positioniert. Um die seitliche Abstrahlung zu minimieren, werden die äußeren Subwoofer um 1,2ms verzögert. Wie in Abbildung 30 zu erkennen ist, wird die Schalldruckpegelverteilung somit auf die Publikumsfläche konzentriert.

⁷⁵ Vgl. d&b Audiotechnik (2018d)

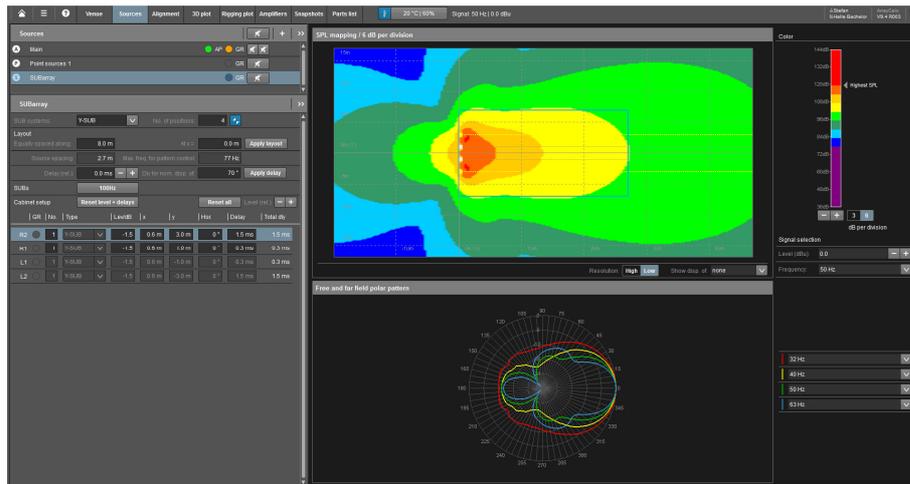


Abbildung 30: Positionierung und Schallpegelverteilung der Subwoofer

Sind alle Lautsprecher für das PA-System ausgewählt und konfiguriert, ist eine zeitliche Anpassung der einzelnen Teilsysteme erforderlich. Die Teilsysteme müssen abhängig zu ihrer Positionierung im Raum zueinander verzögert werden um die korrekte Ortung zur Bühne zu bewahren und Interferenzen zu vermeiden. Auch hierbei ist Array Calc behilflich. Abbildung 31 zeigt die Benutzeroberfläche zur Delay-Einstellung. In der linken Grafik kann ein beliebiger Punkt auf der zu beschallenden Fläche ausgewählt werden. Die rechte Grafik zeigt die benötigte Zeit des Schalls eines jeden Lautsprechers zum Erreichen dieses Punktes, sowie deren Schalldruckpegel an. Über den Einstellbereich unterhalb der rechten Grafik kann das gewünschte Delay der Teilsysteme eingestellt werden. In diesem Fall beträgt das Delay zwischen den inneren Nearfield-Lautsprechern (rot) und Line-Arrays (blau) ungefähr 20ms. Somit sollte die Ortung zur Bühne an diesem Punkt gewahrt bleiben. Diese Einstellung sollte an mehreren relevanten Punkten auf der Fläche wiederholt werden, um in möglichst gutes Ergebnis zu erreichen.

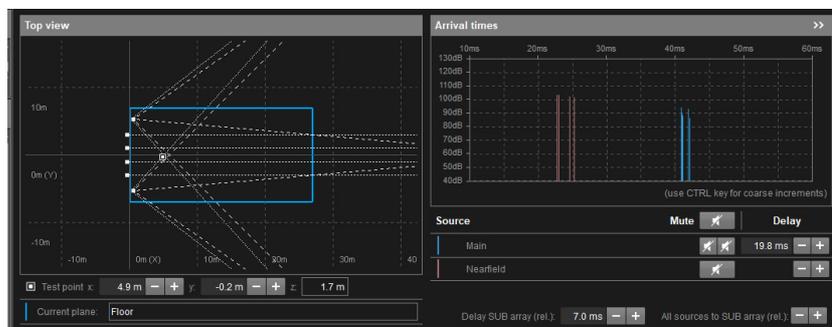


Abbildung 31: Delay-Einstellungen der Teilsysteme

Durch den Einsatz mehrerer Lautsprecher zur Darstellung des kompletten Frequenzbereichs, muss im Bereich der Übergangsfrequenz zwischen 50 und 125Hz auf die Phasenlage der Teilsysteme geachtet werden. Diese können ebenfalls mit Hilfe einer zeitlichen Verzögerung aufeinander abgestimmt werden. Wie in Abbildung 32 ersichtlich ist, kann auch hier ein Punkt auf der Fläche ausgewählt werden und dann mittels Delay die Phasenlage der Teilsysteme aufeinander abgestimmt werden. Somit ist ein sauberer Übergang zwischen den Lautsprechern gegeben.

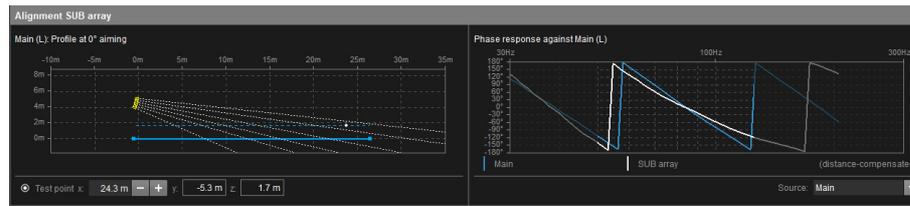


Abbildung 32: Anpassung des Phasengangs

Ist die zeitliche Verzögerung eingerichtet, sind die Lautsprecher fertig konfiguriert. Zur Kontrolle der Schalldruckpegelverteilung kann in ArrayCalc der Schalldruckpegel des kompletten PA-Systems bei verschiedenen Frequenzen dargestellt werden. In Abbildung 33 werden die Schalldruckpegel bei 63Hz, 250 Hz, 2000Hz sowie 10000Hz dargestellt.

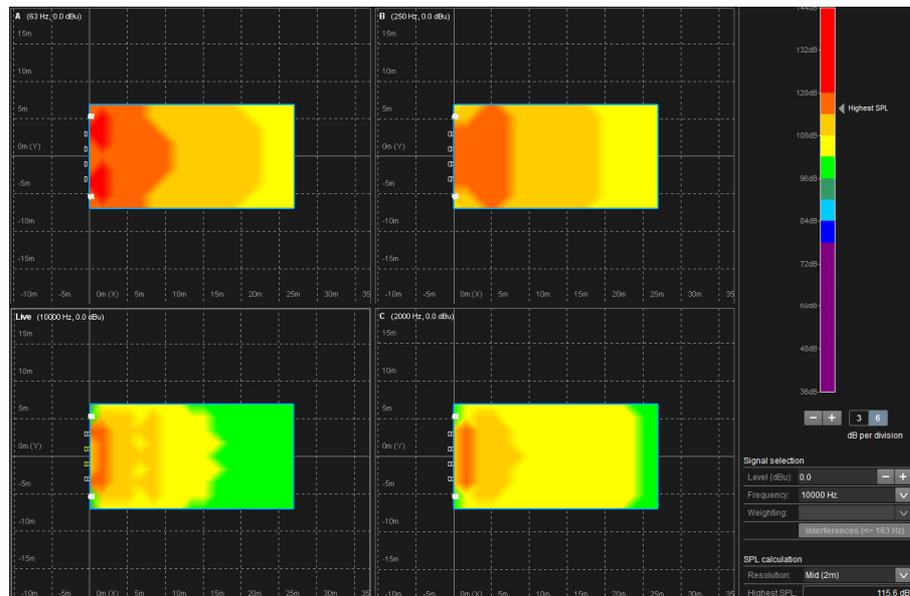


Abbildung 33: Schalldruckpegelverteilung bei mehreren Frequenzen

Leistungsverstärker

Ist die Planung der Lautsprecher abgeschlossen, können mit Hilfe von ArrayCalc auch die zum Betrieb benötigten Leistungsverstärker konfiguriert werden. Dazu können die zum Einsatz kommenden Leistungsverstärkertypen ausgewählt und den Lautsprechern entsprechend zugewiesen werden. Für das PA-System kommen sechs Verstärker des Typs D20 mit jeweils vier Ausgangskanälen zum Einsatz.

PA-Systeme werden in der Regel in Stereo realisiert, somit ergibt sich bei korrektem Panning der Signale eine akustische Ortung, welche der Position der Schallquelle auf der Bühne entspricht. Das Panning sollte allerdings möglichst dezent verwendet werden, da es ansonsten je nach Position zu negativen Änderungen des Gesamtklangs kommen kann. Wird beispielsweise bei einer breiten Bühne ein Signal stark nach links gepannt, wird dieses vom Publikum auf der rechten Seite möglicherweise nicht mehr wahrgenommen.

Eine weitere Problematik entsteht bei der Verwendung von Nearfield-Lautsprechern. Um auch dem Publikum direkt vor der Bühne ein stereofones Klangbild zu liefern werden diese Lautsprecher ebenfalls in Stereo aufgebaut. Die Balanceverteilung wird dabei wie in Abbildung 34 aufgezeigt angewendet. Durch diese Variante wird zwar die räumliche Ortung gestört, dies wird jedoch zu Gunsten des Stereobildes toleriert.

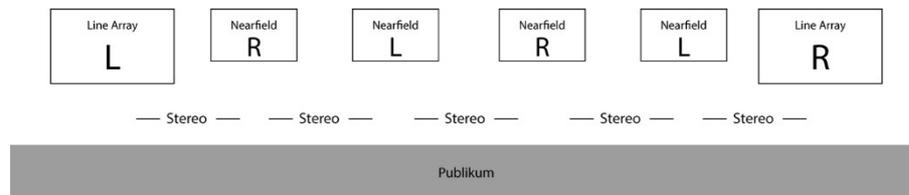


Abbildung 34: Balanceverteilung des PA-Systems

Diese Besonderheit muss bei der Einrichtung der Leistungsverstärker für die Nearfield-Lautsprecher berücksichtigt werden, da sowohl das linke als auch das rechte Summensignal an dem jeweiligen Leistungsverstärker anliegen muss. In Anhang G ist die komplette Kanalverteilung der Leistungsverstärker aufgeführt.

Die Leistungsverstärker von d&b bieten die Möglichkeit der Fernsteuerung. Hierzu können diese über ein Cat-Kabel in ein Netzwerk eingebunden werden und über die von d&b angebotene Software R1 gesteuert werden. Die Daten der konfigurierten Verstärker in ArrayCalc können in R1 übertragen werden und von dort direkt zu den Verstärkern gesendet werden. Somit entfällt die händische Konfiguration.

Monitorsystem

Dem Bühnenplan ist zu entnehmen, dass alle Musiker, bis auf den Schlagzeuger mittels Monitor Wedges versorgt werden. Hierfür kommen vier Lautsprecher des Typs M6 zum Einsatz. Diese verfügen über einen 12 Zoll und einen 1,3 Zoll Treiber. Der Abstrahlwinkel beträgt 50° x 80°. Um die Signale zu verstärken kommt hier ebenfalls ein Leistungsverstärker des Typs D20 zum Einsatz. Jeder Lautsprecher wird über eine eigene Mischpultsumme angesteuert, damit alle Musiker individuelle Mischungen erhalten. Das Monitoring des Schlagzeugers erfolgt über einen In-Ear Kopfhörer-Verstärker.

7.1.3.2 Mikrofone

Im Folgenden soll die Mikrofonierung auf der Bühne näher erläutert werden. Zur Auswahl der Mikrofone kann der Bühnenplan der Band zur Hand genommen werden. Anhand dessen ist die Anzahl und Auswahl der Mikrofone zu treffen.

Drums

Die aufwändigste Mikrofonierung erfolgt üblicherweise am Schlagzeug. Wie dem Bühnenplan zu entnehmen ist, verfügt das eingesetzte Schlagzeug über eine Bassdrum, eine Snare, zwei Hängetoms, ein Standtom, ein HiHat, zwei Crash-Becken und ein Ride-Becken.

Die Mikrofonierung des Schlagzeugs wird wie folgt umgesetzt:

Bassdrum

Die Bassdrum verfügt über eine Öffnung im Resonanzfell. Somit ist es möglich das beziehungsweise die Mikrofone in der Bassdrum zu platzieren. Für die Bassdrum kommen, entgegen des Bühnenplans zwei Mikrofone zum Einsatz. Einerseits ein Shure Beta 52A, welches in Höhe des Resonanzfells angebracht wird. Dieses liefert das Volumen des Klangs, sowie ein Shure Beta 91A Grenzflächenmikrofon, welches innerhalb der Bassdrum angebracht wird und die Attack der Bassdrum liefert.

Snare

Bei der Snare ist es möglich, diese sowohl mit einem oder auch mit zwei Mikrofonen abzunehmen. Grundsätzlich genügt ein Mikrofon, welches auf das obere Fell gerichtet ist. Jedoch sollte dieses nicht zu nahe am Fell beziehungsweise über dem Fell positioniert werden, da hierdurch der Klanganteil des Spiralteppichs, welcher sich am unteren Fell befindet, zu gering wäre. Um die volle Kontrolle des Verhältnisses

zwischen oberem und unterem Fell zu haben, ist es ratsam, jeweils oben und unten an der Snare ein Mikrofon zu positionieren. Somit kann das Verhältnis jederzeit am Mischpult verändert werden.

Aus diesem Grund kommen zur Abnahme der Snare zwei Shure SM57 zum Einsatz. Das obere Mikrofon liefert die Attack, das untere Mikrofon rundet den Klang mit Hilfe des Teppichs ab.

Wichtig ist, dass die Phase des unteren Mikrofons gedreht wird, da es sonst zu Signalauslöschungen kommen kann.

HiHat

Neben der Bassdrum und der Snare ist die HiHat der dritte wichtige Teil, welcher beim Schlagzeugspiel Priorität hat. Daher wird auch diese mit einem eigenen Mikrofon abgenommen.

Für die HiHat kommt ein Kondensatormikrofon des Typs Neumann KM184 zum Einsatz. Kondensatormikrofon deshalb, da dieses die Höhen präsenter abbildet als ein dynamisches Mikrofon.

OverHead-Mikrofone

Je nach Anzahl der verwendeten Mikrofone zur Abnahme des Schlagzeugs, können die OverHead-Mikrofone als Hauptmikrofon oder, wie in diesem Fall zur Abnahme der Becken dienen. Hierbei kommen zwei Mikrofone zum Einsatz.

Wie bereits bei der HiHat, werden hier zwei Neumann KM184 eingesetzt. Die OverHead-Mikrofone werden nach links und rechts gepannt. Da auch die Snare und die Toms auf die OverHead-Mikrofone übersprechen, stellt sich die Frage, wie die beiden Mikrofone aufgestellt werden müssen, um die Snare in der Mitte des Panoramas zu halten. Hierzu kann es helfen, die beiden Mikrofone mittels gedachtem, gleichschenkligen Dreieck zwischen Mikrofonen und Snare zu positionieren. Somit ist gewährleistet, dass diese sich beim Panning der OverHead-Mikrofone weiterhin in der Mitte befindet.

Toms

Die Toms werden auch jeweils einzeln abgenommen. Die Mikrofonposition befindet sich hierbei über dem oberen Fell. „Als günstige Position für ein Tommikrofon hat sich der äußere Rand, ausgerichtet in etwa auf die Mitte des Fells erwiesen.“⁷⁶

⁷⁶ Albrecht (2010:29)

An den drei Toms wird jeweils ein Sennheiser e904 eingesetzt, welches, dank Klippvorrichtung, direkt an den Toms angebracht werden kann. Dies bietet sich an, da die Positionierung der Mikrofonständer zwischen den Beckenständern oft recht schwierig ist.

E-Bass

Der E-Bass bildet das Grundgerüst des Bandklangs. Die Abnahme des Basses erfolgt in der Regel über eine DI-Box, da die Klangeigenschaften, welche der Basslautsprecher liefert für den Sound nicht relevant sind. Dadurch entsteht der Vorteil eines sauber am Mischpult anliegenden Signals und Wegnahme einer weiteren, möglichen Rückkopplungsquelle. Beim Bass gibt es mehrere Möglichkeiten der Abnahme mittels einer DI-Box. Zum einen kann eine DI-Box in den Signalweg zwischen Instrument und Bassverstärker eingefügt werden, andererseits verfügen viele Bassverstärker über eine eingebaute DI-Box. Hierbei besteht die Wahl zwischen Pre- oder Post-EQ, des eingebauten Equalizers. In diesem Fall erfolgt die Abnahme über die DI-Box des Verstärkers Pre-EQ, um so die volle Kontrolle über den Basssound zu haben.

E-Gitarre

Anders als bei der Abnahme des E-Basses, sollte bei der E-Gitarre eine Mikrofonierung des Gitarrenverstärkers bevorzugt werden, da dieser ausschlaggebend für die Klangentwicklung des Gitarrensounds ist.

In diesem Beispiel wird der Gitarrenverstärker mittels eines Shure SM57 abgenommen. Dabei ist die Position des Mikrofons vor der Lautsprechermembran für den Klang entscheidend. Standardmäßig wird das Mikrofon mittig zwischen Membranmittelpunkt und Membrankante positioniert. Eine Verschiebung des Mikrofons nach außen bewirkt eine Klangveränderung zu Gunsten des tiefen Bereichs, eine Verschiebung in Richtung Mittelpunkt rückt die hohen Frequenzen in den Vordergrund.

Keyboard

Ähnlich der Abnahme des E-Basses verfügt das Keyboard über einen Stereo-Line Ausgang. Das Signal wird mittels zweier externer DI Boxen symmetriert und an der Stagebox angeschlossen.

Gesang

Für den Leadgesang kommt ein Sennheiser EW 100-935 G3 Drahtlossystem zum Einsatz. Bei der E935-Kapsel handelt es sich um eine dynamische Kapsel mit Nierencharakteristik.

Für den Hintergrundgesang kommen insgesamt drei Shure SM58 Mikrofone zum Einsatz. Diese können als das Standardmikrofon unter den Gesangsmikrofonen gesehen werden.

7.1.3.3 Mischpult

Aus den Überlegungen zur Mikrofonierung geht hervor, dass 18 Eingangssignale von der Bühne verarbeitet werden müssen. Für das PA-System werden insgesamt fünf Ausgänge benötigt sowie weitere fünf für das komplette Monitorsystem. Mit Hilfe dieser Informationen kann die Auswahl des Mischpults getroffen werden.

Als Mischpult kommt ein Soundcraft SI Impact zum Einsatz. Dieses digitale Mischpult verfügt über 32 Mikrofonvorverstärker und 16 analoge Ausgänge. Die vorhandenen Schnittstellen lassen sich über zusätzliche Einschubkarten erweitern. Werksseitig ist bereits eine Einschubkarte mit einer MADI-Schnittstelle und einem USB-Audiointerface zur Übertragung von je 32x32 Audiokanälen verbaut. Zur Steuerung stehen 4 Layer mit jeweils 24 frei belegbaren Fadern zur Verfügung. Im gesamten lassen sich 32 Mono- und 4 Stereo-Eingangskanäle sowie 16 Ausgangskanäle frei belegen.

Das Mischpult wird sowohl für die Mischung des PA-Systems sowie für die Monitormischungen eingesetzt. Positioniert wird es mittig im Publikumsbereich. Daher finden die analogen Mikrofoneingänge sowie Mischpultausgänge keine Anwendung. Zur Signalübertragung zwischen dem FoH und der Bühne kommt DANTE zum Einsatz. Hierzu wird im Mischpult eine weitere Erweiterungskarte mit DANTE-Schnittstelle verbaut (Abbildung 35).



Abbildung 35: Erweiterungskarten für MADI, USB und DANTE

Die Verkabelung zwischen Mischpult und der, auf der Bühne platzierten, Stagebox erfolgt mittels Cat5-Kabeln mit EtherCon-Steckverbinder. Um einen Signalausfall auszuschließen wird redundant gearbeitet und zwei dieser Kabel eingepant.

Durch den Einsatz des digitalen Mischpults, kann die Konfiguration des Pults bereits im Vorfeld der Veranstaltung erfolgen. Durch diese Vorgehensweise, kann vor Ort Zeit eingespart werden, da nur Korrekturen hinsichtlich des Klangs vorzunehmen sind.

Im Folgenden soll die Konfiguration des DANTE-Systems und des Mischpults erläutert werden.

Konfiguration von DANTE

Wie im Kapitel Signalübertragung beschrieben, handelt es sich bei DANTE um ein Audionetzwerk. Zur Konfiguration des Audionetzwerks wird die Software DANTE Controller verwendet.

Dazu wird der Computer auf dem die Software installiert ist gemeinsam mit den anderen DANTE-fähigen Geräten zu einem Netzwerk verbunden. Nach dem Start des DANTE Controllers werden, wie in Abbildung 36 zu erkennen, alle verfügbaren Geräte angezeigt. In diesem Fall sind dies der Computer für einen Audiomitschnitt, das Mischpult und die Stagebox.

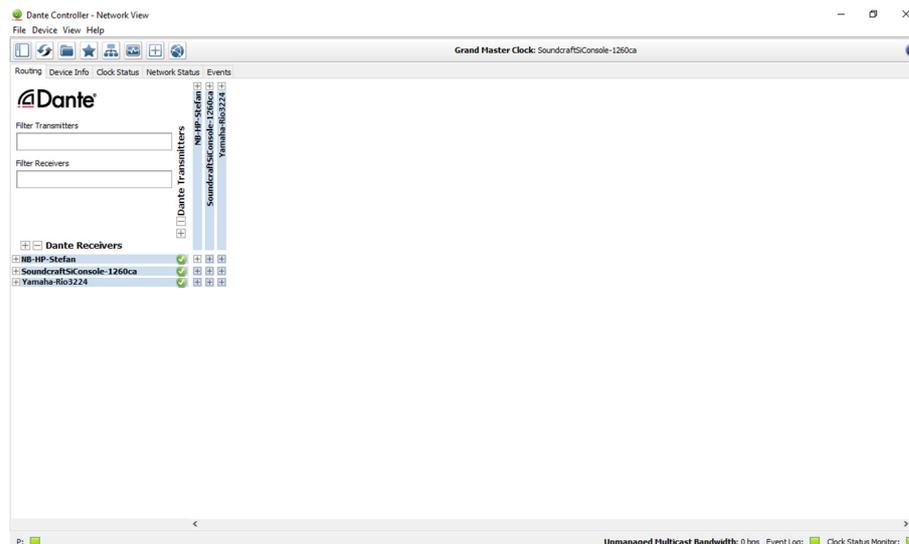


Abbildung 36: Benutzeroberfläche des DANTE Controllers

Zu Beginn muss über den Tab Clock Status die Masterclock des Systems gewählt werden. In diesem Fall bildet das Mischpult die Masterclock. Anschließend kann mit dem Routing der Signale begonnen werden. Verbindungsknotenpunkte können hierbei ganz einfach mittels Doppelklick erstellt werden.

Die Verbindungen werden in diesem Fall wie folgt gesetzt:

- Die 32 Mikrofoneingänge der Stagebox werden verbunden mit
 - den ersten 32 Eingängen des Mitschnittcomputers
 - den ersten 32 Eingängen des Mischpults
- Die ersten 16 DANTE-Ausgänge am Mischpult werden verbunden mit
 - den 16 Ausgängen der Stagebox

Die Ausgänge des Computers finden keine Anwendung, da hiermit ausschließlich ein Audiomitschnitt erstellt werden soll.

Es kommt das sogenannte 1-zu-1-Routing zur Anwendung. Das bedeutet, dass der erste Eingang auf den ersten Ausgang, der zweite Eingang auf den zweiten Ausgang und so weiter verbunden werden. Dieses Verfahren hat den Vorteil, dass es sehr leicht zu überblicken ist. Die fertige Routingmatrix ist als Anhang E angehängt. Da es sich um ein sehr kleines DANTE-Netzwerk handelt ist die Konfiguration relativ einfach umzusetzen.

Konfiguration des Mischpults

Die Einrichtung des Mischpults gestaltet sich etwas umfangreicher. Zu Beginn sollte ein Spurenplan für alle Ein- und Ausgänge angelegt werden (Anhang C). Anhand des Plans wird das Mischpult konfiguriert. Handelt es sich um ein fremdes Pult ist es ratsam, die Einrichtung auf Grundlage eines neuen, leeren Projekts zu beginnen, um später keine unerwarteten Überraschungen zu erleben.

Folgende Punkte werden im Anschluss nacheinander eingerichtet:

- Benennung und Routing der Eingangs- und Ausgangssignale
Jedem der 32 Eingangs- und 16 Ausgangskanäle muss die passende Quelle zugewiesen werden (Abbildung 37). DANTE65 spiegelt den ersten Eingang über die DANTE-Erweiterungskarte wieder. Die Erweiterungskarten-Eingänge 1-64 sind bereits für MAD1 und USB vergeben.

INPUT 01 SETUP	
General	
- Input Name	BD PZM
- Isolate	Disabled
- Type	Mono
- Pan Mode	LR
- LCR Pan Width	0 %
- DirectOut Pre/Post	Unused
Patching	
- Input Patch	DANTE65
- DirectOut Patch	Unused

Abbildung 37: Kanalmaske des Soundcraft SI Impact

- Erstellen von VCA-Gruppen
Um beim Mischen nicht jedes Signal einzeln anpassen zu müssen, können VCA-Gruppen angelegt werden mit deren Hilfe mehrere Fader gleichzeitig gesteuert werden können. Ein Beispiel für eine VCA-Gruppe ist beispielsweise das Gruppieren aller Schlagzeugmikrofone. Somit ist das Anpassen der Gesamtlautstärke über einen Fader möglich. Dabei wird jedoch nicht das eigentliche Audiosignal über die VCA-Gruppe geleitet. Die Fader der einzelnen Kanäle werden über eine Steuerspannung vom VCA-Fader ferngesteuert.
- Belegung der Faderlayer
Die Belegung der Layer sollte so gewählt werden, dass diese gut zu überblicken sind und ein schneller Zugriff auf die einzelnen Signale möglich ist.
 - Auf Layer A finden alle Mikrofoneingänge Platz inklusive der erstellten VCA-Masterfader.

Die Anordnung der Instrumente erfolgt nach Instrumentengruppen, beginnend mit dem Schlagzeug.

Die Anordnung der Gesangsmikrofone wird wiederum anhand der Bühnenanordnung durchgeführt. Diese erfolgt je nach Platzierung der Bandmitglieder von links nach rechts.

- Auf Layer B sind die Sends und Returns der vier integrierten Effektprozessoren untergebracht.
- Auf Layer C befinden sich die Masterfader der Monitormischungen und der Nearfield-Lautsprecher.

Die Anordnung der Masterfader erfolgt ebenfalls nach der Platzierung der Bandmitglieder von links nach rechts.

Des Weiteren sind dort auch die Kanäle für die Messtechnik untergebracht.

- Layer D findet in diesem Setup keine Verwendung

Fotografien der einzelnen Layer dieser Mischpultkonfiguration sind in Anhang F zu finden.

- Voreinstellung der Kompressoren

Für die Kompressoren können schon im Vorfeld gewisse Standardwerte angelegt werden, welche später bei Bedarf lediglich angepasst werden müssen.

Die Standardeinstellungen sehen wie folgt aus:⁷⁷

- *Attack:* ca. 20ms (außer Drums)
- *Release:* ca. 100ms
- *Threshold:* ca. -20dB
- *Ratio:* ca. 3
- *Gain:* ca. 5dB

Sowohl die Eingangskanäle als auch die Stereosumme erhalten im Vorfeld diese Kompressor-Einstellungen. Die Monitormischungen benötigen keinen Kompressor. Durch die impulsartigen Signale der Drums, sollten die Attack-Zeiten dieser Kanäle wesentlich kürzer eingestellt werden.

- Einrichten der Parallelkompression

Neben einer leichten Kompression in dem jeweiligen Kanal, kann das Signal über einen zusätzlichen Auxweg geführt werden. Dieser Auxweg erhält eine starke Kompression und wird der Stereosumme beigemischt. Diese Variante der Kompression verstärkt leise Stellen im Signal. Dies ist besonders beim

⁷⁷ Adler (2016:31)

Gesang zu empfehlen, da der Gesang in der Gesamtmischung dadurch an Präsenz gewinnt.

Die Standardeinstellungen sehen wie folgt aus:⁷⁸

- *Attack:* ca. 0,1ms
- *Release:* ca. 500ms
- *Threshold:* ca. -40dB
- *Ratio:* ca. 8
- *Gain:* ca. 20dB

Sind diese Punkte abgearbeitet ist das Pult für den Einsatz vorbereitet. Um die Einstellungen zu sichern, müssen diese natürlich im Pult abgespeichert werden. Als Backup sollten die Daten zusätzlich auf einem USB Stick gespeichert werden. Somit könnte bei einem Defekt auf ein Pult des gleichen Typs ohne Datenverlust zurückgegriffen werden.

Der komplette Signalfluss zwischen den einzelnen Geräten des Projekts ist in Anhang D grafisch aufgearbeitet.

7.2 Durchführung

Ist die Planung abgeschlossen und das Konzert rückt näher beginnt die entscheidende Phase der Produktion. Jetzt zeigt sich, ob die Planung korrekt ausgeführt wurde. Bevor es mit dem Konzert losgehen kann, stehen aber noch jede Menge Aufgaben hinsichtlich des Aufbaus und der Einrichtung des Beschallungssystems bevor.

7.2.1 Aufbau

Die Tätigkeiten beim Aufbau werden im Folgenden nur am Rande betrachtet. Das Augenmerk richtet sich auf die Einrichtung des Beschallungssystems und den weiteren Ablauf.

Dennoch soll auf die Punkte Stromversorgung, Bühnenordnung und Übersicht beim Aufbau eingegangen werden, da diese sicherheitsrelevant sind, sowie die Arbeit während der Veranstaltung vereinfachen können.

⁷⁸ Adler (2016:31f)

7.2.1.1 Stromversorgung

Die Stromversorgung der Audiogeräte sollte getrennt von allen anderen Verbrauchern erfolgen. Ansonsten kann dies zu hörbaren Störungen führen. Des Weiteren sollte auch darauf geachtet werden, dass alle Audiogeräte von nur einem Punkt aus versorgt werden, da Potentialunterschiede und die verschiedenen Nullleiter zu Störungen führen können. Mit Hilfe der galvanischen Trennung kann dem Problem ebenfalls entgegengewirkt werden. Wird beispielsweise eine Stagebox über Lichtwellenleiter mit einem Mischpult verbunden, sorgt dies für eine galvanische Trennung, da der Lichtwellenleiter potenzialfrei ist.

Um Einstreuungen bei verlegten Kabeln zu vermeiden, sollten Audiokabel getrennt zu Kabeln für die Stromversorgung verlegt werden.

7.2.1.2 Ordnung auf der Bühne

Ein wichtiger Punkt bei einem Konzertaufbau ist die Ordnung, welche auf der Bühne herrschen sollte. Generell ist es bei Konzerten auf der Bühne verhältnismäßig dunkel und die Musiker sind von Scheinwerfern geblendet. Daher sollten Kabel stets so gelegt werden, dass sich diese nicht in den Laufwegen der Musiker befinden um keine Stolperfalle darzustellen.

7.2.1.3 Übersichtlichkeit

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Übersichtlichkeit des Aufbaus. Die Verkabelung sollte so erledigt werden, dass die Signalwege erkennbar sind um im Störfall schnell eingreifen zu können. Auch bei der Einrichtung des Mischpults sollte auf eine gewisse Übersichtlichkeit geachtet werden, um auch hier ohne langes Überlegen schnell eingreifen zu können.

7.2.2 Einmessen des Beschallungssystems

Nachdem alle Geräte und Lautsprecher aufgebaut und verkabelt sind, kann mit dem Einmessen des Beschallungssystems begonnen werden. Dies ist notwendig um die einzelnen Komponenten aufeinander abzustimmen und die gesamte Anlage auf den Veranstaltungsraum und dessen Akustik anzupassen.

Um objektive Ergebnisse zu erhalten, wird beim Einmessen ein Rauschsignal verwendet. Statistisch gesehen sind in einem Rauschsignal alle Frequenzen gleichermaßen vorhanden. Jedoch gibt es verschiedene Arten von Rauschen, welche sich durch ihre Amplitudenauslenkung unterscheiden.

Weißes Rauschen

Beim weißen Rauschen ist die Amplitudenauslenkung über alle Frequenzen hinweg konstant (Abbildung 38).

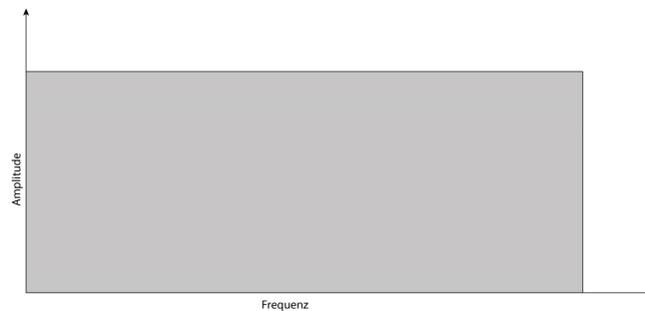


Abbildung 38: Weißes Rauschen

Durch die Lautstärkewahrnehmung des menschlichen Gehörs wird das weiße Rauschen wahrgenommen, als ob die Amplitudenauslenkung zu höheren Frequenzen zunimmt. Dies ist jedoch nicht der Fall. Dieser Wahrnehmungsfehler wird im Rosa Rauschen kompensiert.

Rosa Rauschen

Die Amplitudenauslenkung beim rosa Rauschen nimmt mit zunehmender Frequenz ab. Genauer gesagt halbiert sich die Leistungsdichte bei einer Verdopplung der Frequenz (Abbildung 39). Pro Oktave nimmt der Schalleistungspegel also um 3dB ab.⁷⁹ Daher wird es auch als $1/f$ -Rauschen bezeichnet. Für das Einmessen des Beschallungssystems wird dieses Rauschsignal verwendet.

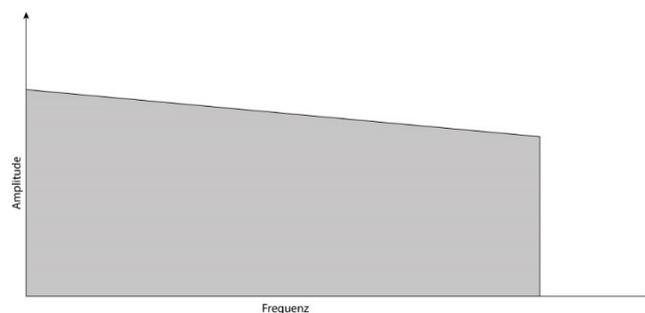


Abbildung 39: Rosa Rauschen

⁷⁹ Vgl. Smyrek (2016:407)

Braunes Rauschen

Ähnlich dem rosa Rauschen nimmt auch beim braunen Rauschen die Amplitudenauslenkung mit steigender Frequenz ab. Jedoch beträgt diese bei einer Verdopplung der Frequenz nicht die Hälfte, sondern nur noch ein Viertel der Ausgangsleistung (Abbildung 40). Der Schallleistungspegel nimmt pro Oktave 6dB ab.⁸⁰ Daher wird dieses Rauschen auch $1/f^2$ -Rauschen genannt.

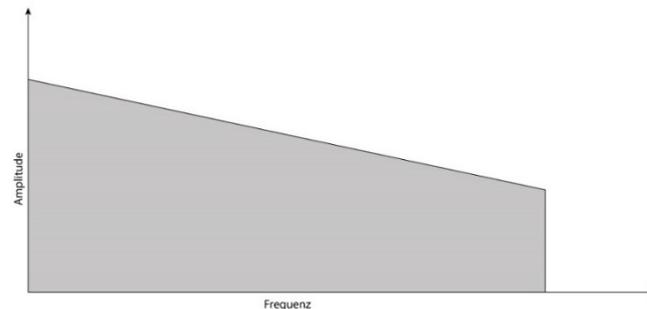


Abbildung 40: Braunes Rauschen

7.2.2.1 Linearisierung des Systems

Wie bereits erwähnt soll das System durch das Einmessen sowohl in sich selbst als auch auf den Raum abgestimmt werden. Die Messung sollte mit der späteren Auspiellautstärke stattfinden. Dies hat den Hintergrund, dass bei der Linearisierung des Systems störende Raumresonanzen gefunden und beseitigt werden sollen. Ein weiterer Grund ist die Lautstärkewahrnehmung der verschiedenen Frequenzen bei unterschiedlichen Lautstärken. Dieses Verhalten wird mit den Kurven gleicher Lautstärke beschrieben. Wird dies nicht beachtet, ist das System nicht optimal linearisiert. Daraus ergibt sich eine zusätzliche Korrektur des unzureichend eingestellten Beschallungssystems beim Sound Check mittels der einzelnen Kanalequalizer.

Der Wiedergabefrequenzgang des Beschallungssystems sollte, über den gesamten Raum betrachtet, möglichst linear sein. Um dies zu gewährleisten, werden Messungen an unterschiedlichen Punkten im Raum durchgeführt. Als Messeinrichtung kommen Messsysteme mit Echtzeitanalyse zum Einsatz. Mittels rosa Rauschen, welches über die Lautsprecher ausgegeben wird und eines, an das Messsystem angeschlossenes, Messmikrofon erfolgt die Messung.

Bei der beschriebenen Produktion kommt die Software Smaart V8 des Herstellers Rational Acoustics in Verbindung mit einem Messmikrofon des Typs Behringer ECM

⁸⁰ Vgl. Smyrek (2016:408)

8000 zum Einsatz. Als Audiointerface wird das bereits im Mischpult integrierte Interface verwendet. Dem Messprogramm werden über zwei Eingänge des Audiointerfaces sowohl das Rauschsignal als auch das Mikrofonsignal zur Verfügung gestellt. Um eine synchrone Darstellung beider Eingangssignale zu erhalten, ist der Eingang mit dem Rauschsignal, abhängig vom Abstand zwischen Lautsprecher und Mikrofon zu verzögern.

Wird das Rauschsignal über das Beschallungssystem ausgespielt und vom Mikrofon aufgezeichnet, liefert das Messergebnis Überhöhungen und Absenkungen über den gesamten ausgegebenen Frequenzbereich, welche mittels des Summenequalizers ausgeglichen werden. Somit entsteht ein möglichst linearer Frequenzgang.

Die obere Grafik in Abbildung 41 zeigt den Vergleich zwischen dem ursprünglichen Rosa Rauschen (blau) und dem über das Beschallungssystem ausgespielten Rosa Rauschen (grün).

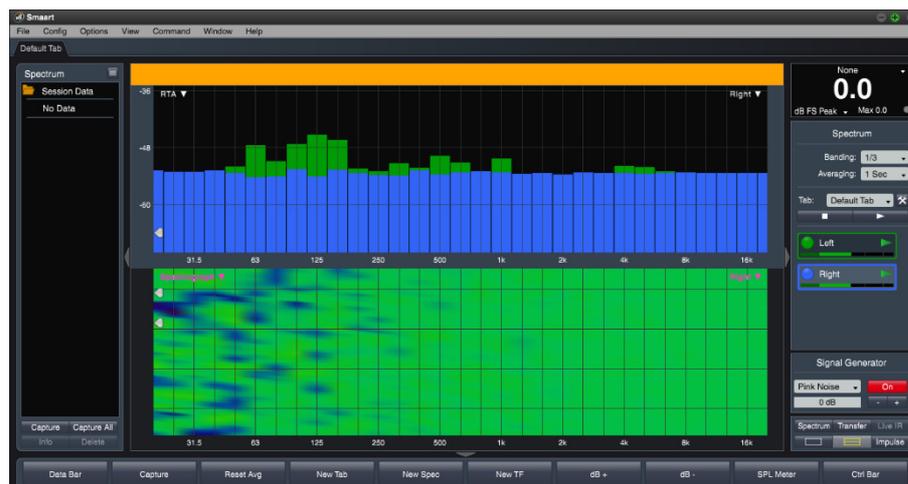


Abbildung 41: Messvorgang mit der Software SMAART V8 ohne Equalizer

Die sichtbaren grünen Bereiche stellen durch den Raum angeregte Frequenzen des ausgegebenen Signals dar, welche mit Hilfe des Summenequalizers angeglichen werden müssen. Dazu werden die einzelnen Frequenzbänder herausgefiltert, bis diese dem ursprünglichen Wert entsprechen. Abbildung 42 zeigt das ausgegebene Signal bei angeglichenem Frequenzgang. Dieses entspricht dem ursprünglichen Rauschsignal

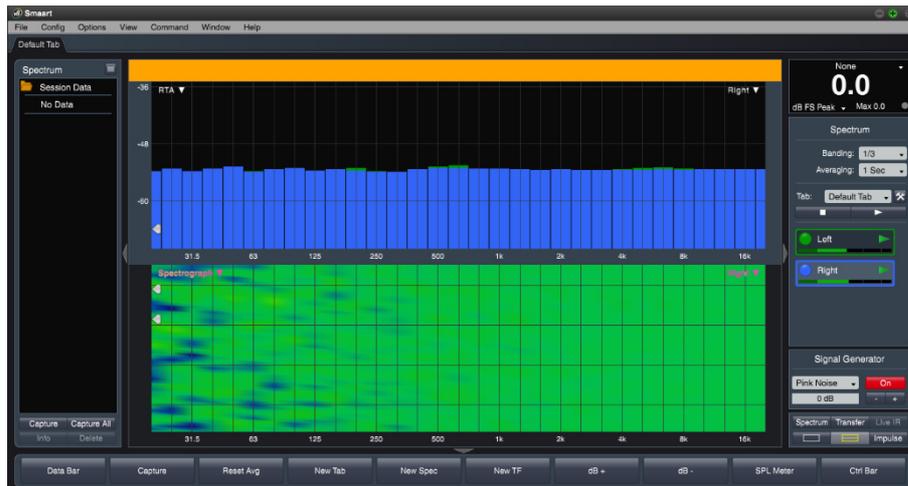


Abbildung 42: Messvorgang mit der Software SMAART V8 mit Equalizer

Neben dem Einmessen mit Hilfe des Messsystems kann und sollte das Ergebnis mit der eigenen Stimme überprüft werden. Hierzu wird ein Mikrofon mit bekanntem Klang verwendet. Mit Hilfe verschiedener nasaler Laute, sowie S-Lauten können störende Frequenzen gefunden und gefiltert werden. Eine Absenkung von 3 bis 6dB ist dabei in der Regel ausreichend.⁸¹ Wichtig ist, möglichst wenig zu Filtern, denn jeder Filter verursacht eine Phasenverschiebung. Abbildung 43 zeigt den korrigierten Summenequalizer der Line Array Summe.



Abbildung 43: Unterer Bereich des grafischen Equalizers der Line Array Summe

Während des Einmessens mit der eigenen Stimme, sollte der Equalizer regelmäßig ausgeschaltet werden, um die vorgenommenen Veränderungen zu verifizieren.

⁸¹ Vgl. Adler (2016:16)

Ist das PA-System eingemessen folgt das Monitorsystem. Die tiefen Anteile des PA-Systems werden auch auf der Bühne wahrgenommen. Die mittleren und hohen Frequenzanteile dagegen fehlen. Auf der Bühne herrscht somit bereits ein tiefer, dumpfer Grundsound, weshalb die tiefen Frequenzen der Monitorlautsprecher mittels eines Hochpasses herausgefiltert werden können. Die restlichen störenden Resonanzen können dann ebenfalls, wie beschrieben, herausgefiltert werden.

7.2.2.2 Schalldruckpegel

Ein weiterer Aspekt der beim Einmessen des PA-Systems geprüft werden sollte ist die Schalldruckpegelverteilung im Raum. Im gesamten Publikumsbereich sollte ein möglichst homogener Schalldruckpegel vorliegen. Bei der Planung des Beschallungssystems mit der Software ArrayCalc wurde bereits auf eine möglichst gleichmäßige Verteilung geachtet. Dennoch muss diese nach dem Aufbau kontrolliert werden. Dies kann entweder ebenfalls mit Hilfe des bereits erklärten Messsystems überprüft werden, oder mittels eines einfachen Schalldruckpegelmessgeräts. Die maximale Differenz sollte kleiner als 6dB sein.⁸²

7.2.2.3 Maximalschalldruckpegel

Ein wichtiger Aspekt, den es zu beachten gilt, ist der Schalldruckpegel während des Konzerts. Der erlaubte Schalldruckpegel sowie das Messverfahren sind in der DIN15905-5 geregelt. Um Gehörschäden beim Publikum zu vermeiden sind maximal 99dB(A) gemittelt über eine halbe Stunde zulässig. Des Weiteren darf ein Pegel von 135dB(C) zu keinem Zeitpunkt überschritten werden. Diese Werte beziehen sich auf den Ort mit dem höchsten zu erwartenden Schalldruckpegel, der dem Publikum zugänglich ist.

Da das Messergebnis durch eine Positionierung im Publikum verfälscht oder das Mikrofon beschädigt werden könnte, kann dieses an einem anderen Ort wie beispielsweise am FoH platziert werden. Um den Unterschied der Schalldruckpegel zwischen dem Ort der Schallentstehung und dem tatsächlichen Ort der Messung auszugleichen ist die Differenz der beiden Schalldruckpegel als Korrekturwert zu ermitteln und während des Konzerts zu berücksichtigen.

⁸² Vgl. Smyrek (2016:410)

7.2.3 Line Check

Sind alle Geräte und Kabel aufgebaut wird deren Funktionalität mittels eines Line Checks überprüft. Dieser Test findet in der Regel vor dem Eintreffen der Band statt und dient dazu, sicherzustellen, dass alles einwandfrei verkabelt ist und funktioniert. Hierzu wird ein Kondensatormikrofon an jedes einzelne XLR Kabel angeschlossen. Die Verwendung eines Kondensatormikrofons ist wichtig, da nur so sichergestellt werden kann, dass alle drei Adern der Kabel in Ordnung sind. In Abbildung 44 ist der Ablauf des Line Checks schematisch dargestellt.



Abbildung 44: Ablauf des Line Checks für einen Kanalzug

Wichtig ist darauf zu achten, die Phantomspannung nach dem Line Check wieder auszuschalten. Einige Mikrofone vertragen keine Phantomspannung und könnten bei unsachgemäßer Anwendung Schaden nehmen.

Im Anschluss an den Line Check können die Kabel an die eigentlichen Mikrofone und DI Boxen angeschlossen werden.

7.2.4 Sound Check

Nach dem Line Check findet der Soundcheck statt. Beim Soundcheck geht es darum die Mischung für das PA-System und die Monitore zu erstellen.

Für die Kommunikation vom FoH mit der Band kommt ein sogenanntes Talk Back Mikrofon zum Einsatz. Dieses ist über das Mischpult nur auf die Monitorwege geroutet. Um eine schnelle Verbindung herstellen zu können, verfügt dieses über einen Ein/Aus-Schalter. Somit entfällt das Regeln über das Mischpult.

Der Sound Check für jedes einzelne Signal läuft folgendermaßen ab:⁸³

- Kanalfader schließen
- Stereosumme auf 0dB
- Instrument spielt beziehungsweise Sänger singt
- Peakmeter beobachten
- Per PFL in den Kanal hören
- Signal einpegeln
- Kanalfader aufziehen
- Hören und Beurteilen
- Equalizer: Störende Frequenzen herausfiltern
- Kompressor: Voreinstellungen auf das Signal abstimmen
- Gate: Vorrangig beim Schlagzeug, um Übersprechen zu unterbinden
- FX: Signal mit Reverb und Delay anreichern (Vorrangig bei Gesang)

Sind die einzelnen Signale eingerichtet können die Mischungen erstellt werden. Wie bereits angesprochen beeinflusst das PA-System die Monitormischungen, daher wird mit der Mischung für das PA-System begonnen. Erst wenn diese Mischung steht werden die einzelnen Monitormischungen gemeinsam mit den Musikern erstellt.

Bei der Mischung des PA-Systems wird mit dem Schlagzeug begonnen. Am wichtigsten ist die Kombination aus Bassdrum, Snare und HiHat. Sind diese stimmig werden die restlichen Schlagzeugmikrofone dazu gemischt.

Anschließend wird der Bass angepasst. Dieser bildet das Grundgerüst des Sounds und soll daher den tieffrequenten Bereich gut ausfüllen, jedoch nicht zu präsent im Raum stehen.

Stehen Bass und Schlagzeug, werden die Gitarre und das Keyboard, welche den mittleren Frequenzbereich ausfüllen sollen zur Mischung hinzugefügt.

⁸³ Vgl. Adler (2016:37)

Zu guter Letzt wird der Gesang in die Mischung eingebaut. Begonnen wird mit dem Leadgesang. Die Sängerin bildet mit ihrem Gesang den Blickpunkt des Publikums. Daher sollte der Gesang klar und deutlich zu verstehen sein und nicht von den anderen Instrumenten übertönt werden. Probleme bei der Gesangsabnahme werden vom Publikum sehr schnell wahrgenommen.

Fügt sich der Leadgesang gut in den Gesamtklang ein, ist der Backgroundgesang an der Reihe. Ist auch dieser angepasst steht die fertige Mischung.

Sind alle Einstellungen vorgenommen sind die Vorbereitungen für das Konzert abgeschlossen.

7.2.5 Konzert

Sauberes Arbeiten während des Aufbaus und ein umfangreicher Sound Check können die Lage zu Beginn des Konzerts entspannen, dennoch sind einige Anpassungen notwendig.

Das hinzugekommene Publikum verändert das Klangbild ganz erheblich, daher muss dieses dementsprechend korrigiert werden. Die Absorptionswirkung des Publikums wirkt sich auch auf die Nachhallzeit des Raums aus, welche sich dadurch stark verringert. Um das gewünschte Klangbild zu erreichen, muss dem Summensignal daher eventuell etwas Reverb beigemischt werden.

Des Weiteren muss auch auf den Gesamtklang geachtet werden. Klingt die Band wie gewünscht, oder überragt beziehungsweise fehlt möglicherweise ein Instrument im Klangbild?

Sind diese Anpassungen vollzogen ist die erste, stressige Phase des Konzerts erledigt. Für den weiteren Konzertablauf gilt es weiterhin aufmerksam zu sein und beispielsweise die Soli einzelner Instrumente herauszuheben und in Spielpausen, bei Ansagen der Sängerin deren Lautstärke etwas zu erhöhen und, je nach Einsatz von Effekten, diese während der Ansage auszuschalten um die Sprachverständlichkeit zu erhöhen. Sollten keine unerwarteten Störungen auftreten, steht einem gelungenen Konzertabend nichts mehr im Wege.

8 Fazit

In dieser Arbeit wurden die einzelnen Bestandteile eines Beschallungssystems und deren Einsatz beschrieben. Wie daraus zu erkennen ist, setzt sich ein solches System aus vielen einzelnen Komponenten zusammen, welche miteinander harmonieren müssen um ein optimales Ergebnis zu erzielen.

Besonders die Auswahl des korrekten Lautsprechersystems für den jeweiligen Einsatzzweck ist ein sehr komplexes Thema. Wie aufgezeigt wurde, wird die Planung und Konfiguration durch die Unterstützung der, von den Herstellern bereitgestellten Planungssoftware für Lautsprechersysteme erheblich vereinfacht. Doch auch deren Anwendung verlangt einige Einarbeitungszeit um diese korrekt bedienen zu können.

Eine weitere Herausforderung ist es die passenden Mikrofone zu wählen. Wie in der Arbeit dargestellt wurde, gibt es eine große Anzahl von Mikrofonen, welche sich im Bereich der Beschallung etabliert haben und eine gute Basis bilden. Neben der Auswahl der Mikrofone ist es wichtig zu wissen, wie diese abhängig vom jeweiligen Instrument installiert werden müssen, um den gewünschten Klang zu liefern. Dies wurde anhand des praktischen Beispiels für eine klassische Bandbesetzung erarbeitet.

Die Entwicklung von Audionetzwerken stellt den Anwender vor neue Möglichkeiten der Signalverteilung. Wie aufgezeigt wurde, ist es möglich, einzelne Quellen ohne großen zusätzlichen Verkabelungsaufwand vielen Zielen zur Verfügung zu stellen.

Im Hinblick auf die Installation eines Beschallungssystems ist besonders das Einmessen eines Beschallungssystems als spannende Aufgabe hervorzuheben, sowohl beim Einsatz eines Rauschsignals als auch beim Einsatz der eigenen Stimme.

Die Realisierung eines Beschallungssystems ist eine komplexe Angelegenheit, welche viel Erfahrung benötigt um ein gutes Ergebnis zu erreichen. Dieser Leitfaden kann bei der Umsetzung eines eigenen Projekts als Basis betrachtet werden.

Danksagung

Im Rahmen meiner Bachelorarbeit möchte ich mich ganz herzlich bei allen beteiligten Personen bedanken.

Im Besonderen bei:

Herrn Professor Jens-Helge Hergesell für die Betreuung der Arbeit,

meinen Eltern und meiner Freundin Constanze für die Unterstützung und das Korrekturlesen,

dem Zweitprüfer Herrn Professor Oliver Curdt.

Abkürzungsverzeichnis

A/D-Wandlung	Analog/Digital-Wandlung
AVB	Audio Video Bridging
DI	Direct Injection
DSD	Direct Stream Digital
FoH	Front-of-House
MAC	Media-Access-Control
PA	Public Adress
PTP	Precision Time Protocol
PCM	Puls-Code-Modulation
TSN	Time Sensitive Networking

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die Wall of Sound der Band Grateful Death; <i>Quelle:</i> <i>http://www.classickicks.com/2014/01/wall-of-sound/ (Abgerufen am 03.12.2017)</i>	3
Abbildung 2: Aufbau eines Konuslautsprechers; <i>Quelle: https://recording.de/themenwelten/elektrotechnik-ii/schallwandler/ (Abgerufen am 14.01.2018)</i>	7
Abbildung 3: Hornlautsprecher bestehend aus Lautsprecher(A) und Schalltrichter (B) ; <i>Quelle: https://de.wikipedia.org/wiki/Horn_(Lautsprecher) (Abgerufen am 14.01.2018)</i>	8
Abbildung 4: Querschnitt (links) und Außendarstellung (rechts) eines Subwoofers mit gefaltetem Horn; <i>Quelle:</i> <i>https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_lautsprecher_boxentypen.html (Abgerufen am 17.01.2018).</i>	8
Abbildung 5: Line Array Modul bestehend aus Konuslautsprecher und Hochtontreiber mit vorgebautem Waveformer; <i>Quelle: http://www.proaudio-central.com/images/articles/2016-07/voice-acoustic-s-ikarray-12-line-array.jpg_ (Abgerufen am 15.01.2018)</i>	13
Abbildung 6: Konventioneller Subwoofer, Verhältnis frontaler zu rückwärtigem Pegel; <i>Quelle: Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014): Handbuch der Tonstudioteknik. Bd 1. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, S. 592.</i>	14
Abbildung 7: Schalldruckpegelverteilung bei der Stereoanordnung der Subwoofer	14
Abbildung 8: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung von Subwoofern.....	15
Abbildung 9: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung der Subwoofer auf einem Kreisbogen.....	15
Abbildung 10: Cardioid-Subwoofer, Funktion des rückwärtigen Systems; <i>Quelle:</i> <i>Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014): Handbuch der Tonstudioteknik. Bd 1. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, S. 593.</i>	16
Abbildung 11: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung der Cardioid-Subwoofer.	16
Abbildung 12: Schalldruckpegelverteilung bei der Zahnlückenordnung der Subwoofer auf einem Kreisbogen als Endfire-Array mit drei Reihen	17
Abbildung 13: Clipping bei Erreichen der maximalen Ausgangsspannung	19
Abbildung 14: Signalaufteilung mittels parallelem Abgriff	22
Abbildung 15: Aktiver Splitter mit Input-Thru Anschluss	23
Abbildung 16: Symmetrische Signalübertragung	29
Abbildung 17: Funktionsweise einer DI-Box	30
Abbildung 18: Bestandteile eines AES/EBU-Blocks; <i>Quelle: Smyrek (2016): Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 255</i>	32
Abbildung 19: Horizontale Frontalbeschallung	45
Abbildung 20: Vertikale Frontalbeschallung.....	46
Abbildung 21: Nearfield-Lautsprecher.....	47
Abbildung 22: Delay-Lautsprecher	47
Abbildung 23: Grundrisse des Veranstaltungsraums.....	50
Abbildung 24: Benutzeroberfläche der Planungssoftware ArrayCalc	52
Abbildung 25: Horizontaler Abstrahlwinkel der LineArray-Systeme	53
Abbildung 26: Vertikale Ausrichtung der einzelnen Lautsprecher	54

Abbildung 27: Schalldruckpegelverteilung über die Raumlänge bei 4000Hz und 500Hz.....	54
Abbildung 28: Frequenzgang mit und ohne Array-Processing	55
Abbildung 29: Positionierung und Schalldruckpegelverteilung der Nahfeld-Lautsprecher	56
Abbildung 30: Positionierung und Schallpegelverteilung der Subwoofer	57
Abbildung 31: Delay-Einstellungen der Teilsysteme.....	57
Abbildung 32: Anpassung des Phasengangs	58
Abbildung 33: Schalldruckpegelverteilung bei mehreren Frequenzen	58
Abbildung 34: Balanceverteilung des PA-Systems.....	59
Abbildung 35: Erweiterungskarten für MADI, USB und DANTE	64
Abbildung 36: Benutzeroberfläche des DANTE Controllers	65
Abbildung 37: Kanalmaske des Soundcraft SI Impact.....	66
Abbildung 38: Weißes Rauschen.....	70
Abbildung 39: Rosa Rauschen.....	70
Abbildung 40: Braunes Rauschen.....	71
Abbildung 41: Messvorgang mit der Software SMAART V8 ohne Equalizer.....	72
Abbildung 42: Messvorgang mit der Software SMAART V8 mit Equalizer	73
Abbildung 43: Unterer Bereich des grafischen Equalizers der Line Array Summe	73
Abbildung 44: Ablauf des Line Checks für einen Kanalzug; <i>Quelle: Adler (2016): Beschallungsworkshop von Matthias Reusch an der HdM, S. 36</i>	75

Alle hier nicht eigens nachgewiesenen Abbildungen stammen vom Autor.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammenfassung der digitalen Übertragungsvarianten	42
--	----

Formelverzeichnis

- Formel 1: Smyrek (2016): *Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 381
- Formel 2: Smyrek (2016): *Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 380
- Formel 3: Smyrek (2016): *Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 381
- Formel 4: Smyrek (2016): *Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag, S. 384
- Formel 5: Görne (2015): *Tontechnik. 4., aktualisierte Auflage*, München: Carl Hanser Verlag, S. 213
- Formel 6: Görne (2015): *Tontechnik. 4., aktualisierte Auflage*, München: Carl Hanser Verlag, S. 212
- Formel 7: Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a): *Handbuch der Tonstudioteknik. Bd 1. 8., überarbeitete und erweiterte Auflage*, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH, S.11

Formelzeichenverzeichnis

c	Schallgeschwindigkeit	m/s
d	Abstand/Distanz	m
d_{max}	maximaler Abstand	Hz
l	Länge des LineArrays	m
f	Frequenz	Hz
f_{go}	obere Grenzfrequenz	Hz
f_{gu}	untere Grenzfrequenz	Hz
t	Laufzeit	s
R_A	Ausgangswiderstand	Ω
R_E	Eingangswiderstand	Ω
r_z	Ausdehnung Zylinderwelle	m
λ	Wellenlänge	m

Literaturverzeichnis

Adler (2016): *Beschallungsworkshop von Matthias Reusch an der HdM.*

Albrecht (2010): *Der Tonmeister. 1. Auflage*, Berlin: Fachverlag Schiele & Schön GmbH.

Audinate (2014): *Latency. How Does Dante affect the Latency of a System?*
<https://www.audinate.com/faq-catagories/latency> (Abgerufen am 23.01.2018).

Bangert (2010): *Dante von Audinate*. In: Production Partner, 3, S. 88-92.

Bangert (2012): *Netzwerke: Die Qual der Wahl*. In: Production Partner, 3, S. 118-126.

Bangert (2013): *RAVENNA: Technologie zur IP-basierten Audioübertragung*. In: Production Partner, 3, S. 106-111.

Bangert (2016): „Alte“ Audionetzwerke: *CobraNet EtherSound*.
<https://www.professional-system.de/basics/alte-audionetzwerke/> (Abgerufen am 13.12.2017).

d&b Audiotechnik (2018a): *Array Processing. Wie funktioniert Array Processing?*
<http://www.dbaudio.com/de/systeme/kategorie/series/detail/software/simulation/arrayprocessing.html#ssch-db-systems-product-element-2076-686&ssch-db-systems-product-documentation-2076&ssch-db-systems-product-element-2076-687> (Abgerufen am 25.01.2018).

d&b Audiotechnik (2018b): *Y10P Lautsprecher*.
<http://www.dbaudio.com/de/systeme/kategorie/series/detail/lautsprecher/y-serie/y10p-lautsprecher.html> (Abgerufen am 22.01.2018).

d&b Audiotechnik (2018c): *Y8 Lautsprecher*.

<http://www.dbaudio.com/de/systeme/kategorie/series/detail/lautsprecher/y-serie/y8-lautsprecher.html> (Abgerufen am 20.01.2018).

d&b Audiotechnik (2018d): *Y Subwoofer*.

<http://www.dbaudio.com/de/systeme/kategorie/series/detail/lautsprecher/y-serie/y-subwoofer.html> (Abgerufen am 20.01.2018).

Dickreiter (2011): *Mikrofonaufnahme. 4., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag.

Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014a): *Handbuch der Tonstudioteknik. Bd 1.*

8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.

Dickreiter/Dittel/Hoeg/Wöhr (2014b): *Handbuch der Tonstudioteknik. Bd. 2.*

8., überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin/Boston: Walter de Gruyter GmbH.

Eisner (2013): *Mixing Workshop 2.0. 10. Auflage*, Bergkirchen: PPVMEDIEN GmbH.

Görne (2002): *Mikrofone in Theorie und Praxis. 6. Auflage*, Aachen: Elektor-Verlag GmbH.

Görne (2015): *Tontechnik. 4., aktualisierte Auflage*, München: Carl Hanser Verlag.

HEDD (2018): *AES50*. <http://www.hedd.audio/de/aes50/> (Abgerufen am 03.01.2018).

NTi-Audio (2012a): *MADI*. In: Application Note: MADI, 1, S. 1-3.

NTi-Audio (2012b): *AES3, AES/EBU*. In: Application Note: AES3, 1, S. 1-6.

Pieper (2011): *das P.A. Handbuch. 4., überarbeitete Auflage*, München: GC Carstensen Verlag.

Riedel (2017): *RockNet 300. Digitales Audio-Netzwerk.*

<https://www.riedel.net/de/produkte/audio-netzwerke/rocknet/rocknet-300/>

(Abgerufen am 13.12.2017).

Shure (2016): *Nutzung von Frequenzen für Funkmikrofone* In: Frequenzguide, August

Slavik (2017): *Grundlagen und Fakten zu Audio-Netzwerken.* In: vdt-Magazin – Audio Netzwerke, 4, S. 24-31.

Smyrek (2016): *Tontechnik für Veranstaltungstechniker. 3., korrigierte Auflage*, Stuttgart: S. Hirzel Verlag.

Thomann (2018): *Online-Ratgeber: PA-Endstufen. 7. Wie stark muss eine Endstufe sein?*

https://www.thomann.de/de/onlineexpert_page_pa_endstufen_wie_stark.html

(Abgerufen am 17.01.2018).

Weinzierl (2008): *Handbuch der Audiotechnik. 1. Auflage*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.

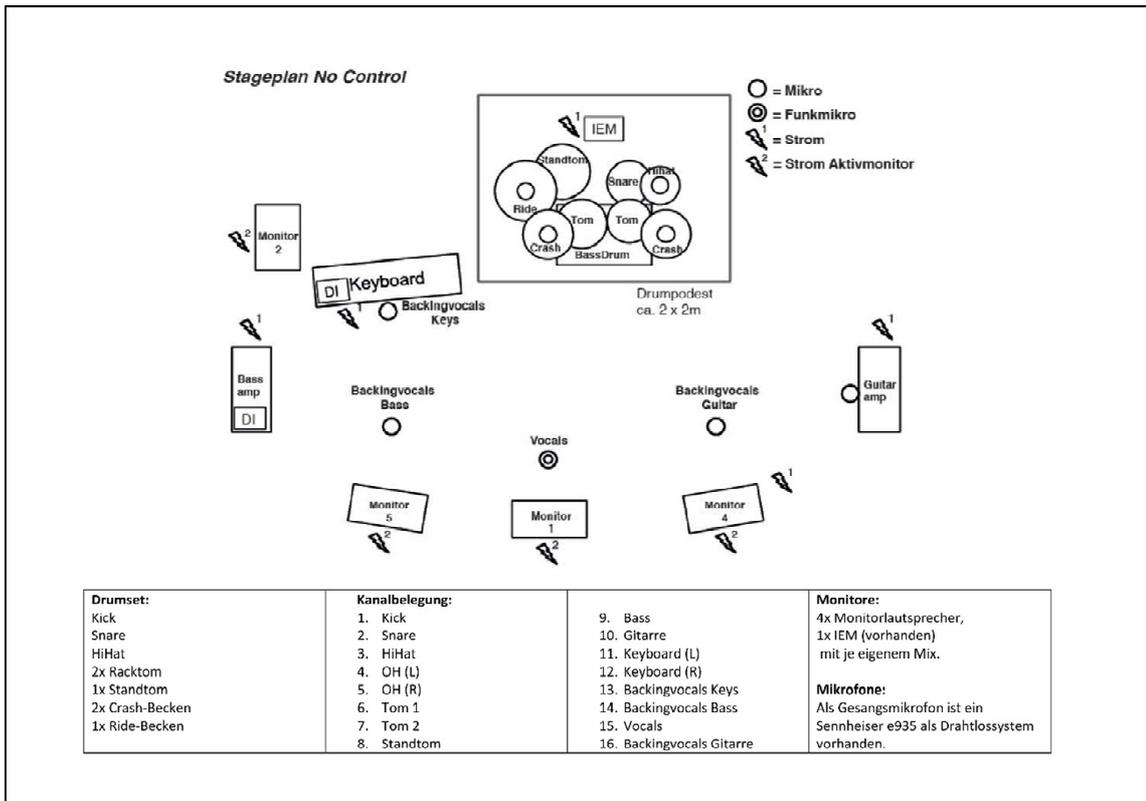
Inhalt des Datenträgers

- Leitfaden der Beschallungstechnik.pdf
Digitale Version der Arbeit
- Abbildungen/
Abbildungen der Arbeit
- Anhang/
Dokumente des Anhangs der Arbeit
- Literatur/
Elektronische Quellen der Arbeit
- Literatur/Websites
Internetquellen der Arbeit

Anhang

A	Bühnenplan No Control	XVI
B	Bilder des Veranstaltungsraums	XVII
	B.1 Blick zur Bühne.....	XVII
	B.2 Blick von der Bühne.....	XVII
	B.3 Decke.....	XVII
C	Bühnenplan No Control	XVIII
	C.1 Input-Kanäle	XVIII
	C.2 Output-Kanäle	XVIII
D	Signalflussplan des Beschallungssystems	XIX
E	Signalrouting in DANTE-Controller	XIX
F	Belegung der Layer am Mischpult	XX
	F.1 Layer A	XX
	F.2 Layer B	XX
	F.3 Layer C	XX
G	Routing Leistungsverstärker	XXI

Anhang A: Bühnenplan No Control



Anhang B: Bilder des Veranstaltungsraums

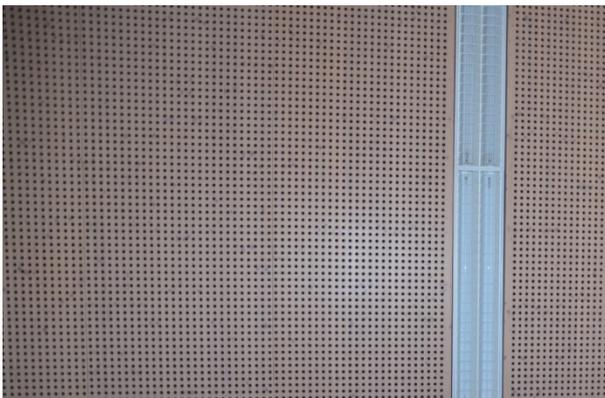
B.1 Blick zur Bühne



B.2 Blick von der Bühne



B.3 Decke



Anhang C: Spurenplan

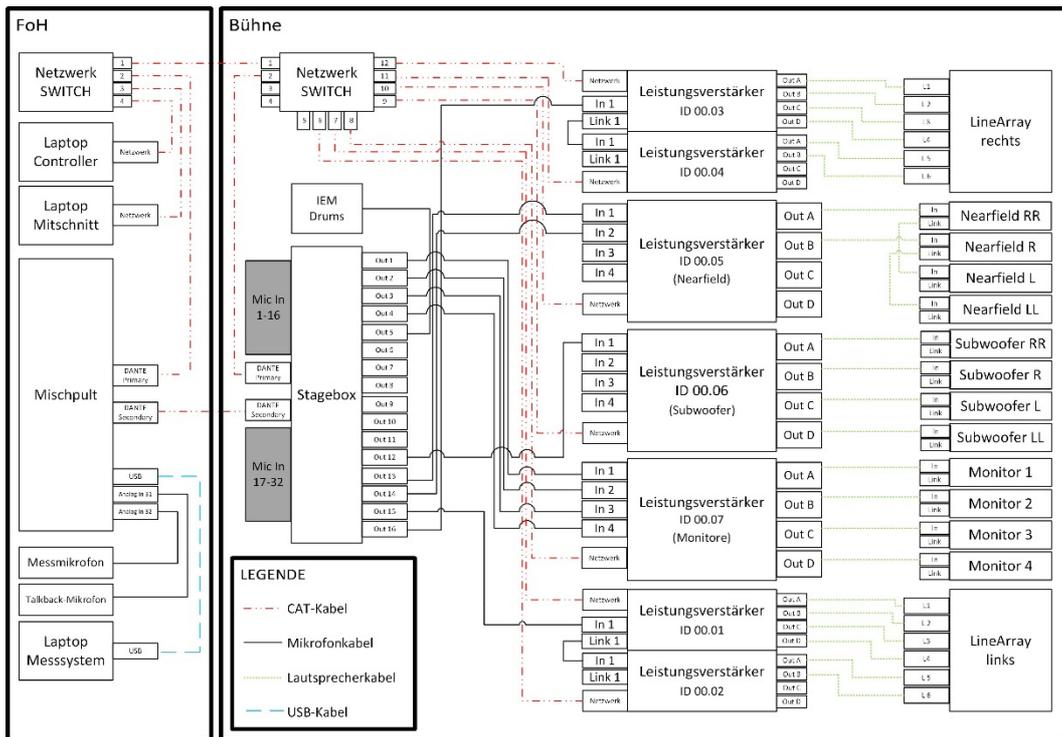
C.1 Input-Kanäle

INPUTS						
Analog Input Stagebox (DANTE)	Spurname	Mic	Sonstiges	Routing		
				LR	Mono	Weitere
1	BD PZM	Shure BETA 91A		X	X	
2	BD	Shure BETA 52A		X	X	
3	Sn O	Shure SM 57		X		
4	Sn U	Shure SM 57		X		
5	OH	Neumann KM 184	OH - Stereospur	X		
6	OH R	Neumann KM 184	OH - Stereospur	X		
7	HH	Neumann KM 184		X		
8	Tom 1	Sennheiser e904	Kleine Tom	X		
9	Tom 2	Sennheiser e904	Mittlere Tom	X		
10	Tom 3	Sennheiser e904	Standtom	X	X	
11	Gitarre	Shure SM 57		X		
12	Bass	DI Box		X		
13	Keys	DI Box	Keyboard - Stereospur	X	X	
14	Keys R	DI Box	Keyboard - Stereospur	X	X	
15	Steffen	Shure SM 58		X		
16	Stefan	Shure SM 58		X		
17	Julia	Sennheiser e935	Drahtlossystem	X		
18	Manuel	Shure SM 58		X		
Analog Input Mischpult	Spurname	Mic	Sonstiges	Routing		
31	Talkback	Shure SM58S	Talkback-Mikrofon			MIX 1-5 (post)
32	Smaa Mic	Behringer ECM8000	Messmikrofon			USB 63 (Directout)
Input USB-Interface	Spurname	Mic	Sonstiges	Routing		
USB 64	Smaa TG		Smaart Tongenerator	X		MIX 11 (pre)

C.2 Output-Kanäle

OUTPUTS			
Output Stagebox (DANTE)	Spurname	Sonstiges	Output Mischpult
1	Steffen		MIX 1 (pre)
2	Stefan		MIX 2 (pre)
3	Julia		MIX 3 (pre)
4	Manuel		MIX 4 (pre)
5	Matthias	IEM	MIX 5 (pre)
6	-		
7	-		
8	-		
9	-		
10	-		
11	-		
12	Subwoofer		MONO
13	Nearfield L		MATRIX 1 L
14	Nearfield R		MATRIX 1 R
15	PA L		L & R (L)
16	PA R		L & R (R)
Output USB-Interface	Spurname		Output Mischpult
USB 63	Smaa Mic	Directout von Mic 32	DIRECTOUT
USB 64	Mess OUT		MIX 11 (pre)
Output Sonstige	Spurname		Output Mischpult
L & R	Para KOM	Parallelkompression	MIX 12 (pre)

Anhang D: Signalflussplan des Beschallungssystems

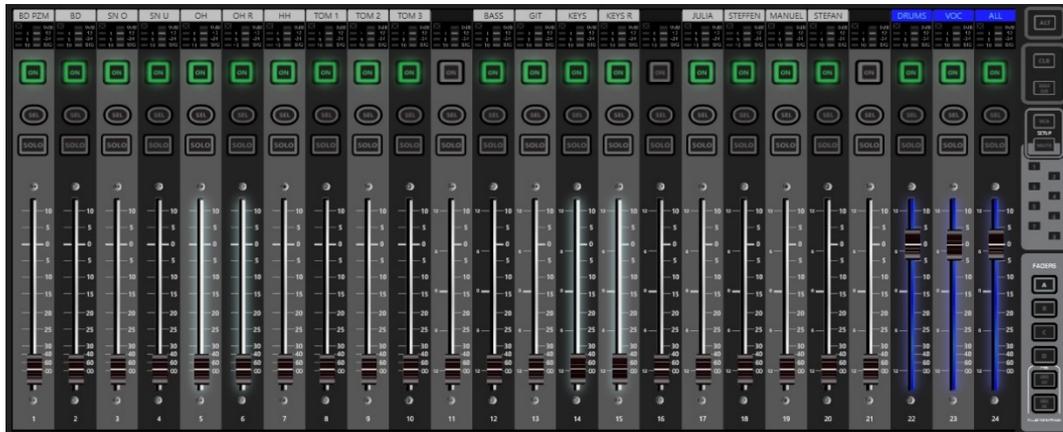


Anhang E: Signalrouting in DANTE-Controller



Anhang F: Belegung der Layer am Mischpult

F.1 Layer A



F.2 Layer B



F.3 Layer C



Anhang G: Routing Leistungsverstärker

Leistungsverstärker	Signalquelle	Verstärker In	Verstärker Out	Lautsprecher
ID 00.01	Stagebox; Out 15	IN 1	A B C D	Line Array L1 Line Array L2 Line Array L3 Line Array L4
ID 00.02	ID 00.01; Link 1	IN 1	A B	Line Array L5 Line Array L6
ID 00.03	Stagebox; Out 16	IN 1	A B C D	Line Array R1 Line Array R2 Line Array R3 Line Array R4
ID 00.04	ID 00.03; Link 1	IN 1	A B	Line Array R5 Line Array R6
ID 00.05	Stagebox; Out 13 Stagebox; Out 14	IN 1 IN 2	A A B B	Nearfield RR Nearfield L Nearfield R Nearfield LL
ID 00.06	Stagebox; Out 12	IN 1	A B C D	Subwoofer RR Subwoofer R Subwoofer L Subwoofer LL
ID 00.07	Stagebox; Out 1 Stagebox; Out 2 Stagebox; Out 3 Stagebox; Out 4	IN 1 IN 2 IN 3 IN 4	A B C D	Monitor 1 Monitor 2 Monitor 3 Monitor 4