
BACHELORARBEIT

Herr
Benedikt Baumann

Verlängerung der Nachhallzeit mittels Active Field Control (AFC Enhance) System von Yamaha

Mittweida, 2022

Bachelorarbeit

Planung für den Einsatz des Active Field Control Enhance (AFC4) Systems von Yamaha im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida zur Verlängerung der Nachhallzeit auf die eines Konzertsaals.

Autor:
Herr

Benedikt Baumann

Studiengang:
Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe:
MG18wA-B

Erstprüfer:
Prof. Dipl. Toningenieur (FH) Mike Winkler

Zweitprüfer:
Gerrit Carstens

Einreichung:
Kamenz, 19.12.2022

Verteidigung/Bewertung:
Mittweida, 2023

BACHELORTHESIS

**Planning for use of an Active Field
Control Enhance (AFC4) System from
Yamaha in the television studio of the
Mittweida University of Applied
Sciences to extend the reverberation
time to that of a concert hall.**

author:

Mr.

Benedikt Baumann

course of studies:

Media and Acoustical Engineering

seminar group:

MG18wA-B

first examiner:

Prof. Dipl. Toningenieur (FH) Mike Winkler

second examiner:

Gerrit Carstens

submission:

Kamenz, 19.12.2022

defence/ evaluation:

Mittweida, 2023

Bibliografische Beschreibung:

Baumann, Benedikt

Planung für den Einsatz des Active Field Control Enhance (AFC4) Systems von Yamaha im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida zur Verlängerung der Nachhallzeit auf die eines Konzertsaals. – 2022 - V, 58, XX S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Medien, Bachelorarbeit, 2022

Referat:

Geprüft wird, ob und wie das Active Field Control (AFC) 4 Enhance Systems von Yamaha geeignet ist, den Klang eines TV-Studios an den Klang eines Konzertsaaes anzunähern. Es wird dabei exemplarisch untersucht, welche Potentiale AFC4 bereithält.

Da sich die akustischen Anforderungen an Räume nach der Nutzungsart richten, müssen für variable Verwendungen besondere technische Voraussetzungen geschaffen werden. Für ein erfolgreiches Klangerlebnis wie in einem Konzertsaal ist die gute Durchmischung einzelner Stimmen durch einen entsprechenden Nachhall erforderlich.

Nach Darlegung der Ausgangsvoraussetzungen im TV-Studio der Hochschule Mittweida wird die Messung der Nachhallzeit im TV-Studio mit und ohne Einsatz des Systems AFC4 vorgestellt und die Messwerte werden erläutert.

Es wird nachgewiesen, dass das System AFC4 geeignet ist, Räume ohne bauliche Veränderungen so anzupassen, dass sie den Anforderungen verschiedener Darbietungsformen entsprechen.

Inhalt

INHALT	II
ABBILDUNGSVERZEICHNIS	IV
TABELLENVERZEICHNIS	V
1 EINLEITUNG	1
2 THEORETISCHE GRUNDLAGEN	4
2.1 GRUNDBEGRIFFE	4
2.1.1 SCHALLAUSBREITUNG IN RÄUMEN	4
2.1.2 NACHHALLZEIT UND OPTIMALE NACHHALLZEIT	7
2.1.3 WEITERE AKUSTISCHE GÜTEMERKMALE.....	12
2.2 ACOUSTIC ENHANCEMENT SYSTEME.....	15
3 ACTIVE FIELD CONTROL 4 VON YAMAHA.....	21
3.1 FUNKTIONSWEISE DES AFC4	21
3.2 SPEZIFISCHE MERKMALE UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN.....	24
4 AUSGANGSVORAUSSETZUNGEN IM TV-STUDIO IN MITTWEIDA.....	26
4.1 ERWARTUNGEN AN EIN TV-STUDIO ALLGEMEIN UND SITUATION DES TV-STUDIOS IN MITTWEIDA	26
4.2 BESTIMMUNG DER NACHHALLZEIT OHNE EINSATZ AFC4	29
5 EINSATZ DES AFC4 IM TV-STUDIO MITTWEIDA.....	36
5.1 VORARBEIT UND PLANUNG	36
5.2 BESTIMMUNG DER NACHHALLZEIT MIT EINSATZ AFC4.....	46
6 AUSWERTUNG	54
7 FAZIT	57

<u>QUELLEN</u>	<u>VI</u>
<u>WEBSEITEN.....</u>	<u>IX</u>
<u>HILFSMITTEL</u>	<u>X</u>
<u>ANHANG - TABELLEN.....</u>	<u>XI</u>
<u>ANHANG - ABBILDUNGEN</u>	<u>XX</u>
<u>SELBSTSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG</u>	<u>XXVI</u>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitliche Folge der Reflexionen in einem Raum bei Impulsschall.....	5
Abbildung 2: Schematische Nachhallkurven.....	12
Abbildung 3: Nachhallzeit RT und Early Reverberation Time EDT	13
Abbildung 4: Historische Einordnung von Acoustic Enhancement Systemen	17
Abbildung 5: Blockschaltbild eines Verstärkerkanals, Nachhallverlängerung mit MCR	19
Abbildung 6: Blockschaltbild LARES.....	20
Abbildung 7: Konzept AFC	22
Abbildung 8: Blockdiagramm des AFC Systems	23
Abbildung 9: Grundriss TV-Studio mit eingezeichneten Messpositionen.....	33
Abbildung 10: Nachhallzeit TV-Studio Mittweida in Oktavbandfilter.....	35
Abbildung 11: Blockschaltdiagramm AFC System.....	41
Abbildung 12: Delay Berechnung, Ausschnitt Venue C.....	44
Abbildung 13: Nachhallkurven zweier Konzertsäle.....	47
Abbildung 14: Nachhallkurve Preset C1,4	48
Abbildung 15: Nachhallzeit Preset C92 in Oktavbandfilter	49
Abbildung 16: Nachhallzeit Preset C92 in Terzbandfilter	50
Abbildung 17: Nachhallzeit Preset D in Oktavbandfilter	52
Abbildung 18: Vergleich Nachhallzeiten in Oktavbandfilter	54
Abbildung 19: Vergleich der Nachhallzeit aller Konstellationen	55

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht Unregelmäßigkeit der Nachhallzeit, Messung ohne AFC System	36
Tabelle 2: Übersicht vom AFC Einsatz.....	40
Tabelle 3: Unregelmäßigkeit aller Konstellationen und Positionen im Oktavband 63 Hz ..	56

1 Einleitung

Räume sind entscheidend für das Klangerlebnis. Sie müssen dabei „für die Musiker und ggf. für das Publikum akustische Anforderungen erfüllen“.¹ So verwundert es nicht, dass Symphonieorchester in speziell für ihren Klangkörper ausgelegten Konzertsälen auftreten, Orgeln ihren vollen Klang in entsprechend gestalteten Kirchengebäude entfalten und die Aufzeichnung von Talkshows in besonders vorgesehenen Studios stattfindet. Entscheidend für ein erfolgreiches (Klang-)Erlebnis sind dabei unterschiedliche Faktoren. Dazu gehört einerseits der Klang, der von den Agierenden ausgeht, beispielsweise die Sprache des Moderators, der Gesang der Sopranistin oder die Töne, die der Klarinettenspieler erzeugt. Dieser wird als Direktschall bezeichnet und mit D abgekürzt. Demgegenüber steht der Raumschall, abgekürzt mit R, der auch als Diffusschall bezeichnet wird. Andererseits wird das Klangerlebnis maßgeblich durch den Raum, genauer die Raumakustik, beeinflusst. Entscheidend dafür sind die Nachhallzeit T und die Wahrnehmung der ersten akustischen Reflexionen. Beim Bau von Räumen, die für akustische Darbietungen konzipiert sind, fließt der Aspekt der Raumakustik in die Planung ein.²

Im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida finden während eines Studienjahres viele unterschiedliche Veranstaltungen statt. Es handelt sich bei dem Studio um einen Raum mit der Größe von 4200 m³. Für die Regie steht ein weiterer Raum zur Verfügung. Genutzt wird das Studio hauptsächlich für das Erstellen von Fernsehsendungen im Rahmen der Praktischen Lehre. Dafür ist die Raumakustik ausgelegt. Die Arten bzw. Genre der Veranstaltungen und Fernsehsendungen, die in dem Studio produziert und aufgezeichnet werden, weisen jedoch eine hohe Heterogenität auf. Sie reichen von Bandcontests verschiedener Musikgenre über die Vorstellungen des Hochschultheaters bis hin zur Aufführung durch Symphonieorchester. Aus dem anfangs skizzierten Szenario zur Korrelation von Raumnutzung und Klangkörper ergibt sich die Problematik, der die vorliegende Arbeit nachgehen will: Ein Raum mit seiner spezifischen Ausstattung ist nicht gleichermaßen für alle Klangkörper geeignet. Es soll nachfolgend untersucht werden, wie der Raumeindruck beeinflusst werden kann, sodass ein erfolgreiches Klangerlebnis erzeugt wird. Zum Einsatz kommt dabei das System Active Field Control (AFC Enhance) von Yamaha. Ziel ist es, zu betrachten, ob und wie das Active Field Control Systems von Yamaha geeignet ist, um in einem TV-Studio die Nachhallzeit so zu verlängern, dass diese

¹ Dickreiter 2014: 46.

² Vgl. zu raumakustischen Kriterien den Überblick bei Fasold 1998: 135f.

der eines Konzertsaaes ähnelt bzw. sogar identisch wird. Dies wird exemplarisch im Fernsehstudio der Hochschule Mittweida überprüft.

Das Unternehmen Yamaha reagierte mit der Entwicklung eines Active Field Control Systems auf den Umstand, dass immer öfter Räume multifunktional genutzt werden. Mit dem erstmals 1985 veröffentlichten System soll es ermöglicht werden, die Klangarchitektur eines Raumes jeweils auf die aktuelle Nutzung anzupassen. Ziel ist es, für verschiedene Situationen ein optimales Klangerlebnis zu erzeugen. Dabei besteht der Anspruch, einen möglichst natürlichen, organischen Klang zu erreichen. Die Klangeigenschaften des jeweiligen Raumes sollen dabei stets erhalten bleiben. Optimal platzierte Lautsprecher und Mikrofone sollen das raumspezifische Klangerlebnis verbessern. Dabei wird insbesondere auf Nachhall und Beschallung eingewirkt. Das System ACF4 wurde im Jahr 2019 veröffentlicht und ergänzt die vorhandenen Features auf die Anwendung für Opern, Musicals, groß angelegte Produktionen und im Open-Air-Bereich. Dafür stehen 32 Mikrofoneingänge und 96 Ausgangskanäle zur Verfügung, um eine breite Klangpalette zu realisieren.³

Neben der Durchführung der Messungen in Mittweida, von denen sich der Verfasser der vorliegenden Arbeit Antworten auf die Frage erhofft, inwiefern das Active Field Control (AFC Enhance) Systems von Yamaha dazu beitragen kann, in einem Fernsehstudio einen Nachhall zu erzeugen, der dem eines Konzertsaaes gleicht, nutze der Verfasser die Gelegenheit, an einem von Yamaha Europa veranstalteten Workshops teilzunehmen. Dieser fand im Juli 2022 in Berlin bei der Firma IT AUDIO in deren Vorführungsraum statt. Das AFC4 System wurde vorgestellt und verschiedene Funktionsweisen wurden erläutert. Anschließend wurde das System für die vorherrschenden Raumbedingungen eingerichtet. Die Teilnahme an dem Workshop ermöglichte es dem Verfasser, sich intensiv mit AF 4 vertraut zu machen und mit den Funktionsweisen auseinanderzusetzen. Neben praktischen Erkenntnissen, die bei der Messung in Mittweida zur Anwendung kommen konnten, wurde auch ein umfangreiches theoretisches Hintergrundwissen zum System und den zugrunde liegenden Berechnungen erworben. Des Weiteren hatte der Verfasser dieser Arbeit die Gelegenheit, dem Abschlusskonzert der Berliner Philharmonie auf der Berliner Waldbühne beizuwohnen. Es handelt sich dabei um eine Open-Air-Bühne. Das System AFC4 kam für das Monitoring der Beteiligten auf der Bühne zum Einsatz. So sollten die Musikerinnen und Musiker einen hilfreichen Eindruck vom Klangerlebnis gewinnen. Ziel war es, für das Orchester eine Akustik abzubilden, die der im Konzertsaal möglichst nahekommt.

Im Mittelpunkt sowohl bei den praktischen Erfahrungen in Berlin als auch bei den Messungen in Mittweida stand der Wunsch, eine optimale Raumakustik zu schaffen. Wann

³ Vgl. für weitere Informationen die Produktankündigung von Yamaha, Yamaha News & Events (URL: letzter Abruf 18.11.2022).

die Raumakustik als optimal gilt, unterscheidet sich je nach Veranstaltungsformat. Die Raumakustik eines Fernsehstudios ist für die Aufnahme von Fernsehsendungen ausgelegt. Im Mittelpunkt steht dabei die Sprache. Sie soll so verständlich wie möglich übertragen werden. Rauminformationen sollten dagegen möglichst nicht aufgenommen werden, um die Sprachverständlichkeit nicht zu beeinträchtigen.

Besonders bei Musik sind eine höhere Nachhallzeit und ein größerer Raumeindruck wünschenswert. Denn der Klang, beispielsweise eines Orchesters, muss sich zeitlich und räumlich vermischen, um ein optimales Klangerlebnis zu erzielen.⁴ Die angestrebte Raumakustik eines Fernsehstudios wird als „trocken“ beschrieben. Sie besitzt eine kurze Nachhallzeit, als Richtwert gelten 0,8 s. Für einen Konzertsaal dagegen geht man bei einer Nachhallzeit von 2,0 s von einer optimalen Raumakustik aus.⁵

Die Nachhallzeit ist eine geeignete Kenngröße, um die Raumakustik zu bestimmen. Sie wird nachfolgend mit RT abgekürzt. Nachhallzeit ist ein Maß für die Zeitspanne, in der die Energiedichte des Raumes auf den 10⁶-ten Teil abklingt. Das ist die Zeit, in der das Gehör nach dem Abschalten einer Schallquelle den Raumklang noch wahrnehmen kann.⁶ Weitere Ausführungen zur Messgröße Nachhallzeit erfolgen im Punkt 2.1.2.

Nicht selten kommt es vor, dass Räume für mehrere Klangerlebnisse genutzt werden. Um auch die Akustik multifunktional zu gestalten, wird in Mehrzweckräumen eine Nachhallzeitverlängerung mit Acoustic Enhancement Systemen eingesetzt. In der vorliegenden Arbeit soll geprüft werden, wie der Einsatz eines Acoustic Enhancement Systems im Fernsehstudio gelingen kann. Mithilfe des Systems Active Field Control (AFC Enhance) von Yamaha, im folgenden AFC4 genannt, soll dessen Einsatz für die Verlängerung der Nachhallzeit auf die eines Konzertsaals geplant werden. Dadurch wäre die Raumakustik im Fernsehstudio anpassbar und kann optimale Bedingungen für unterschiedliche Veranstaltungen bieten. Das Fernsehstudio in Mittweida bildet den Untersuchungsrahmen für die vorliegende Arbeit.

Auf die Einleitung folgt zunächst eine Übersicht über die genutzten Definitionen und Grundgrößen (Punkt 2). Dabei wird insbesondere näher auf folgende Phänomene eingegangen: Anfangsreflexion, Anfangsnachhallzeit und Nachhallzeit. Es wird der optimale Bereich für die Nachhallzeit definiert, von dem ein erfolgreiches Klangerlebnis erwartet werden kann. Ziel wird es sein, diese optimalen Werte im Fernsehstudio in Mittweida zu erreichen. Daran anschließend wird die Funktionsweise verschiedener bestehender Acoustic Enhancement Systeme und ihre unterschiedlichen Herangehensweisen skizziert. Im Anschluss wird das System AFC4 von Yamaha genauer betrachtet und vergleichend mit den zuvor vorgestellten Acoustic Enhancement Systeme

⁴ Vgl. Weinzierl 2008: 251.

⁵ Vgl. Dickreiter 2014: 38.

⁶ Vgl. Lerch et al. 2009: 227f.

vorgestellt (Punkt 3). Im Praktischen Teil wird der Ausgangszustand des Fernsehstudios in Mittweida präsentiert (Punkt 4). Dafür werden der Raum beschrieben, Anforderungen an den Raum als TV-Studio dargestellt und die erhobenen Daten der Messung ohne Nutzung des AFC4 dokumentiert. Anschließend wird die Anwendung des System AFC4 in dem Raum, in dem die Messung erfolgte, dargelegt (Punkt 5). Im Zuge dessen werden die Planung für die Anwendung des AFC4 im TV-Studio Mittweida aufgezeigt, die Messungen mit dem Demo-System von AFC4 ausgewertet und mit den gesetzten Zielen aus Punkt 2 verglichen. Nach einer Auswertung der Messungen mit und ohne AFC4 System (Punkt 6) werden im Fazit (Punkt 7) die gemachten Beobachtungen zusammengefasst. Es wird ein Ausblick gegeben, welche möglichen Herausforderungen bei einer realen Installation zu erwarten sind und welche Chancen die Anwendung des Systems AFC4 in einem TV-Studio bieten. Literaturverzeichnis und Anhang schließen sich an.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Grundgrößen definiert, die zum Beschreiben des Raumeindrucks genutzt werden. Der optimale Bereich der Nachhallzeit für ein Klangerlebnis, das dem eines Konzertsaals gleicht, wird definiert. Darüber hinaus werden die Funktionsweisen verschiedener bestehender Acoustic Enhancement Systeme, ausgenommen dem AFC4 (vgl. Punkt 3), vorgestellt.

2.1 Grundbegriffe

2.1.1 Schallausbreitung in Räumen

Schall, wird er akustisch betrachtet, beschreibt eine Gehörempfindung. Er entsteht durch Druckschwankungen der Luft und ist dann für Menschen wahrnehmbar, wenn bestimmte Frequenzbereiche und Schallpegel nicht unterschritten bzw. überschritten werden.⁷ Die vorliegende Arbeit untersucht die Ausbreitung von Schall in geschlossenen Räumen. Eine Schallquelle in einem Raum sendet einen Schallimpuls annähernd in alle Richtungen ab. Er trifft sodann auf die Raumbegrenzungsflächen und die im Raum befindlichen Objekte. Von diesen wird er gebeugt, reflektiert, absorbiert, zerstreut oder gebündelt.⁸

⁷ Vgl. Meyer 2004: 16.

⁸ Vgl. Dickreiter 2014: 29.

Geschlossene Räume weisen ein diffuses Schallfeld auf. Es besteht aus direktem und reflektiertem Schall. Ist ein Hörer Schallquellen in einem geschlossenen Raum ausgesetzt, entsteht bei ihm ein sogenannter Raumeindruck. Mit dem Phänomen Raumeindruck wird ein spezifisches Hörempfinden beschrieben: die Wahrnehmung, die der Zuhörer erlebt, wenn er mit der Schallquelle bzw. den Schallquellen in einem Raum ist. Die erste Schallwelle nimmt den kürzesten Weg zum Hörer, was als Direktschall bezeichnet wird. Darauf folgen einzelne Reflexionen, welche gestaffelt nach der Länge des Umweges beim Hörer eintreffen. Raumform und Reflexionseigenschaften der Raumbegrenzungsflächen beeinflussen Stärke und Zeitpunkt des Eintreffens der einzelnen Reflexionen (vgl. Abb. 1). Für das Hörereignis und die Ausbildung des Raumeindrucks sind insbesondere „die sog. ersten Reflexionen [...], deren Verzögerung, Stärke und Einfallsrichtung [...] von großer Bedeutung“⁹. Sie bedingen die „Hörsamkeit“ von Musikdarbietungen. Die ersten Reflexionen wiederum werden maßgeblich durch den Musikstil, die Lautstärke der Darbietung und die rhythmische Struktur beeinflusst.¹⁰ Aufgrund der Reflexionen entsteht der Nachhall (vgl. ausführlich dazu s.u.). Er tritt verzögert im Vergleich zum Direktschall auf.

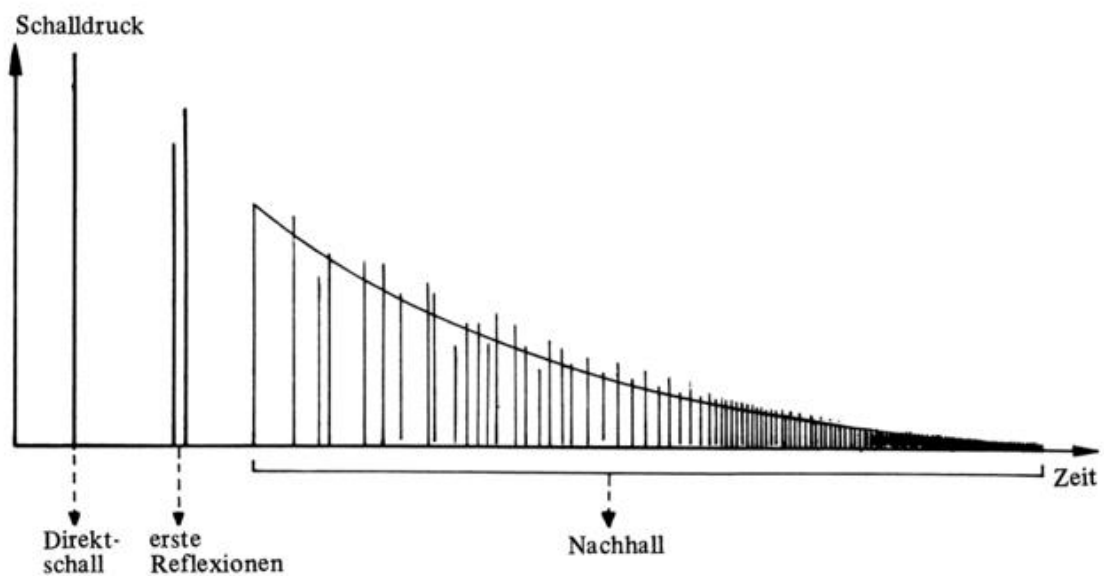


Abbildung 1: Zeitliche Folge der Reflexionen in einem Raum bei Impulsschall

Dickreiter 2014: 30.

Reflexionen werden gezielt eingesetzt, um Raumeindruck und Durchsichtigkeit des Raums zu erhöhen. Je stärker die Verzögerungen der ersten Reflexionen ausfallen, desto größer erscheint der Raum.¹¹ Die spezifischen Raumeigenschaften eines Konzertsaaes führen zu kurzer Verzögerung der sog. ersten Reflexionen. So wird für die Zuhörerinnen

⁹ Dickreiter 2014: 29.

¹⁰ Vgl. Dickreiter 2014: 33; Meyer 2004: 155ff.

¹¹ Dickreiter 2014: 33.

und Zuhörern der Eindruck von Intimität vermittelt. Zugleich sollen die Zuhörerinnen und Zuhörer ein Gefühl für die Raumdimensionen erhalten. Das erfolgt durch die Abfolge der ersten Reflexionen an den Raumbegrenzungsflächen.¹² Spezifisch für die Schallausbreitung in Konzertsälen hinsichtlich des Raumeindrucks für die Zuhörer gilt: Die Verzögerung des ersten stärkeren Rückwurfs soll „im Vergleich zum Direktschall [...] möglichst kurz sein und liegt für gute Konzertsäle und Opernhäuser, jeweils für Plätze in der Mitte des Parketts, zwischen 12 und 25 ms“.¹³

Nach dem Eintreffen der ersten Reflexionen erreichen den Hörer weitere Rückwürfe von den Raumbegrenzungsflächen. Diese wurden mehrfach reflektiert, gebeugt, zerstreut oder gebündelt und haben dadurch an Energie verloren. Alle späten Reflexionen werden als Nachhall bezeichnet.¹⁴ Dadurch entsteht die wohl auffälligste akustische Eigenschaft eines Raums, die sogenannte Halligkeit, welche „durch die Abklingzeit eines Schallereignisses nach Beenden der Schallabstrahlung“¹⁵ entsteht. Dabei erzeugt der Nachhall den Eindruck, die einzelnen Stimmen zu einem Gesamtklang zu verbinden und eine zeitliche Brücke zwischen den einzelnen Tönen zu bilden. Dadurch bekommt die „melodische Linie eine größere Geschlossenheit“¹⁶

Die Nachhallzeit gilt als ältestes akustisches Gütemerkmal (vgl. die Ausführungen dazu Punkt 2.1.2). Dabei wird das diffuse Schallfeld „nach dem Abschalten einer Schallquelle“¹⁷ betrachtet. Bei diesem „Teil des Schallfelds [sind] sowohl der örtliche Schallpegel als auch die Ausbreitungsrichtungen statistisch weitgehend gleichverteilt“.¹⁸ Das macht es sinnvoll, dieses zu messen, da der Zustand an jedem Ort im Raum gleich ist.

Um eine objektive Bewertung eines erfolgreichen Raumeindrucks zu ermöglichen, wurden raumakustische Kriterien definiert. Die Bestimmung der optimalen raumakustischen Kriterien erfolgt in Abhängigkeit mit der Raumnutzung. Die empfohlenen Sollwerte richten sich dabei nach der jeweiligen Hauptnutzung des Raumes, wo beispielsweise zwischen Musik und Sprache unterschieden wird.¹⁹ Die raumakustischen Kriterien lassen sich hinsichtlich des Höreindrucks in fünf Kategorien unterscheiden. Zu Nachhall bzw. Klangfarbe gehören die Nachhallzeit RT, die Anfangsnachhallzeit EDT sowie das Bassverhältnis BR. Deutlichkeit wird mit dem Deutlichkeitsgrad D_{50} beschrieben. Die Durchsichtigkeit umfasst das Deutlichkeitsmaß C_{50} , die Schwerpunktzeit TS, das Klarheitsmaß C_{80} , den Artikulationsverlust für Konsonanten AI_{cons} sowie den

¹² Vgl. Meyer 2004: 155.

¹³ Lerch et al. 2009: 239.

¹⁴ Meyer 2004: 155.

¹⁵ Fasold/Veres 1998: 135.

¹⁶ Meyer 2004: 155.

¹⁷ Meyer 2004: 148.

¹⁸ Ahnert & Tennhardt 2008: 182.

¹⁹ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 186ff.

Sprachübertragungsindex RASTI. Für den Raumeindruck sind die Kriterien Hallmaß H, Seitenschallgrad LF, Seitenschallmaß $10 \lg LF$ und das Raumeindrucksmaß R von Bedeutung. Maßgeblich für die Lautstärke sind Schalldruckpegelminderung ΔL und Stärkemaß G. Bei den Optimalwerten der einzelnen Größen wird in der Regel unterschieden nach Sprache und Musik.²⁰

Von den genannten Größen sind folgende entscheidend für die vorliegende Arbeit und werden näher beschrieben: Nachhallzeit RT, Anfangsnachhallzeit EDT²¹, Klarheitsmaß C_{80} . Der Nachhallzeit kommt dabei eine besondere Bedeutung zu, da bei der Datenerhebung im TV-Studio in Mittweida auf ihr der Fokus lag.

2.1.2 Nachhallzeit und optimale Nachhallzeit

Aus subjektiven Befragungen resultiert, dass bei ähnlicher Musikdarbietung, in Räumen mit unterschiedlicher Nachhallzeit die empfundene Nachhallzeit mit der gemessenen nicht in Wechselwirkung ist.²² Wenn ein Musiker oder das Orchester schnell spielt und nur der Anfang vom Ausklingen des Raumklangs gehört wird, ist auch nur dieser wahrnehmbar.²³ Der Anfang des Abklingvorgangs wird besser gehört und stimmt „eher mit dem subjektiv empfundenen Nachhallvorgang überein.“²⁴

Die Nachhallzeit beschreibt einen Zeitintervall. Sie ist eine der Kenngrößen der Raumakustik. Es handelt sich bei der Nachhallzeit um die Zeitspanne, in der die Energiedichte, in einem Raum, auf den 10^6 -ten Teil, also um 60 dB, abklingt.²⁵ Zur Einordnung: „60 dB entspricht etwa dem Dynamikumfang eines großen Orchesters“²⁶. In der vorliegenden Arbeit wird die Benennung Nachhallzeit und mittlere Nachhallzeit als Synonym verwendet. Die mittlere Nachhallzeit wird mit dem arithmetischen Mittelwert der Nachhallzeiten von 500 Hz bis 1000 Hz mit Oktavbandfilter berechnet. Bei der Nachhallzeit in den tiefen Frequenzen wird die Messung von 125 Hz mit Oktavbandfilter genutzt.

Abgekürzt wird die Nachhallzeit mit RT, was sich von der englischen Bezeichnung „reverberation time“ ableitet, im deutschsprachigen Raum wird die Nachhallzeit mitunter

²⁰ Vgl. als Überblick zu den Kriterien und den zugehörigen Optimalwerten Fasold & Veres 1998: 136.

²¹ In der Forschungsliteratur wird dieser Begriff uneinheitlich genutzt. Während Fasold & Veres darunter sowohl den Schalldruckpegelabfall von 10 dB als auch von 15 oder gar 20 dB subsumieren, unterscheidet Meyer zwischen Anfangsnachhallzeit und EDT. Unter Anfangsnachhallzeit versteht er den von 20 dB und unter EDT jenen von 10 dB. Die vorliegende Arbeit folgt der Definition bei Meyer und konzentriert sich nachfolgend auf EDT zur Beschreibung des Schalldruckpegelabfall von 10 dB. Vgl. Fasold/Veres 1998: 141; Meyer 2004: 149.

²² Vgl. Fasold/Veres 1998: 141.

²³ Vgl. Beranek 2004: 23.

²⁴ Fasold/Veres 1998: 141.

²⁵ Vgl. Lerch 2009: 227f.

²⁶ Meyer 2004: 148

auch lediglich mit T abgekürzt. Nachhall kann mit den entsprechenden Geräten gemessen und ebenso mit den unten vorgestellten Formeln berechnet werden. Entdeckt wurde die Kennzahl Nachhallzeit vom US-Amerikaner Wallace Clement Sabine (1868-1919). Auch die Entdeckung von Schallabsorption und Schalltransmission in Gebäuden gehen auf ihn zurück, zudem ist die Maßeinheit der Schallabsorption nach ihm mit Sabine benannt. Sabine bestimmte 1898 die Nachhallzeit experimentell, später wurde sie auch rechnerisch hergeleitet. Die auf ihn zurückgehende Gleichung für die Nachhallzeit wird als Sabine'sche Gleichung bezeichnet.²⁷ Sabine entdeckte den Zusammenhang zwischen Nachhallzeit, Volumen und Absorptionsfläche. Der Nachhall verhält sich proportional zum Raumvolumen V und umgekehrt proportional zur totalen Absorptionsfläche A des Raums. Daraus ergibt sich, dass die Nachhallzeit um so länger ist, je größer der beschallte Raum und je reflektierender (schallhärter) die Oberflächenmaterialien. Folgende Formel ergibt sich aus den eben dargelegten Beobachtungen. Es handelt sich dabei um die Sabine'sche Gleichung:

$$T = 0,163 * \frac{V}{A}$$

Die Gleichung von Sabine eignet sich insbesondere für längere Nachhallzeiten, also für die Berechnung des Nachhalls in Konzertsälen. Entscheidend ist, dass die Räume nur geringe Absorptionsgrade aufweisen. Liegt der Absorptionsgrad eines Raums über 0,3, wie das beispielsweise bei Studios der Fall ist, ist die Eyringsche Nachhallformel eher für die Berechnung geeignet.²⁸ Die Präzision erfolgte in den 1920er Jahren.

$$T = 0,163 \frac{V}{-\ln(1 - \alpha_{Raum}) S_{ges}} s$$

Bezüglich der Messung der Nachhallzeit wird im Punkt 4.2 genauer auf die Anforderungen eingegangen. An dieser Stelle sei bereits darauf verwiesen, dass Messverfahren der Nachhallzeit in der dreiteiligen DIN EN ISO 3382 festgelegt sind.

Bei allen Möglichkeiten, die Nachhallzeit zu messen bzw. zu berechnen, nimmt das menschliche Gehör Nachhallzeiten auch selbstständig wahr. Für das subjektive Empfinden ist der Nachhall unmittelbar nach dem Ausgangssignal entscheidend, denn später wird der Nachhall durch die Umgebungsgeräusche bzw. den Störgeräuschpegel überdeckt. Außerdem gilt, dass „[i]m Gegensatz zur gemessenen Nachhallzeit [...] die subjektiv wahrgenommene Nachhalldauer von der jeweiligen Lautstärke der Schallquelle abhängig [ist] und häufig durch die Lautstärke des Störschalls, seltener durch die Hörschwelle begrenzt [wird]“.²⁹ Um die Genauigkeit der Nachhallzeitmessung einschätzen zu können,

²⁷ Vgl. Dickreiter 2014: 56.

²⁸ Vgl. Fasold/Veres 1998: 140.

²⁹ Dickreiter 2014: 37.

wurde untersucht, in welcher Größenordnung RT noch für das menschliche Gehör wahrnehmbar ist. Vereinfacht beträgt die Einheit der Wahrnehmbarkeit 3,5 % des gemessenen Nachhallzeitwertes. Unter der Grenze von 0,8 s kann die Nachhallzeit in Stufen von 0,02 s durch das Gehör des Menschen unterschieden werden.³⁰ Diese Werte sind wichtig, um Messergebnisse entsprechend einordnen zu können.

Räume werden immer öfter multifunktional genutzt. Deshalb müssen vermehrt Kompromisse bei baulichen Entscheidungen hinsichtlich der Nachhallzeit getroffen werden.³¹ Um in Räumen eine optimale Nachhallzeit zu erreichen, wird das subjektive Empfinden sowohl der antizipierten Zuhörerinnen und Zuhörer als auch der Mitwirkenden mit einbezogen. Als Richtwerte für die optimale Nachhallzeit werden für große Fernsehstudios um die 0,8 s und für einen Konzertsaal um die 2,0 s angegeben.³² In Fernsehstudios steht die Darbietung von Sprache im Vordergrund. Die Sprache soll durch eine kurze Nachhallzeit möglichst gut verständlich sein, mit Hilfe eines gewissen Nachhalls soll jedoch auch die Lautstärke verstärkt werden. In Konzertsälen wird maßgeblich Musik dargeboten.

Nachfolgend werden die Anforderungen an die Akustik eines Konzertsaals beschrieben, da die vorliegende Arbeit untersucht, inwiefern die Nachhallzeit eines Konzertsaals in einem TV-Studio erreicht werden kann. Die Wahrnehmung der optimalen Nachhallzeit eines Konzertsaals hängt von unterschiedlichen Faktoren ab: in „erster Linie von der Art der Darbietung, bei Musik vom Stil, vom Tempo und Rhythmus sowie von der Besetzung, ja von der Interpretation eines Musikstücks, aber auch ganz erheblich von der Raumgröße“.³³ Abhängigkeit besteht weiterhin „von der Feinstruktur des Nachhallverlaufs, also von der Verteilung und Stärke der ersten Reflexionen und der Anfangsnachhallzeit, sowie der Frequenzabhängigkeit der Nachhallzeit.“³⁴

Klassische Konzertsäle werden ganz unterschiedlich genutzt. Es gehören sowohl Auftritte von Solisten als auch Konzerte großer Sinfonieorchester dazu. Bei den Anforderungen an den Raum stehen dabei die raumakustischen Parameter und der dadurch entstehende Klangeindruck im Vordergrund. Der Nachhall unterstützt den Gesamtklang des Orchesters, indem die einzelnen Stimmen verbunden werden und ist zudem bedeutend für den Lautstärkeindruck.³⁵ Außerdem gilt: „Für einen guten Klangeindruck bei den Zuhörern ist neben der Homogenität des Gesamtklanges auch die

³⁰ Meyer 2004: 150.

³¹ Vgl. Kuttruff 1994: 619.

³² Der Richtwert der optimale Nachhallzeit ist für die ausgewählten Nutzungszwecke für den besetzten Zustand der Räume angegeben.

³³ Dickreiter 2014: 37.

³⁴ Dickreiter 2014: 37.

³⁵ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 207; Meyer 2004: 159.

Deutlichkeit in rhythmisch stark gegliederten Passagen oder bei einem polyphonen Stimmgefüge wesentlich“.³⁶

Wenn in einem Konzertsaal die Nachhallzeit unterhalb von ca. 1,7 s liegt, dann stößt das „im allgemeinen auf eine entschiedene Ablehnung“.³⁷ Das liegt darin begründet, dass der Raum zu groß ist und der von den Musizierenden erzeugte Schall mitunter nicht mehr an allen Plätzen im Zuschauerraum wahrgenommen werden kann. Die ungünstigen Intensitätsverhältnisse führen dazu, dass keine zweckmäßigen akustischen Verhältnisse vorliegen.³⁸

Neben allen Anforderungen, die hinsichtlich der Zuhörerinnen und Zuhörer zu beachten sind, gilt es auch, entsprechend gute Bedingungen für das Orchester zu schaffen. Das Zusammenspiel der einzelnen Musiker wird erschwert, wenn sie sich nicht ausreichend untereinander hören können. Mit Hilfe des Nachhalls kann diesem Problem entgegengewirkt werden.³⁹

Beranek⁴⁰ verglich in 31 Länder in 100 bestehende Konzerthallen und Opernhäuser. Diese wurden vermessen und nach ihrer akustischen Qualität eingeordnet. Neben Messungen beruht das Ergebnis auch auf „[t]he rank-ordering presented here is based on interviews and questionnaires involving conductors, music critics and concert aficionados“.⁴¹ Auf Grundlage dieser objektiven und subjektiven Beobachtungen wird versucht, die Reihenfolge für die besten Konzertsäle bzw. Opernhäuser zu finden. Hinsichtlich der Nachhallzeit kommt die Untersuchung von Beranek zu folgendem Ergebnis: Die besten Säle haben Nachhallzeiten zwischen 1,8 und 2,0 Sekunden, während die am schlechtesten bewerteten Säle zwischen 1,5 und 1,8 Sekunden liegen. Es kann resümiert werden, dass für symphonische Musik eine Nachhallzeit nahe bei 2,0 s optimal ist.⁴² Bei den nachfolgend vorgestellten Größen werden wir auch die Beobachtungen, die Beranek gemacht hat, einfließen lassen.

Parameter aus Physik, Hörpsychologie und darbietungsbezogene Aspekte bilden nur einige Faktoren für die optimale Nachhallzeit ab. Eine vollumfängliche Aussage „über die akustische Qualität von Konzertsälen“⁴³ ist darüber hinaus nur im Kontext der jeweiligen Zeit, ihren spezifischen Hörgewohnheiten und kulturellen Vorlieben möglich. Die speziellen Parameter sind nicht generell gültig. Somit ist für jedes Genre eine andere Akustik passend und bildet sich in Abhängigkeit von Kultur und Epoche heraus. Interpretationsstile der Musik

³⁶ Meyer 2004: 159.

³⁷ Meyer 2004: 167.

³⁸ Vgl. Meyer 2004: 167.

³⁹ Vgl. Meyer 2004: 160.

⁴⁰ Vgl. Beranek 2004: passim.

⁴¹ Beranek 2004: 496.

⁴² Vgl. Beranek 2004: 503f.

⁴³ Meyer 2004: 162.

veränderten sich ebenso wie Hörgewohnheiten. Dementsprechend hat auch der Zeitgeschmack Einfluss auf die Bestimmung einer optimalen Nachhallzeit.

Entscheidend für den Raumklang bzw. für die Qualität des Nachhalls ist die Frequenzabhängigkeit des Nachhalls. Diese beschreibt die „Veränderung der Klangfarbe des Nachhalls mit der Zeit, die in praktisch allen Räumen gegeben ist“. ⁴⁴ Der Raum selbst mit seiner spezifischen Konzeption hat Einfluss darauf, in welcher Weise bestimmte Frequenzen absorbiert werden. Man spricht dabei von der charakteristischen Klangfärbung eines Raumes. Je stärker eine Frequenz absorbiert wird, desto kürzer ist ihre Nachhallzeit. Ein Nachhall, welcher frequenzunabhängig ist, kann nur mit elektronischen Hallgeräten erzeugt werden und unnatürlich wirken. In der Abbildung 2 ist das mit Nachhallkurve „a“ abgebildet. Die Frequenzabhängigkeit des Nachhalls bedeutet auch, dass dieser mit dem Ausklingen dunkler wird. Das wirkt sich auch auf Wahrnehmung des Ereignisses aus, wenn der diffuse Anteil nicht zu klein ist. Die Ursache dafür liegt an der Luftabsorption und in der Beschaffenheit der Raumbegrenzungsflächen, welche beeinflussen, wie stark welche Frequenzen absorbiert werden. ⁴⁵

Mit neutraler Klangverfärbung wird die Nachhallkurve bezeichnet, wenn nur in den hohen Frequenzen die Nachhallzeit gedämpft wird, wie im Frequenzgang „b“ zu sehen ist. Typisch ist diese Nachhallkurve für Aufnahmestudios und moderne Konzertsäle. Ist die Nachhallzeit in den mittleren Frequenzen länger, wird der Klang als mittenbetont und warm beschrieben. Schwingungsfähige Wände oder Decken, z.B. durch Bilder und Holzverschalung, fördern diesen Klang, was die Nachhallkurve „c“ beschreibt. Bei Räumen mit hauptsächlich freiliegenden Steinwänden, wie Kirchen, ist im Bereich der tieferen Frequenzen die längste Nachhallzeit, wodurch der Raumklang dumpf wirkt, was der Frequenzgang „d“ in der Abbildung 2 darstellt. ⁴⁶

⁴⁴ Dickreiter 2014: 38.

⁴⁵ Vgl. Dickreiter 2014: 38f.

⁴⁶ Vgl. Dickreiter 2014: 38f.

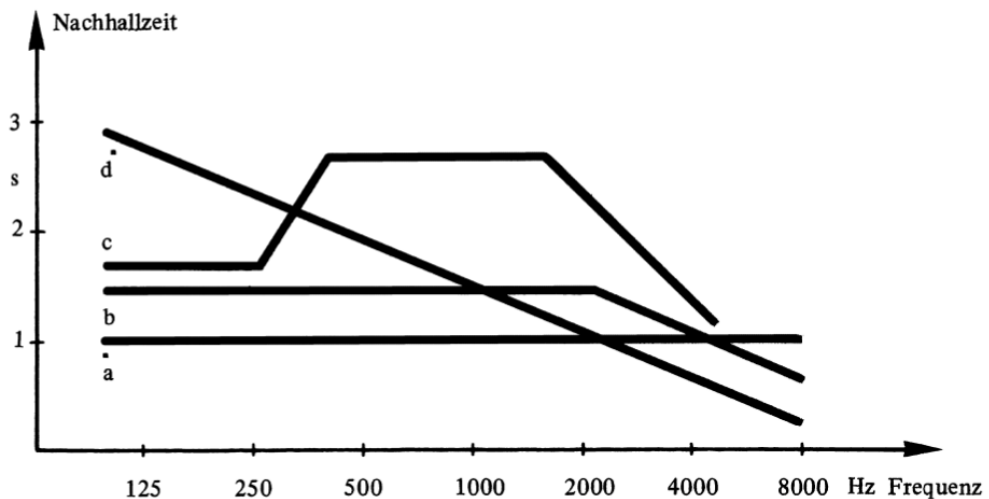


Abbildung 2: Schematische Nachhallkurven

Dickreiter 2014: 39.

Bei den meisten Konzertsälen, welche als “gut” eingestuft wurden, steigt die Nachhallzeit in den tieferen Frequenzen an. Das ist auch unabhängig von der Epoche, in der diese gebaut wurden, zu beobachten. Für Orchesterkonzerte ist diese Eigenschaft von Vorteil. Das liegt daran, dass bei Mehrheit der Instrumente, die die Bassstimme spielen, die Töne in tiefen Lagen schwächer ausgesendet werden. Aus diesem Grund ist es hilfreich, wenn die Frequenz durch den Raum selbst etwas verstärkt wird.⁴⁷

2.1.3 Weitere akustische Gütemerkmale

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich in der Untersuchung auf die Nachhallzeit. Sie ist schon seit längerer Zeit Forschungsgegenstand, sodass hierauf aufgebaut werden kann. Die Daten zu einer optimalen Nachhallzeit sind durch die häufigen Messungen gut belegt. Die Konzentration auf die Nachhallzeit in der Untersuchung ermöglicht zudem eine zielgerichtete Auswertung der erhobenen Daten. Die Nachhallzeit, die gemessen werden kann, ist im gesamten Raum gleich. Dennoch gibt es in einem Saal „unterschiedlich bewertete Platzbereiche“⁴⁸. Das deutet darauf hin, dass es auch andere Merkmale im Raum gibt, die den Höreindruck beeinflussen. Auch wenn der Fokus der vorliegenden Untersuchung auf der Nachhallzeit liegt, sollen nun noch weitere akustische Gütemerkmale kurz skizziert werden. Damit wird der eben genannten Beobachtung Rechnung getragen, dass die Nachhallzeit nicht ein singulärer Einflussfaktor für den optimalen Höreindruck ist.

⁴⁷ Vgl. Meyer 2004: 164.

⁴⁸ Fasold/Veres 1998: 135.

Bei musikalischen Darbietungen ist besonders der frühe Nachhall von Bedeutung. Das weitere Abklingen der Töne wird dann meist von neuen Schallereignissen überdeckt. Deshalb wurde die raumakustische Größe EDT als der Anfangsnachhall definiert. Dafür wird der Bereich der Nachhallkurve von 0 bis -10 dB (EDT) genauer betrachtet.

EDT steht für Early Decay Time und wird ins Deutsche mit frühe Abklingzeit übertragen. Diese Größe beschreibt den Abklingvorgang zwischen 0 und -10 dB. Sie sagt demnach etwas über die empfundene Nachhalldauer aus. Beim Abklingvorgang um 10 dB kann der Schall noch deutlich wahrgenommen werden. Um EDT und Nachhallzeit zu vergleichen, wird die frühe Abklingzeit mit 6 multipliziert. Denn 10 dB sind ein Sechstel der Zeit, den der Nachhall für den Pegelabfall von 60 dB benötigt, wie die Nachhallzeit definiert ist⁴⁹. Für das Verhältnis des Pegelabfalls gilt:

$$RT_{60} = 6 * EDT$$

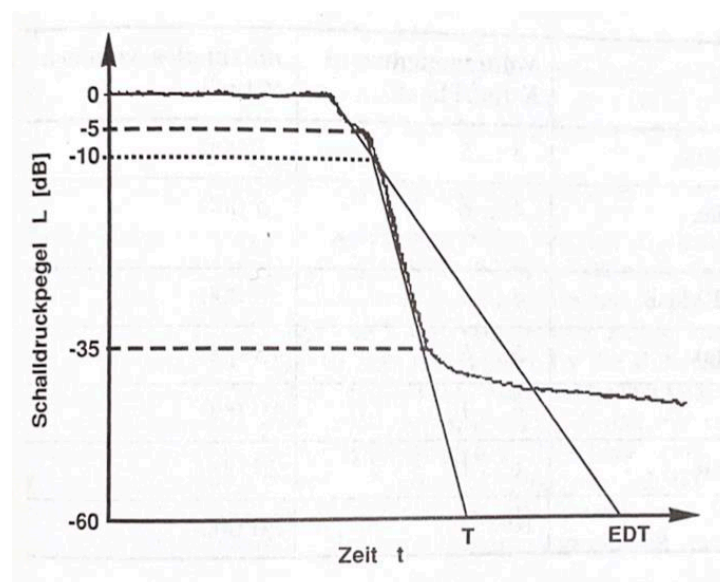


Abbildung 3: Nachhallzeit RT und Early Reverberation Time EDT

Fasold/Veres 1998: 141.

In der Literatur wird die Größe EDT nicht so ausführlich beschrieben, wie die Größe RT. Aus der Literatur kann so nur ein recht allgemeiner Überblick über diese raumakustische Kenngröße erlangt werden. Oftmals wird auch auf die Erläuterung von optimalen Werten für die EDT verzichtet. Eine Ausnahme bildet Beranek, der detailliert eine Vielzahl an Konzerthallen und Opernhäuser vergleicht. Er gibt optimale Werte für die EDT an. Die

⁴⁹ Der Faktor 6 wurde aus folgenden Gründen gewählt: „Ten decibels of decay occurs in a time period roughly equivalent to one-sixth of the time required for 60 decibels of decay, defined above as the reverberation time. The factor 6 allows a direct comparison between EDT and RT (both in seconds).“ Beranek 2004: 23.

Untersuchungen bei Beranek hat einen EDT zwischen 2,25 und 2,75 Sekunden in den am besten bewerteten Sälen und in den am schlechtesten bewerteten Sälen zwischen 1,4 und 2,0 Sekunden ergeben.⁵⁰ Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die Raumimpulsantwort gemessen. Daraus kann die EDT berechnet werden. Eine ausführliche Interpretation der EDT-Werte würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die gemessenen Werte können jedoch der Tabellen im Anhang entnommen werden.

Weiterhin bedeutend für die Bewertung von Räumen für die musikalische Nutzung ist das Klarheitsmaß. Mit dem Klarheitsmaß C_{80} wird die Klarheit, das heißt, die zeitliche Durchsichtigkeit von musikalischen Darbietungen beschrieben. Sie wird in dB angegeben und ergibt sich aus dem Verhältnis des frühen Schalls und des nachhallenden Schalls.

$$C_{80} = 10 \lg \frac{E_{80}}{E_{\infty} - E_{80}} \text{ dB}$$

Zur genaueren Abgrenzung vom Deutlichkeitsmaß $C50$, auch Sprachklarheitsmaß genannt mit einer Integrationsgrenze von $t_c = 50$ ms, wird das Klarheitsmaß $C80$ mit einer Integrationsgrenze, von $t_c = 80$ ms, auch mit Musikklarheitsmaß oder Durchsichtigkeitsmaß benannt, unterschieden. Für die Bestimmung des Klarheitsmaß $C80$ wird die Schallenergie am Messplatz bis 80 ms, nachdem der Direktschall eingetroffen ist, zur nachfolgenden Schallenergie ins Verhältnis gesetzt.⁵¹ Für Konzertsäle gilt laut Meyer ein Klarheitsmaß zwischen -2 und +4 dB als erstrebenswert, auf entfernteren Plätzen seien auch ein Klarheitsmaß bis zu -5 dB vertretbar.⁵² Beranek fand in seiner Untersuchung heraus, dass in einer Probe andere Werte für ein optimales Klarheitsmaß gelten als für Aufführungen. In Proben mit unbesetztem Saal sollten möglichst alle Details wahrgenommen werden, weshalb ein Klarheitsmaß zwischen +1 bis +5 dB als optimal gilt. In der Aufführungssituation wird - sowohl vom Dirigenten als auch vom Zuhörer - mehr Hall als angenehm empfunden. Das Klarheitsmaß sollte sich von -1 bis -4 dB erstrecken.⁵³

Neben der Nachhallzeit RT, dem Klarheitsmaß $C80$, der Early Decay Time EDT, gibt es weitere Größen, welche die Eigenschaften eines Raumes beschreiben. Diese sind der Schallabsorptionsgrad α , das Stärkemaß G, das Bassverhältnis BR. Diese alle umfassend darzustellen und zu interpretieren, kann in der vorliegenden Arbeit nicht geleistet werden. Die Untersuchung konzentriert sich nachfolgend auf die Nachhallzeit.

⁵⁰ Vgl. Beranek 2004: 505f.

⁵¹ Weinzierl 2008: 198.

⁵² Meyer 2004: 156.

⁵³ Vgl. Beranek 2004: 525ff.

2.2 Acoustic Enhancement Systeme

Da, wo Räume nicht die idealen Voraussetzungen für die musikalischen Aufführungen bieten und raumgeometrische bzw. raumakustische Maßnahmen nicht den erwünschten Effekt haben, kommen elektronische Systeme zur Veränderung der Raumakustik zum Einsatz. Ihr Nutzen besteht darin, Einfluss auf den direkten, reflektierten oder nachhallenden Schall zu nehmen. Die Nachhallzeit kann so beispielsweise an die akustischen Bedingungen angepasst werden, die die Anwesenheit von Zuschauerinnen und Zuschauern mit sich bringt. Die Systeme ermöglichen es auch, auf die akustischen Gegebenheiten in Hinblick auf unterschiedliche Musikstile einzugehen. Das Potential von elektronischen Systemen zur Veränderung der Raumakustik besteht darin, dass durch ihren Einsatz Hörräume und Studios multifunktional genutzt werden können. Bei Räumen, die nicht den (aktuellen) akustischen Anforderungen entsprechen, werden elektronische Systeme zur Veränderung der Raumakustik oft nachträglich eingebaut. Neben Konzertsälen und Theatern sind dabei auch besonders sog. Mehrzwecksäle, die variable genutzt werden, im Blick. Fortan kann die Raumakustik an die Art der Aufführung angepasst werden. Zum Einsatz kommen dafür Mikrofone, Verstärker und Lautsprecher. Platzierung, Art und Anzahl werden individuell auf den Raum angepasst.⁵⁴

Elektronische Systeme zur Veränderung der Raumakustik werden oft unter dem Namen Acoustic Enhancement Systems beworben und vertrieben. Nachfolgend werden beide Bezeichnungen synonym verwendet. Die Systeme sind in der Lage, die Nachhallenergie max. um 3 dB zu erhöhen.⁵⁵ Dafür müssen die Systeme sorgfältig auf den Raum angepasst und eingemessen werden. Um Klangverfärbungen oder Rückkopplungen zu vermeiden, ist insbesondere auf angemessene Abstände zwischen Mikrofonen und Lautsprechern zu achten. Mitunter sind verschiedene Parameter für unterschiedliche Nutzungsszenarien einzurichten. Anschließend ist, je nach Situation, weder eine durchgängige Bedienung noch Überwachung nötig. Voraussetzung dafür sind „eine hohe Konstanz und Betriebssicherheit jedes einzelnen Verstärkerkreises, um unangenehme Störungen wie Rückkopplungen oder andere Störeffekte zu vermeiden“⁵⁶.

Bei elektronischen Systemen zur Veränderung der Raumakustik können zwei Lösungsansätze unterschieden werden: In-line Systeme und regenerative Systeme. Erstere arbeiten mit synthetischen Systemen, letztere nutzen elektroakustische Systeme.⁵⁷

In-line System, die auch als nicht-regenerativ, d.h. ohne Rückkopplung, bezeichnet werden, nutzen gerichtete Mikrofone, um den direkten Klang von der Bühne aufzunehmen.

⁵⁴ Vgl. Dickreiter 2014: 46f.

⁵⁵ Vgl. Dickreiter 2014: 46f.

⁵⁶ Dickreiter 2014: 48.

⁵⁷ Vgl. Dickreiter 2014: 46f.

Diese Raumsignale werden dann in einem Nachhallprozessor verarbeitet und anschließend in dem Raum, mit einem Minimum an Feedback zwischen Mikrofon und Lautsprecher, wiedergegeben.⁵⁸ Die Raumlautsprecher werden dafür insbesondere an den Seiten und den Decken angeordnet. Zusätzlich wird meist ein Beschallungssystem eingesetzt, um den Schall zu verstärken. In-line System wurden bereits ab den 1960er Jahren genutzt, in der Regel mit Verzögerungseinrichtungen. Im deutschsprachigen Raum werden In-line Systeme auch als lineare Systeme beschrieben. Modernere In-line Systeme, für die dann auch dieser Name gebräuchlich wurde, arbeiten mit digitalen Nachhallgeneratoren. Dazu gehören u.a. folgende Systeme: LARES (Lexicon Acoustic Reinforcement and Enhancement System), ACS (Acoustic Control System), SIAP (System for Improved Acoustic Performance) oder VIVACE (vgl. auch zur historischen Einordnung Abb. 4).⁵⁹

Bei regenerativen Systemen, auch als Rückkopplungssysteme bezeichnet, werden ungerichtete Mikrofone genutzt, die den Raumklang aufnehmen. Es entstehen sogenannte Verstärkerkreise, die zusammengesetzt sind aus Mikrofonen und ihnen zugeordneten Lautsprechern. Ziel ist es, „die für den Aufbau des Nachhallfelds nachteilige Absorption im Zuhörerbereich mit elektroakustischen Mitteln zu kompensieren“⁶⁰. Dafür werden alle Schallquellen im Raum gleich behandelt. Dieses Signal wird bearbeitet und verstärkt wieder in den Raum abgestrahlt. Die Verstärkung erfolgt frequenzselektiv oder breitbandig. Regenerative Systeme greifen die akustischen Reaktionen im Saal auf und produzieren so „a more natural enhancement of the room acoustics.“⁶¹ Ein erstes System dieser Art war bereits in den 1940er Jahren in der Berliner Staatsoper installiert. Mit der Verbesserung der Hardware wurde das System stets weiterentwickelt. Bei allen Chancen ist zum regenerativen System anzumerken, dass dieses System schwieriger zu installieren ist, weil die Verstärkung des Nachhalls von dem Übersprechen von Mikrofon und den Lautsprechern abhängt. Der Vorteil der Natürlichkeit geht Hand in Hand mit den Herausforderungen dieses Systems. Es kann jedoch nur verstärkt werden, was bereits vorhanden ist. Der Nachteil regenerativer Systeme besteht darin, dass die ersten Reflexionen nicht abgebildet werden können. Das liegt daran, dass die Mikrofone einen zu großen Abstand von der Primärquelle haben und so die ersten Reflexionen schon bei den Zuhörerinnen und Zuhörern eintreffen, bevor sie das Mikrofon erreichen und durch das System verstärkt werden.⁶²

Die Verstärkungen, die ein regeneratives System ermöglicht, wird Loop Gain genannt. Um das System nicht in die Instabilität zu führen und Übersprechen zwischen Lautsprecher

⁵⁸ Vgl. Poletti 1994a: 511.

⁵⁹ Vgl. Dickreiter 2014: 47.

⁶⁰ Dickreiter 2014: 47.

⁶¹ Poletti 1994a: 511.

⁶² Vgl. Bakker 2014: 77; Dickreiter 2014: 47f.; Bakker/Gillan 2014: 61f.

und Mikrofon zu verringern, muss der Loop Gain gering sein. Das kann durch viele Mikrofone und Lautsprecher erzeugt werden. Trotzdem kann es dazu kommen, dass bestimmte Frequenzen stärker im Raum zu hören sind, als es auf natürliche Weise wäre. Und dieser Klang, welcher sich auch als Aufschwingen einzelner Frequenzen bemerkbar macht, wird Colouration genannt.⁶³

Folgende Systeme gehören u.a. zu den regenerativen Systemen: Assisted Resonance (AR) System, MCR (Multiple Channel Reverberation), CARMEN (Contrôle Actif de la Réverbération par Murs virtuels à Effet Naturel) (vgl. zur historischen Einordnung Abb. 4).⁶⁴

Es existieren auch Lösungen, in denen beide Systeme verbunden werden, darunter AFC (vgl. ausführlich dazu Punkt 3), VRAS, CONSTELLATION (vgl. auch zur historischen Einordnung Abb. 4). Die Verknüpfung von In-line und regenerativen Systemen ermöglicht es, im Vergleich zum regenerativen System weniger Kanäle, die zudem unabhängig voneinander sind, aufzubauen. Dass weniger Kanäle eingesetzt werden, bietet mehr Freiheiten, um akustische Reaktionen zu verändern.⁶⁵

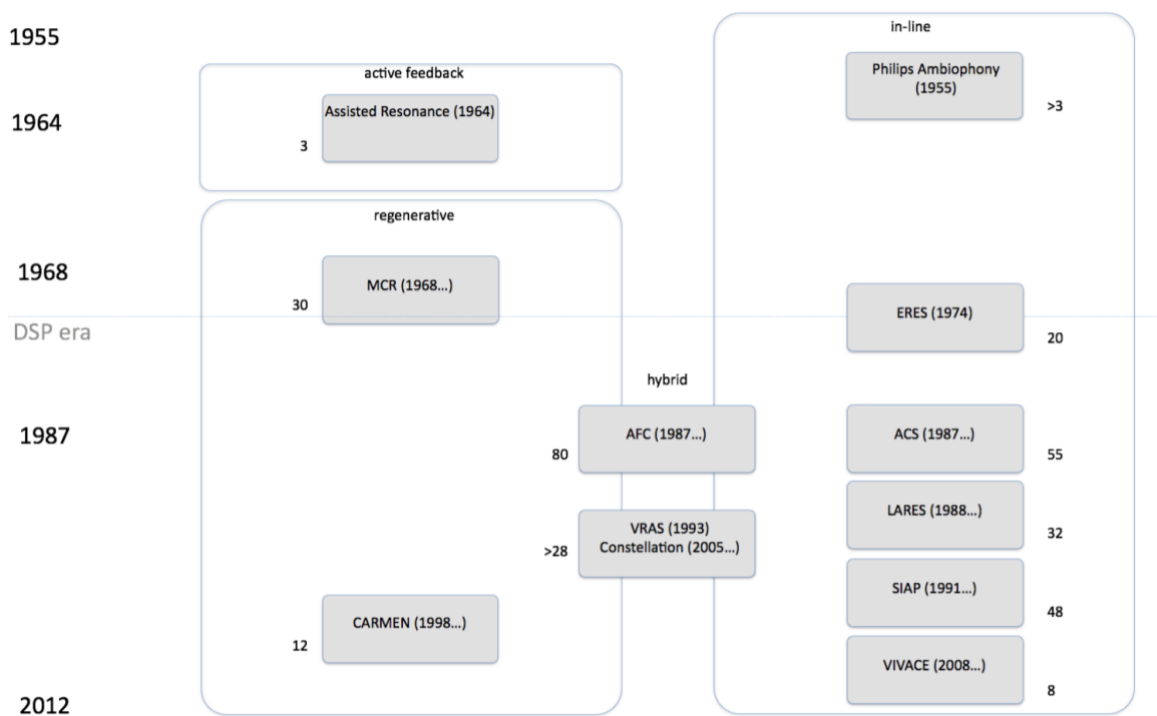


Abbildung 4: Historische Einordnung von Acoustic Enhancement Systemen

Bakker/Gillan 2014: 57.

⁶³ Vgl. Poletti 1994b: 269.

⁶⁴ Vgl. Dickreiter 2014: 47f.

⁶⁵ Vgl. Dickreiter 2014: 47f.; Bakker/Gillan 2014: 63.

Nachfolgend werden die Systeme MCR, VRAS und LARES erklärt, um daran die verschiedenen Wirkweisen der Acoustic Enhancement Systeme zu verdeutlichen. Es wurde dabei aus jeder Kategorie - regenerativ, In-line, hybrid - exemplarisch je ein System ausgewählt.

Bei dem Multi-Channel Amplification of Reverberation System, kurz MCR, handelt es sich um ein regeneratives Acoustic Enhancement System. Es wurde 1969 von N.V. Franssen patentiert und von S.H. de Koning weiterentwickelt. Das System MCR ist mittlerweile schon etwas älter, teilweise veraltet. Da neuere Systeme jedoch auf dieser Wirkweise aufbauen, lohnt sich eine Auseinandersetzung mit dem Multi-Channel Amplification of Reverberation System. Kennzeichnend für das MCR System, das von der Firma Philips bereitgestellt wird, ist, dass es mit einem Assisted Resonance Verfahren arbeitet. Die akustische Energie im Raum soll erhöht, im Idealfall verdoppelt, werden. Dafür sind bis zu 100 Kanäle nötig. Das System macht es möglich, dass insbesondere bei tiefen Frequenzen die Nachhallzeit vergrößert wird. Um die Nachhallzeit zu erhöhen, wird die Energiedichte des Raums erhöht. Gemäß den Unterlagen des Herstellers ermöglichen es dabei 90 Kanäle, dass die „mittleren Nachhallzeit von ca. 1,2 s auf 1,7 s“⁶⁶ erhöht wird. Damit das System nicht zum Oszillieren kommt, sind viele Verstärkerkanäle notwendig. Mit einer geringen Verstärkung von -21 dB, was 0,8 % entspricht, wird eine Verlängerung der Nachhallzeit von 0,45 bis 0,6 Sekunden erreicht.⁶⁷ Ziel ist es, Verfärbungen und Schwingungen des Raumklangs zu vermeiden. Die Länge des Nachhalls kann in neun Stufen angepasst werden.⁶⁸ Das wird umgesetzt, indem die Verstärkung aller genutzten Kanäle erhöht wird. Der Vorteil des Systems ist, dass auf eine natürliche Wirkweise gesetzt wird. MCR wirkt ähnlich einer Anti-Absorption mit dem Ziel, dass im Gegensatz zu künstlichen Klangsystemen eine höhere Klangqualität bestehen bleibt. Wichtig ist es, bei der Planung diese natürliche Wirkweise und die daraus resultierenden Einschränkungen zu berücksichtigen. So ist beispielsweise zu beachten, dass genügend Abstand zwischen den Mikrofonen und den Lautsprecher, insbesondere bei denen, die sich einen Kanal teilen, gegeben ist.⁶⁹

⁶⁶ Ahnert/Tennhardt 2008: 256.

⁶⁷ De Koning 1983: 19.

⁶⁸ De Koning 1983: 19.

⁶⁹ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 253–256; Mulder 2001: passim; Bakker/Gillan 2014: 61f.; De Koning 1983: passim.

Zur Wirkweise des MCR vgl. auch die Abb. 5. Das Blockschaltbild (oben) bildet eine Anlage im POC-Theater in Eindhoven/Holland ab. Die Saalgröße beträgt 3100m^3 , die Bühne hat eine Größe von 900m^3 . Es sind 90 Kanäle, bestehend aus Mikrofon, Vorverstärker, Filter, Leistungsverstärker und Lautsprecher vorhanden. Zudem sind 90 Mikrofone an der Decke und 110 Lautsprecher in den Seitenwänden, in der Orchesterdecke

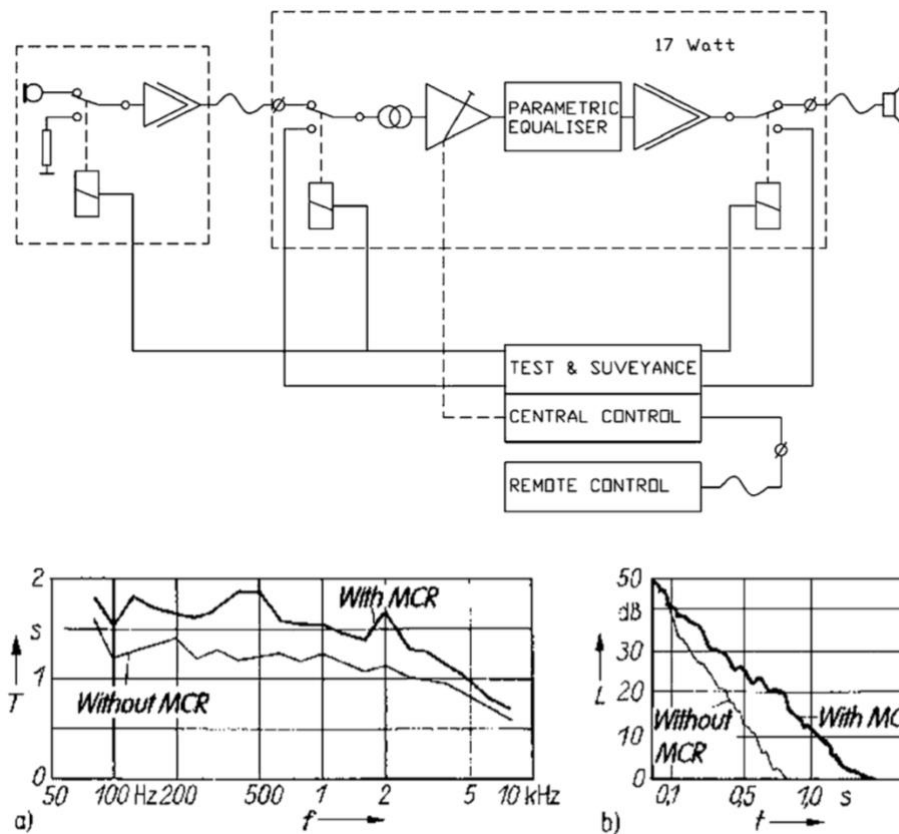


Abbildung 5: Blockschaltbild eines Verstärkerkanals, Nachhallverlängerung mit MCR

Ahnert/Tennhardt 2008: 255.

und unter dem Balkon installiert. Die Fernsteuerung des Nachhalls erfolgt in zehn Stufen. Aus a) wird der Frequenzgang der Nachhallzeit und aus b) der Nachhallverlauf bei 400 Hz, mit und ohne MCR Einsatz, ersichtlich (vgl. Abb. 5).⁷⁰

Bei dem Lexicon Acoustic Reinforcement and Enhancement System, kurz LARES, handelt es sich um ein In-line System. LARES ist neben dem Acoustic Control System, kurz ACS, In-line System, insbesondere in Europa und den USA weit verbreitet. Das Lexicon Acoustic Reinforcement and Enhancement System ist ein System der Firma Lexicon, bei dem Module des Raumprozessors 480L zur Anwendung kommen. Eine spezielle Software ermöglicht dabei die Simulation der gewünschten Abklingkurve (vgl. Blockschaltbild Abb. 6). So sollen die im Raum vorhandenen direkten und reflektierten Energien verstärkt werden.⁷¹

⁷⁰ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 255.

⁷¹ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 257f; Griesinger 1991: passim.

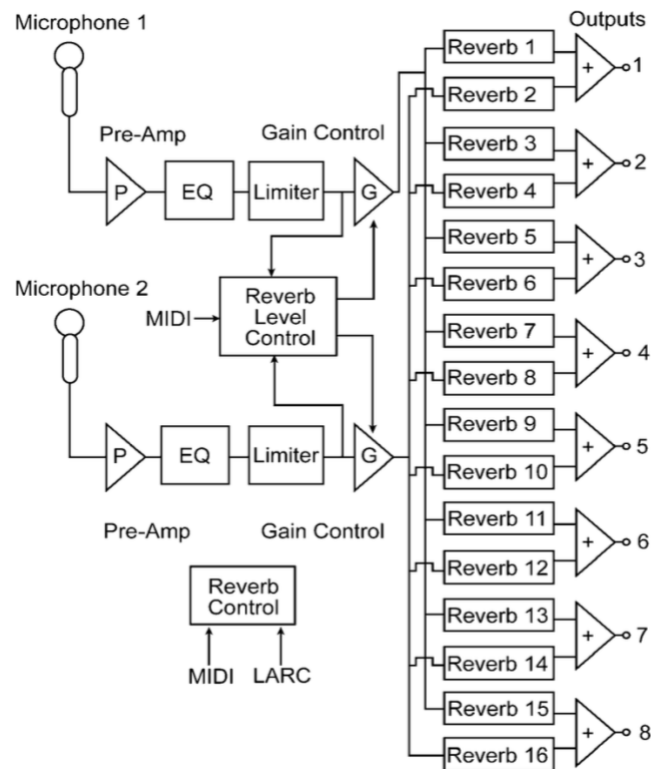


Abbildung 6: Blockschaftbild LARES

Ahnert/Tennhardt 2008: 258.

Die Simulation wird durch eine Vielzahl von Wand- und Deckenlautsprechern erreicht. Im quellennahen Bereich ist die Anzahl der eingesetzten Mikrofone gering. Sie sorgen dafür, dass die Eingangssignale abgegriffen werden. Die eingestellten Nachhallzeiten sind aufgrund „der zeitvarianten Signalverarbeitung durch eine große Anzahl von unabhängigen, zeitvarianten Hallgeräten“⁷² nicht vollständig durchschaubar. In Deutschland kommt LARES u.a. im Staatsschauspielhaus Dresden und in der Staatsoper Berlin zum Einsatz.⁷³

Bei dem Virtual Room Acoustic System, kurz VRAS, handelt es sich um ein hybrides System zur Nachhallverlängerung. Es greift die Überlegungen des MCR-Verfahrens auf und wurde 2012 von Meyer Sound in Constellation umbenannt. Bei dem hybriden System werden weit weniger Kanäle als in regenerativen Systemen verwendet. Bei VRAS kommt ein elektronischer Hallprozessor zum Einsatz. „Durch moderne Elektronik und DSPs sind Schaltungen möglich geworden, die eine Klangfärbung weitgehend ausschließen.“⁷⁴ Der Aufführungsraum, bezeichnet als Primärraum, wird dafür mit dem Sekundärraum, dem elektronischen Hallprozessor, gekoppelt. So wird die frühere Reflexion verstärkt und zugleich eine Reduktion „der Wiedergabekanäle und die Verfärbung der Klangereignisse“⁷⁵

⁷² Ahnert/Tennhardt 2008: 258.

⁷³ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 257f.

⁷⁴ Ahnert/Tennhardt 2008: 260.

⁷⁵ Ahnert/Tennhardt 2008: 260.

angestrebt. Zum Einsatz kommen in der Regel 40 bis 50 kleine Lautsprecher, die im Raum verteilt werden. Dazu kommen noch 10 bis 15 Mikrofone. Der dadurch aufgenommen Schall wird zum Effektprozessor $X(\omega)$ geleitet, wo die Verhallung vorgenommen wird. Das Potential dieses Systems liegt darin, dass der Hallprozessor präzise eingestellt werden kann und so Ergebnisse problemlos gemessen und reproduziert werden können.⁷⁶

3 Active Field Control 4 von Yamaha

Im Punkt 3 wird das AFC4 System vorgestellt. Das AFC4 System im Allgemeinen weist zwei Funktionsweisen auf: Enhance und Image. Bei letzterem handelt es sich um ein immersives System zur Steuerung akustischer Bilder. Ersteres nutzt vorhandene Raumstrukturen und nimmt Einfluss auf den Nachhall.⁷⁷ Die beiden Wirkungsweisen werden nachfolgend erklärt.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich auf die Wirkungsweise des Enhance Systems. Es wurde im Fernsehstudio in Mittweida eingesetzt, um zu überprüfen, ob es geeignet ist, den Klang eines Konzertsaaes nachzuempfinden. Zunächst sollen nun das System, sein Aufbau und seine Arbeitsweise erläutert werden.

3.1 Funktionsweise des AFC4

Im Praxisteil der vorliegenden Arbeit kam das Produkt AFC4 Enhance der japanischen Firma Yamaha zum Einsatz.⁷⁸ Es handelt sich dabei um die 4. Generation des bewährten Systems Active Field Control (kurz AFC, deutsch: Aktive Schallfeld-Steuerung). Die Besonderheit ist, dass das System AFC ein hybrides System ist und sowohl regenerative als auch In-line Anwendungsweisen genutzt werden. Damit erhofft man sich, die Vorteile beider Vorgehensweisen zu verknüpfen. Höreindrücken wie Lebendigkeit, Lautstärke und Räumlichkeit sollen durch Rückkopplungssteuerungstechniken verbessert werden. Das System AFC ist ein System der Firma Yamaha. Es wurde erstmals 1987 vorgestellt.⁷⁹ Yamaha selbst sagt über das System:

⁷⁶ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 260; Bakker/Gillan 2014: 63f.; Poletti 2006: passim; Poletti/Schwenke 2006: passim.

⁷⁷ Vgl. ausführlich die Informationen, die Yamaha selbst zu diesem System liefert: Yamaha AFC Vorstellung, (URL: letzter Abruf am 18.11.2022).

⁷⁸ Yamaha hat das System zunächst mit AFC4 benannt und nachträglich in AFC Enhance umbenannt. In der vorliegenden Arbeit werden beide Begriffe Synonym verwendet. Vgl. Yamaha AFC Enhance (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

⁷⁹ Die Angabe 1987 wird von Bakker postuliert. Yamaha selbst notiert auf seiner Homepage das Jahr 1985. Vgl. Bakker 2012: Punkt 8; Yamaha AFC3 (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

„Bei der "Active Field Control"-Technologie handelt es sich um ein besonderes Nachhalloptimierungssystem, das tatsächlich in der Lage ist, den eigentlichen, baulich bedingten Raumklang anzureichern und den Nachhall zu modellieren, ohne dass die natürliche akustische "Signatur" des Raumes in Mitleidenschaft gezogen wird. Yamahas herausragende DSP-Technologie ermöglicht es, ein solches System mit nur wenigen Geräten umzusetzen.

AFC passt die akustischen Bedingungen anhand eines akustischen Feedback-Systems automatisch an. Dadurch funktioniert AFC vollkommen anders und deutlich besser als vergleichbare Technologien, die digitale Reverbs verwenden, um dadurch die Klangcharakteristik eines Raums zu simulieren.“⁸⁰

Das AFC System verbindet das regenerative Konzept mit dem In-line Konzept. Der Höreindruck kann durch Steuerung von Nachhall und frühen Reflexionen beeinflusst werden und zugleich bleiben akustische Eigenschaften, die auf die Raumspezifität zurückzuführen sind, erhalten. Der regenerative Ansatz (vgl. Abb. 7) arbeitet mit der akustischen Rückkopplung. So wird eine akustische Schleife erzeugt, indem die Lautsprecher den Schall, den die Mikrofone aufnehmen, mehrfach abspielen. Das führt zu einer Erhöhung der akustischen Energie im Raum. Der In-line Ansatz (vgl. Abb. 7) nutzt eine sogenannte Faltungssignalverarbeitung. Schall, der über die Mikrofone aufgenommen wird, wird mit synthetisierten Schalldaten, den gemessenen Impulsantworten, angereichert, um die gewünschte Klangumgebung zu erzeugen.⁸¹

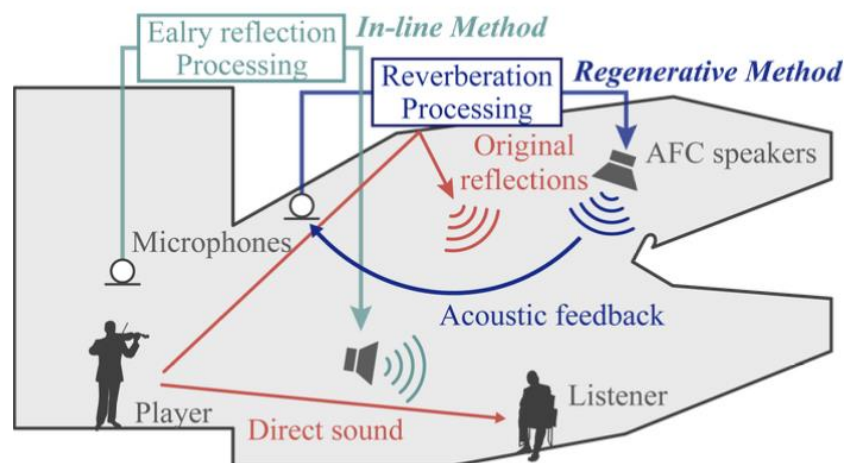


Abbildung 7: Konzept AFC

Hashimoto 2020: S.1.

So soll zum Erhalt des natürlichen Klangs die Akustik des Raums genutzt werden. Zugleich sollen künstlich erzeugte Reaktionen ergänzt werden, um gezielter Einfluss auf die Nachhallzeit zu nehmen. Wie auch das Variable Room Acoustic System (kurz VRAS)

⁸⁰ Yamaha AFC3 (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

⁸¹ Yamaha AFC Enhance (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

von LSC, eingeführt 1991 und später umbenannt in Constellation, nutzt AFC Nachhallmodule, die jeweils in die Mikrofonschleifen des Systems eingefügt werden. Um mit nur wenigen physikalischen Kanälen eine stabile und farbfreie Reaktion zu erreichen, kommen bei AFC Algorithmen zum Einsatz, die ein Abflachen der Schleifen erreichen. Es wird also gezielt die akustische Rückkopplung genutzt, „um so die Schallenergiedichte und damit verbunden die Nachhallzeit zu erhöhen“⁸². Damit das System stabil läuft und keine Klangfärbung erfolgt, kommt eine sogenannte Time Varying Control (kurz TVC) Schaltung zum Einsatz, die sich aus den Komponenten Electronic Microphone Rotator (EMR) und Fluctuating FIR (fluc-FIR) zusammensetzt. Der EMR ist in Zyklen für die Abtastung der eingesetzten Mikrofone zuständig. Die FIR-Filter wirken Rückkopplungserscheinungen entgegen.⁸³ Die Anordnung des AFC kann der Abb. 8 entnommen werden.

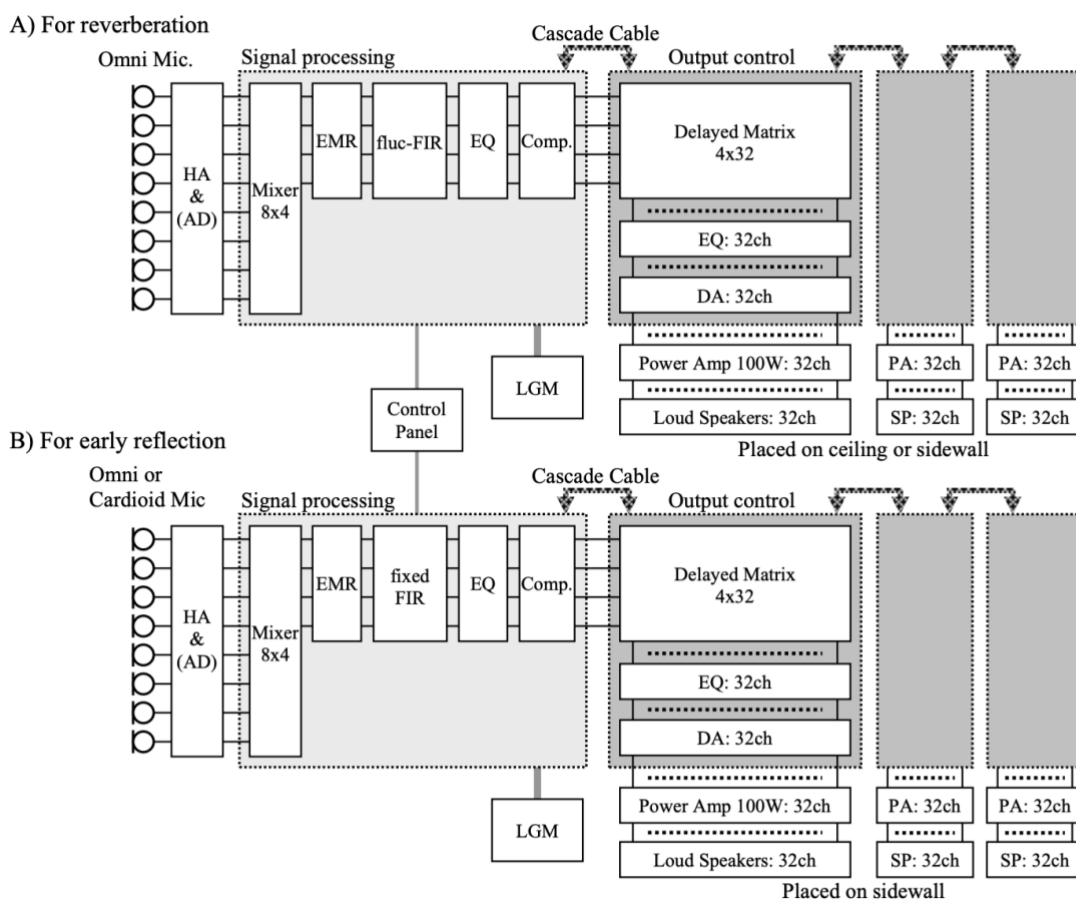


Abbildung 8: Blockdiagramm des AFC Systems

Miyazaki 2003: S.4.

Für die Wiedergabe des Nachhalls sind im Wand- und Deckenbereich die Lautsprecher angeordnet. Die Mikrofone befinden sich im Diffusschallfeld, aber noch deutlich in der Nähe des Quellbereichs. Das AFC-System ermöglicht, erzeugte Signale auch in der Mitte des Zuschauerbereichs aufzugreifen. Diese können dann über die

⁸² Ahnert/Tennhardt 2008: 259.

⁸³ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 259; Bakker 2012: ab Punkt 8.

Deckenlautsprecher eingespielt werden, was die wahrgenommene Räumlichkeit erhöht. Für die ersten Reflexionen werde zwischen vier und acht Mikrofone nahe der Quelle an der Decke angebracht. Alle Mikrofonsignale werden durch FIR-Filter geleitet. Von den Lautsprechern in den Seitenwänden werden diese als laterale Reflexion wiedergegeben. Bei der Anordnung der Lautsprecher wird darauf geachtet, dass eine Lokalisierung dieser nicht möglich ist, damit ihre erzeugte Reflexion natürlich erscheint.⁸⁴

Herzstück jedes AFC bildet der Hauptprozessor, in dem „diverse Matrix-Mischer, Delaylines, parametrische Equalizer und umfassende Routingfunktionen“⁸⁵ vereint sind. Die Weiterentwicklung des AFC3 hin zu AFC4 weist die Besonderheit auf, dass ein eigener Hauptprozessor entwickelt wurde, welcher, anders als bei AFC3, nicht auf der Mixing-Engine DME64N aufbaut.

3.2 Spezifische Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten

Der Electronic Microphone Rotator, kurz EMR, ist eine der zwei Komponenten der sog. Time Varying Control (TVC). Die Technologie ist seit 1997 von Yamaha patentiert. Das System ACF Enhance nutzt zur akustischen Kontrolle eine Rückkopplungsschleife. Dafür soll möglichst viel Energie zurückgespeist werden. Die Gefahr ist aber, dass bei zu viel Zurückspeisung unkontrollierte Rückkopplungen erfolgen. Um eine Kontrolle über die Rückkopplungsschleife zu haben, setzt das AFC Enhance-System auf die EMR-Technologie. Diese ermöglicht eine zeitliche Variation der Frequenzcharakteristik der Schleife. Die sogenannte Heulresistenz, im Englischen umschrieben mit howling resistance, wird dadurch signifikant erhöht. Der EMR verschiebt den Systemausgang, wodurch eine gleichmäßige Verteilung der Frequenzcharakteristik der Rückkopplungsschleife erzeugt wird. Die Zuweisung, welches Mikrofon auf welchen Ausgang zugeordnet wird erfolgt im Zyklus, welcher sich mit einer Zeitvariablen ändert. Der Übergang von Kanal zu Kanal erfolgt fließend. Zudem wird auf Amplitudenmodulation geachtet. Das heißt, dass das Zuweisungsverhältnis für jeden Kanal konstant bleibt. Für ein natürliches Klangbild wird der Rotationszyklus normalerweise im Bereich von 0,4-3,0 Hz eingestellt.⁸⁶

Der Fluctuating FIR, kurz fluc-FIR, ist die zweite Komponente der TVC und wurde durch Yamaha bereits 1991 patentiert. Bei der Enhance Version wurde die FIR-

⁸⁴ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 259.

⁸⁵ Yamaha AFC3 (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

⁸⁶ Vgl. Yamaha AFC Enhance (URL: letzter Abruf 04.12.2022); Miyazaki et al. 2003: 3.

Verarbeitungsleistung im Vergleich zu den Vorgängermodellen deutlich erhöht. Yamaha will so ermöglichen, selbst in toten Räumen, die kaum natürlichen Nachhall aufweisen, einen Reflexionsklang zu erzeugen, der natürlich und detailliert klingt. Laut Firmeninformationen wird mit einer Länge der Impulsantwort des simulierten Raumes von bis zu 10,666 Sekunden bei 48kHz bzw. 5,333 Sekunden bei 96kHz die Nachhallverlängerung realisiert.⁸⁷ Fluctuating FIR ist ein Filter, den sich Hallgeräte zu eigen machen, um Nachhall zu erzeugen. Die eingesetzten Kanäle verfügen je über ein FIR-basiertes Hallgerät. Die fluktuierende, also veränderliche, Komponente ermöglicht es, während der Einrichtung in dem Raum (Tuning) Frequenzgänge zu glätten und Färbungsprobleme zu verhindern. Kombiniert mit dem EMR erfolgt eine Verminderung der Heulpunkte und die Realisierung eines gleichmäßigen Frequenzgangs der Schleifenverstärkung.⁸⁸

Das AFC System nutzt gezielt die ersten Reflexionen, um den Raumeindruck zu ändern. Dafür werden Nachhall und erste Reflexionen (engl. Early Reflections) getrennt simuliert. Es kommen unterschiedliche Engines für Nachhall und Reflexion zum Einsatz. Der Nachhall beeinflusst maßgeblich die Lautstärke. Die ersten Reflexionen, die im Zeitraum von 50 ms (bei Sprache) bzw. 80 ms (bei Musik) bei den Zuhörerinnen und Zuhörern eintreffen, fördern die Klarheit. Um die Early Reflections zu kontrollieren, nehmen vier bis acht Mikrofone, die an der Decke möglichst nah an der Schallquelle positioniert sind, den Direktschall auf. Lautsprecher an der Seite geben die Reflexionen wieder, welche dabei so positioniert, dass die Zuhörerinnen und Zuhörer sie nicht lokalisieren können, um einen idealen Raumeindruck zu erzeugen.⁸⁹

Das System AFC Enhance ermöglicht es, akustische Energien im Raum gezielt zu verteilen. Das Patent auf das Energy Exchange hält Yamaha seit 1992. Eine aus vier Mikrofonen bestehende Engine kommt für den Energy Exchange zum Einsatz. Das Signal kann dadurch beliebig auf Lautsprecher verteilt werden. Mikrofone und Lautsprecher werden über Kreuz gekoppelt. So kann beispielsweise Musikerinnen und Musiker, die rechts sitzen, das links aufgenommene Signal ausgespielt werden und umgekehrt. Ziel ist es, dass sich die Musizierenden gegenseitig gut hören. Das System kam beim Saisonabschlusskonzert der Berliner Philharmonie auf der Waldbühne in Berlin zum Einsatz, wo der Verfasser der vorliegenden Arbeit bei Aufbau und Umsetzung hospitieren durfte.

⁸⁷ Vgl. Yamaha AFC Enhance, (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

⁸⁸ Vgl. Miyazaki et al. 2003: 3.

⁸⁹ Vgl. Miyazaki et al. 2003: 4; Meyer 2004: 155.

4 Ausgangsvoraussetzungen im TV-Studio in Mittweida

Im Folgenden wird das Fernsehstudio in Mittweida näher beschrieben. Es bildet den Untersuchungsrahmen für die vorliegende Arbeit. Zuerst werden die Erwartungen, die allgemein an ein Fernsehstudio gestellt werden, benannt und reflektiert. Anschließend werden die Ausgangsvoraussetzungen im Fernsehstudio in Mittweida skizziert. Dann wird beschrieben, wie die Messung der Raumimpulsantworten im Fernsehstudio Mittweida ohne Nutzung eines weiteren Systems, d.h. ohne AFC4, erfolgte. Vorgehen und Messergebnisse werden dafür dargelegt.

4.1 Erwartungen an ein TV-Studio allgemein und Situation des TV-Studios in Mittweida

„Die Anforderungen an ein Studio bzw. die günstigsten Werte der akustischen Daten eines Studios hängen von seiner Zweckbestimmung ab.“⁹⁰ Die Raumakustik eines Fernsehstudios ist für die Aufnahme von Fernsehsendungen ausgelegt. Im Mittelpunkt steht dabei die Sprache. Sie soll so verständlich wie möglich übertragen werden. Rauminformationen sollen dagegen möglichst nicht aufgenommen werden, um die Sprachverständlichkeit nicht zu beeinträchtigen. Die angestrebte Raumakustik ist „trocken“ und besitzt eine kurze Nachhallzeit, als Richtwert gelten 0,8 s.⁹¹ Für den Fall, dass Rauminformationen auf der Aufnahme wahrgenommen werden sollen, werden diese separat aufgenommen und später zugemischt. Das Merkmal der trockenen Raumakustik bildet für die vorliegende Arbeit ein entscheidendes Element.

Beim Hören dienen die ersten Reflexionen dazu, Lautstärke und Deutlichkeit zu erhöhen. Bei Mikrofonaufnahmen können die ersten Reflexionen, welche für das natürliche Schallfeld sinnvoll sind, das Klangbild negativ beeinflussen. Aufnahmen können durch zu zeitige oder zu starke erste Reflexionen einen Klang erhalten, der als "topfig" oder auch merkwürdig hallig beschrieben wird. Die Ursache dafür sind Schallrückwürfe, die zu früh oder zu stark erfolgen und im Vergleich zum Direktschall eine Verzögerung von 15 bis 50 ms haben.⁹²

In allen Studios, wo Sprache aufgenommen wird, gilt, dass die Nachhallzeit über 80 Hz gleichbleibend ist, unterhalb enthält die Sprache keine hörbaren Anteile. Dadurch entfällt

⁹⁰ Dickreiter 2014: 43.

⁹¹ Vgl. Dickreiter 2014: 38.

⁹² Vgl. Dickreiter 2014: 45.

die Entstehung von Raumresonanzen und bei der Aufbereitung des Sprachsignals werden tiefere Anteile herausgefiltert. Aus Kostengründen wird oft in TV-Studios darauf verzichtet, spezielle Tiefenabsorber einzubauen. Stattdessen kommen dicke Mineralfasermatten zum Einsatz, die für die Absorption ausreichend sind. „Kritisch sind bei Fernsehaufnahmen die Reflexionen an Kulissen, da diese Rückwürfe oft mit einer geringen, den Räumlichkeitseindruck ungünstig beeinflussenden Laufzeitdifferenz auf das Mikrofon treffen.“⁹³ Bei der Mikrofonierung ist darauf zu achten, dass alle Beteiligten direkt und ohne Störgeräusche aufgenommen werden. Die Mikrofone sollen möglichst nicht bzw. kaum sichtbar sein. Im Fokus bei der Mikrofonierung von Fernsehstudios stehen jedoch die Aspekte Ausfallsicherheit und Unterdrückung von störenden Geräuschen. Für ersteres wird mit mehreren Mikrofonen gearbeitet, sodass im Falle eines Ausfalls andere Mikrofone zugeschaltet werden können. Man spricht hier von sogenannten Panik-Mikrofonen, die oftmals an der Decke angebracht sind. Für letzteres kommen auch elektronische Systeme zum Einsatz. Ein- oder mehrkanalige Noise-Suppressor-Systeme sollen dafür sorgen, den oft enormen Störschallpegel⁹⁴ des TV-Studios zu minimieren.⁹⁵

Aus der vorangehenden Beschreibung wird deutlich: Die Anforderungen an ein TV-Studio sind gänzlich andere als an einen Konzertsaal. Sie unterscheiden sich hinsichtlich der Darbietungsform – Sprache im TV-Studio vs. Musik im Konzertsaal, ebenso wie hinsichtlich der optimalen Nachhallzeit – 0,8 s für ein großes TV-Studio vs. 2 s für einen Konzertsaal und hinsichtlich der Wahrnehmbarkeit von Rauminformationen – im TV-Studio unerwünscht vs. im Konzertsaal erwünscht.⁹⁶

Die Bedingungen im TV-Studio in Mittweida sollen nun nachfolgend beschrieben werden. Es handelt sich dabei um das TV-Studio, das zur Hochschule Mittweida gehört. Es wird für die Lehre und Forschung genutzt. Darin werden auch studentische Projekte und kommerzielle Produktionen umgesetzt. Das TV-Studio wurde nach einem langjährigen Förderer und Sponsor der Hochschule „Herbert E. Graus Studio“ benannt und im Januar 2015 feierlich eingeweiht. Das TV-Studio ermöglicht es Studierenden im Bereich Medien, unter realitätsnahen Bedingungen Praxiserfahrung bei TV-Studioproduktionen zu sammeln und bereichert darüber hinaus das Universitätsleben wie auch die Universitätsstadt allgemein.⁹⁷

⁹³ Dickreiter 2014: 46.

⁹⁴ Slavik 2014: 936 führt dazu aus: „Heiz- und Lüftungsanlagen, kopfbewegte und andere Scheinwerfer sowie Vorschaltgeräte und automatische Kamerasysteme verursachen [im TV-Studio] einen Grundgeräuschpegel, der oft nur noch elektronisch reduziert werden kann.“

⁹⁵ Vgl. Slavik 2014: 935f.

⁹⁶ Dickreiter 2014: 38.

⁹⁷ Vgl. Schille 2015 (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

Die Fläche des TV-Studios Mittweida beträgt rund 400 m².⁹⁸ Das Volumen des Studios beträgt rund 4200 m³ (berechnet aus der Messung der Technischen Zeichnung von TV Studio Mittweida vgl. Anhang unter Abb. 6). Bestuhlt ist das Fernsehstudio mit 176 Plätzen, die eine dünne, offenporige Polsterung von ca. 2 cm besitzen. Die Wände des Fernsehstudios bestehen aus Beton. Sie sind größtenteils mit Plattenabsorbern bestückt. Insbesondere im Zuschauerbereich sind solche Absorber an den Wänden angebracht. Hinter dem Vorhang befinden sich große poröse Absorber an der Wand. Diese haben einen Abstand von ca. 10 cm von der Wand. Weitere Tiefenabsorber sind im Bereich der Decke vorhanden. Eine Wand ist in Richtung der Decke geneigt, somit ist sie zur gegenüberliegenden Wand nicht parallel.

Während der Messungen, die für die vorliegende Untersuchung vorgenommen wurden, war das Fernsehstudio unbesetzt. Die Stühle waren hochgeklappt und im vorderen Bereich der Bühne war eine kleine Bestuhlung vorhanden (vgl. Anhang Abb. 3; 4). Der Vorhang war während der Messungen vollständig zugezogen und gleichmäßig gerafft. Im Bereich der Bühne befand sich eine kreisförmige Bühne aus Büttec-Platten mit einer Höhe von 20 cm und einem Durchmesser von 5m. Zwischen diesem Podest und der fest eingebauten Tribüne befanden sich weitere einzelne Stühle. Diese Anordnung entspricht der allgemeinen Gestaltung bei Veranstaltungen.

Die technische Ausstattung des TV-Studios in Mittweida umfasst folgendes Equipment: Sechs Mikrofone sind fest installiert für die Aufnahme der Atmosphäre bei Fernsehproduktionen mit Zuschauern. Raumsignale und Reaktionen der Zuschauer können so aufgezeichnet und bei Wunsch der Aufnahme gezielt zugemischt werden. Für Moderatoren und Gäste besteht mit einem Funk-Rack mit Sennheiser EM2000 die Möglichkeit, Taschensender mit Bügelmikrofonen zu kombinieren und diese einzubinden. Es können außerdem Handsender genutzt werden. Nicht selten kommt es vor, dass im TV-Studio in Mittweida Fernsehsendungen aufgezeichnet werden, in denen Musiker oder Bands auftreten. In diesem Fall steht eine Auswahl an Mikrofonen zur Verfügung, welche auch im Tonstudio der Hochschule Mittweida genutzt werden. Für die Einspeisung der analogen Audiosignale in das Dante-Netzwerk stehen zwei Yamaha Rio32-16 bereit. Die Signale werden für die Saal-Tonmischung mit dem Yamaha CL5 und für die Sendetonmischung mit der Yamaha DM 2000 bearbeitet. Die Beschallung der Zuschauer vor Ort erfolgt durch je nach Veranstaltung beliebig platzierbare Stereo-Subwoofer. Sie werden im Raum verteilt und sowohl auf der Studiofläche, dem Studioboden und im Kulissenbereich positioniert. Zur Bildaufnahme stehen vier große Kameras von GrassValley und ein kleiner Kamerakran zur Verfügung.

⁹⁸ Vgl. Schille 2015 (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

Das TV-Studio befand sich während der Messungen für die vorliegende Untersuchung in einem Zustand, der dem der Nutzung entspricht. Die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit wurden während der Zeit der Messung nicht genau bestimmt, können aber folgendermaßen geschätzt werden: Temperatur 22 °C und die Luftfeuchtigkeit 60 %.

4.2 Bestimmung der Nachhallzeit ohne Einsatz AFC4

Nachfolgend wird dargestellt, wie die Bestimmung der Nachhallzeit im TV-Studio in Mittweida erfolgte, ohne dass das System AFC4 zum Einsatz kam. Die Durchführung erfolgte am 28.09.2022 durch den Verfasser und Gerrit Carstens von Yamaha in Übereinstimmung mit ISO 3382 Teil 1. Das heißt, dass die Durchführung und Auswertung der in DIN ISO 3382-1:2009 beschriebenen Anforderungen entsprachen. Diese DIN gehört zur Kategorie Akustik und beschreibt die Messung von Parametern der Raumakustik. Sie wurde vom CEN am 14. Juni 2009 angenommen. Die DIN macht allgemeine Vorgaben und trifft Aussagen zu Messequipment, Messpositionen, Messverfahren, Messunsicherheiten, zur räumlichen Mittelwertbildung, Angabe der Ergebnisse. Teil 1 geht näher auf Aufführungsräume ein. Teil 2 beschäftigt sich mit gewöhnlichen Räumen. Die vorliegende Arbeit macht von Teil 1 der DIN ISO 3382-1:2009 Gebrauch.⁹⁹

Die DIN legt die raumakustische Qualität nur durch die Nachhallzeit fest. Dies tut sie zugleich mit dem Hinweis, dass für eine umfassende Bewertung des Raumes weitere Parameter notwendig sind. Diese beinhalten die Bestimmung „des relativen Schalldruckpegels, des Verhältnisses von früh zu spät eintreffender Energie, des Seitenschallgrads, interauraler Kreuzkorrelationsfunktion und des Störgeräuschpegels“.¹⁰⁰ Die Norm beginnt mit der Benennung des Anwendungsbereiches. Darauf folgen Begriffserklärungen für die Anwendung. Die DIN definiert auch, unter welchen Bedingungen die Messungen erfolgen sollen. Darunter zählen die Anforderungen an die Schallquelle, das Mikrofon, die Aufnahme- und Analysegeräte sowie die Bedingungen für die Messpositionen. Anschließend werden die genormten Messverfahren, die Messung mit abgeschaltetem Rauschen und die Impulsantwort erläutert. Darauf folgt die Festlegung für die Auswertung der Abklingkurven, welche den Auswertungsbereich für das Bestimmen der Nachhallzeit angeben. Der nächste Punkt beschreibt die Messunsicherheiten der beiden genutzten Messverfahren, woraufhin die Bildung des räumlichen Mittelwertes erklärt wird. Abgeschlossen werden die verbindlichen Festlegungen der DIN EN ISO 3382-1 mit den

⁹⁹ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: passim.

¹⁰⁰ DIN EN ISO 3382-1 2009: 4.

Vorgaben für die Angabe der Ergebnisse, welche die Darstellung der Kurven und Tabellen beschreiben, sowie die notwendigen Inhalte des Prüfberichts.¹⁰¹

Die Nachhallzeit beschreibt den Schallabfall um 60 dB (vgl. Punkt 2.1.2). Bei der Messung der Nachhallzeit wird gemäß der DIN der Schallpegelverlauf von -5 dB bis -35 dB ausgewertet. Anschließend werden die Messwerte extrapoliert.¹⁰² Das Vorgehen wird folgendermaßen begründet:

„Bei Messungen der Nachhallzeit ist besonders im tieffrequenten Bereich die geforderte Dynamik von 60 dB schwer zu erreichen, deshalb wird die Nachhallzeit normalerweise durch Messung des Schallpegelabfalls in einem Bereich von -5 dB bis -35 dB bestimmt, diese Zeit verdoppelt und dann als T30 bezeichnet.“¹⁰³

Die DIN gibt auch einen Ausblick darüber, welche Anwendungen bzw. Verfahren für eine künftige Normung möglich und angebracht sind. Es handelt sich dabei jedoch um weiterführende Informationen, nicht um verbindliche Festlegungen.¹⁰⁴ Als Grundlagen für weitere Messgrößen bietet sich die Impulsantwort als Messverfahren an, um die Messungen mit größerer Sicherheit untereinander zu vergleichen. Eine „Impulsantwort beschreibt die zeitliche Reaktion eines Übertragungssystems auf einen sehr kurzen [...] Impuls am Eingang.“¹⁰⁵ Ihr liegt die Verteilung der Reflexionen, die an einem Ort eintreffen, zugrunde. Das Schallfeld kann durch die Raumimpulsantwort vollständig beschrieben werden. Als Raumimpulsantwort wird die Abfolge von Schallrückwürfen bezeichnet, nachdem durch einen Schallimpuls in einem Raum eine entsprechende Anregung erfolgte. Auch störende Reflexionen wie beispielsweise ein unerwünschtes Echo werden so abgebildet.¹⁰⁶ Der Impuls am Eingang wird bei der Messung vom Lautsprecher in Form eines Sinus Sweep im Raum abgespielt. Zu dem Übertragungssystem gehören der Raum und alle darin befindlichen Einflussgrößen auf den Schall. Dieser breitet sich im Raum aus und wird mit dem Messmikrofon aufgenommen und nach Rück-Umrechnung als Impulsantwort abgespeichert. Ein weiterer Punkt der DIN bezieht sich darauf, dass aus der Impulsantwort heraus die zu Beginn genannten Messgrößen abzuleiten sind. Noch ist unklar, welche dieser Größen sich für eine Normung eignen.¹⁰⁷

Der räumliche Mittelwert wird aus dem arithmetischen Mittel gebildet. Dies kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Möglich ist die Mittelung getrennt für unterschiedliche Bereiche im Raum. Im Fall bei der Messung im TV-Studio wurden alle Messwerte genutzt,

¹⁰¹ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: passim.

¹⁰² Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: 6.

¹⁰³ Ahnert/Tennhardt 2008: 188.

¹⁰⁴ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: 4.

¹⁰⁵ Müller 2008: 1094.

¹⁰⁶ Vgl. Fasold/Veres 1998: 135; Müller 2008: 1094.

¹⁰⁷ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: 4

da dieser Raum nicht räumlich getrennt genutzt wird und damit im gesamten betrachtet werden muss (vgl. Anhang Tabelle 1).¹⁰⁸

Für das Messverfahren wurde gemäß DIN ISO 3382-1:2009 folgender Aufbau gewählt: Es kamen ein Mikrofon und ein Lautsprecher zum Einsatz. Das genutzte Messmikrofon war ein "iSEMic 760TR". Dieses wird nach IEC 61672 der Klasse 2 zugeordnet, was etwas größere Toleranzen aufweist, die aber nicht maßgeblich die Messung beeinflussen. Der Membrandurchmesser liegt mit 7 mm im Bereich der maximalen Größe von 13 mm.¹⁰⁹ Der genutzte Lautsprecher, der Dodek "Omni 5" der Firma ntek, erfüllt die Anforderungen an DIN 3382-1 in Bezug auf die zulässige Abweichung der Schallquelle.¹¹⁰ Die beschreiben, dass die Richtcharakteristik möglichst omnidirektional ist, also in alle Richtungen den Schall gleichmäßig abstrahlt.¹¹¹ Für die einfachere Positionierung im Raum wurde das Signal mit der Funkstrecke "Relay G55" von Line 6 übertragen. Dann wurde es mittels XLR-Kabel an das I/O Rack "Tio1608" geleitet. Über Dante wurde das Signal an den Laptop mit der Messsoftware "Smaartv8" weitergeleitet. Über Smaart v8 wurde der gesamte Messprozess gesteuert. An jeder Messposition wurden zwei Impulsantworten gemessen, von denen die Messsoftware Smaart v8 den Mittelwert gebildet hat. Diese gemittelte Impulsantwort und die Analyse der Raumparameter wurden als Messergebnis pro Position gespeichert.

In DIN EN ISO 3382-1 wird auf den Frequenzbereich der Messung verwiesen. Dieser sollte nach dem Zweck der Messungen ausgerichtet sein. Für das Standard- und das Präzisionsverfahren gilt, dass der Bereich von "125 Hz bis 4000 Hz in Oktavbändern oder 100 Hz bis 5000 Hz in Terzbändern"¹¹² untersucht werden soll. In der genutzten Literatur ist am häufigsten ein einzelner Wert für die Nachhallzeit angegeben, welcher sich auf die mittlere Nachhallzeit RT_m bezieht, wofür der Mittelwert der Messung von 500 Hz und 1000 Hz genutzt wird.¹¹³ Wird der Frequenzgang des Nachhalls detailliert dargestellt, dann wird das im Bereich von 125 Hz bis 4 kHz durchgeführt.¹¹⁴ In der Auswertung der Messung vom TV-Studio wird ein größerer Bereich von 63 Hz bis 8 kHz in Oktavbändern betrachtet. Angegeben werden die Messwerte in der vorliegenden Arbeit in Diagrammform und in Tabellenform im Anhang. Die Art der Darstellung und Größe des Diagramms sind in der DIN festgelegt, damit die Diagramme miteinander vergleichbar sind und keine verfälschte Einschätzung aufgrund falscher Größenverhältnisse entsteht. Zudem wird angegeben,

¹⁰⁸ Vgl. DIN EN ISO 3381-1 2009: 14.

¹⁰⁹ Vgl. iSemcon (URL: letzter Abruf 14.12.22); DIN EN ISO 3382-1 2009: 8.

¹¹⁰ Vgl. Datasheet Omni 5" Dodecahedral source: 10.

¹¹¹ Vgl. Ahnert/Tennhardt 2008: 188; DIN EN ISO 3382-1 2009: 7.

¹¹² DIN EN ISO 3382-1 2009: 10.

¹¹³ Vgl. Meyer 2004: 161; Beranek 2004: 504; DIN EN ISO 3382-1 2009: 15.

¹¹⁴ Vgl. Beranek 2004: 585-630

welche Inhalte im Prüfbericht enthalten sein sollen, wenn diese in Übereinstimmung mit der DIN EN ISO 3382-1 erfolgen.¹¹⁵

Bei der Messung wurden sechs Mikrofonpositionen erfasst. Das eingesetzte Mikrofon wurde dafür im Raum entsprechend an der gewählten Position platziert. Drei Positionen befanden sich auf dem Fußboden und drei im Bereich der fest verbauten Sitze (vgl. Abb. 9). Die Positionen wurden an typischen Hörbereichen im Raum verteilt und gemäß DIN 3382 entsprechend der Raumgröße gewählt. Die Höhe des Messmikrofons entsprach der Kopfhöhe der Zuschauer. Im Sitzen beträgt die Höhe 1,2 m.¹¹⁶ Die Positionierung der drei Lautsprecherpositionen erfolgte im Bühnenbereich, da dort der typische Ort der Schallquellen ist. Der Abstand zum Boden betrug 1,5 m (vgl. Anhang Abb. 3; 5). Mit der Positionierung wurden je Messdurchgang 18 Messwerte erfasst. Nach den sechs Mikrofonpositionen wurde die Lautsprecherposition geändert. Da mit drei Lautsprecherpositionen gearbeitet wurde, ergaben sich für die Mikrofonpositionen drei Runden und insgesamt pro Konstellation 18 Impulsantworten. Es erfolgten vier Durchgänge an jeder Messposition, jeweils ohne das AFC4 System und anschließend die drei Presets. Danach wurde zum nächsten Messpunkt gewechselt. Der Messablauf wurde dadurch effizienter gestaltet. Die Möglichkeit, bei geänderten Messpositionen die Ergebnisse der Messungen schlecht miteinander vergleichen zu können, wurde minimiert.

Die Messsoftware "Smaart" überträgt über Dante zum I/O Rack "Tio 1608" den Sinus Sweep. Dieser wird von dort an den Verstärker "AMG Mini" weitergeleitet. Dieser wiederum speist den Lautsprecher, den Dodek "Omni 5" vom Hersteller ntek. Von diesem wird der Sinus Sweep gleichmäßig verteilt in den Raum abgegeben. Der Sinus Sweep wird mitunter auch als linearer Sweep bezeichnet. Es handelt sich dabei um "ein sich kontinuierlich in der Frequenz erhöhender Ton, [...] [der] sich erzeugen [lässt], indem man die Gruppenlaufzeit, die proportional zur negativen Ableitung der Phase ist, linear mit der Frequenz ansteigen lässt"¹¹⁷. Der Sinus Sweep wurde in der vorliegenden Untersuchung mit der Messsoftware Smaart v8 erzeugt. Die mit dem Mikrofon gemessene Raumantwort wurde in die Raumimpulsantwort gewissermaßen "rückumgerechnet". In der DIN wird dieses Verfahren folgendermaßen begründet:

"In der Praxis ist es nicht möglich echte Diracsche Delta-Funktionen zu erzeugen und abzustrahlen, jedoch können kurze, transiente Schallvorgänge (z. B. von Pistolenschüssen) für praktische Messungen hinreichend genaue Näherungen bieten. Ein alternatives Messverfahren beruht jedoch auf der Verwendung einer Periode eines Signals vom Typ einer Maximalfolge (en: maximum-length sequence, MLS) oder eines anderen

¹¹⁵ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: 15.

¹¹⁶ Vgl. DIN EN ISO 3382-1 2009: 9f, 23f.

¹¹⁷ Müller 2008: 1098f.

deterministischen Signals mit flachem Spektrum wie ein Sinus-Sweep und Rück-Umrechnung der gemessenen Antwort in eine Impulsantwort.”¹¹⁸

Die Positionen werden mit Zahlenkombinationen angegeben. Die erste Nummer “1 -” gibt die Dodek Position an. Und die zweite Nummer “- 3” die Mikrofonposition. In dem Fall wäre “1 - 3” die Messkombination der Dodek Position 1 mit der Mikrofonposition 3.

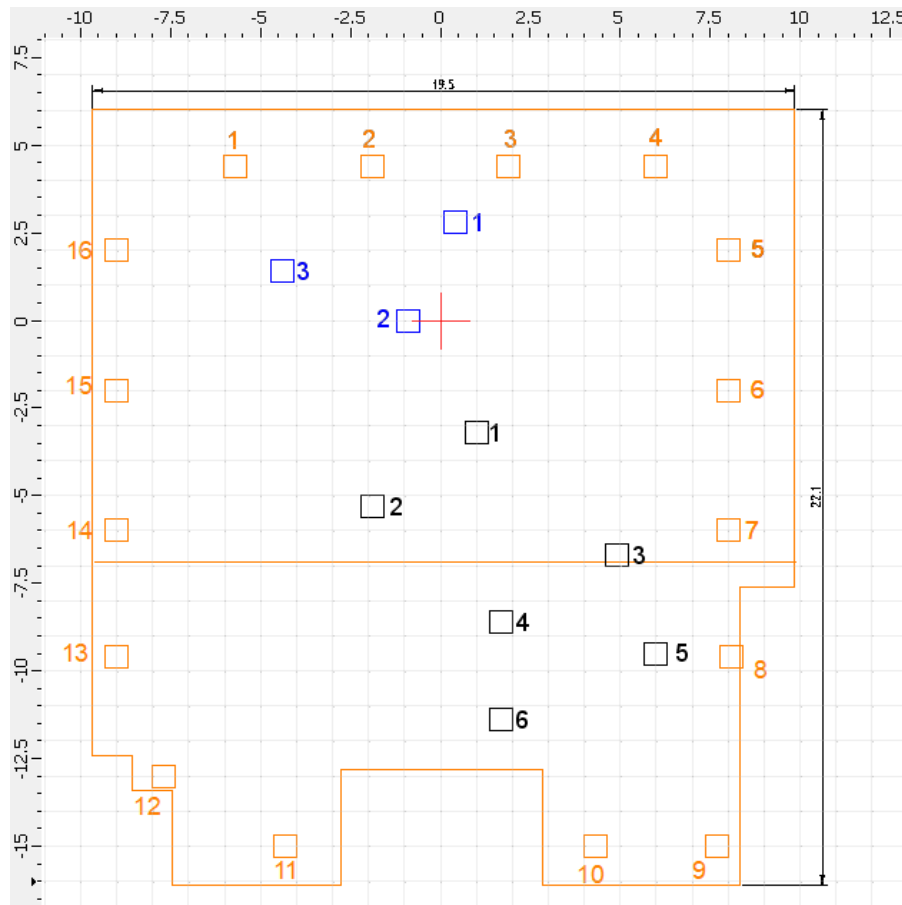


Abbildung 9: Grundriss TV-Studio mit eingezeichneten Messpositionen

Grafik des Verfassers.

Orange: Grundriss vom TV-Studio - Blau: Positionen vom Dodek

Schwarz: Positionen vom Messmikrofon

Folgende Beobachtungen können zur Messung der Nachhallzeit im TV-Studio in Mittweida, ohne dass AFC4 eingesetzt wurde, festgehalten werden: Die mittlere Nachhallzeit im TV-Studio beträgt 0,75 s. Im Diagramm sind alle Messpositionen grau dargestellt. Der Mittelwert aller Messpositionen ist die blaue Kurve und die beiden grünen Kurven, welche die Messwerte fast vollständig einschließen, sind der Toleranzbereich nach DIN 18041 (vgl. Abb. 10).

¹¹⁸ DIN EN ISO 3382-1 2009: 6.

Bei der Messung ohne AFC System liegt die Nachhallzeit zwischen 500 Hz und 2 kHz gleichbleibend bei 0,75 Sekunden. Unterhalb steigt die Nachhallzeit bei 250 Hz leicht an auf 0,81 s, weiter bei 125 Hz auf 1,04 s und bei der niedrigsten Oktavmittenfrequenz 63 Hz steigt sie über das Doppelte an auf 2,52 s. Die lange Nachhallzeit im Bereich der tiefen Frequenzen widerspiegelt die Eindrücke vor Ort im TV-Studio. Bei Sprache fällt dies nicht besonders auf, eher liegt die Frequenz im Bereich wie eine Kick-Drum eines Schlagzeugs, wo sich die Anhebung bemerkbar macht. Ab 2 kHz sinkt die Nachhallzeit leicht über 0,73 s bei 4 kHz auf 0,67 s bei 8 kHz ab. Bei einer kurzen Nachhallzeit wird von einer trockenen Akustik gesprochen. Dies erfüllt die Anforderungen an ein Fernsehstudio, da für saubere Aufnahmen so wenig wie möglich Raumeindruck erforderlich ist. Der Raumklang ist, besonders im Bereich der Sprache, neutral. Der Eindruck entsteht dadurch, dass kein Frequenzbereich durch den Raum hervorgehoben oder abgeschwächt wird.

Der Toleranzbereich ist auf Grundlage der DIN 18041 angelegt und mit einer optimalen Nachhallzeit von 0,8 Sekunden für ein großes Fernsehstudio dargestellt.¹¹⁹ Die Nachhallkurve liegt größtenteils in dem abgebildeten Bereich. Jedoch ist die Anhebung in Tiefen der Oktavmittenfrequenz von 63 Hz im Vergleich zum Toleranzbereich nach DIN 18041 zu groß. Nach Erkenntnis des Verfassers wurden nachträglich zusätzliche Absorber im TV-Studio installiert, um der starken Anhebung entgegenzuwirken. Da das Gehör weniger empfindlich für tiefe Frequenzen ist, fällt diese Anhebung in den tiefen Frequenzen weniger auf.

In Mittweida erfolgte die Messung vom Verfasser dieser Arbeit im unbesetzten TV-Studio. Genaue Aussagen zu den Werten im besetzten Studio können demnach nicht getroffen werden. In der DIN 18041 wird die empfohlene Nachhallzeit in Bezug auf den besetzten Raum beschrieben. Sie beschreibt die Hörsamkeit in Räumen, deren Ziel ist eine gute Sprachverständlichkeit bzw. optimale Nachhallzeit ist. Die Anforderungen sind die an die Nutzungsart gekoppelt.¹²⁰ Der genutzte Toleranzbereich wird auch so ähnlich in FASOLD/VERES dargestellt. Hier erfolgt die Unterscheidung in die Nutzungsart Musik und Sprache. Der Bereich, welcher sich in der DIN 18041 entnehmen lässt, vereint den Toleranzbereich.¹²¹

Der Toleranzbereich wird im Folgenden genutzt, um die Messung der Nachhallkurve einschätzen zu können und mögliche Unregelmäßigkeiten zu erkennen. Zum Vergleich die hier vorgestellten Werte mit denen eines besetzten Raums müsste die Absorption, die durch die Anwesenheit eines Publikums erfolgt, berücksichtigt werden. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit ist das jedoch nicht leistbar.

¹¹⁹ Vgl. Dickreiter 2014: 38.

¹²⁰ Vgl. DIN 18041 2016: passim.

¹²¹ Vgl. Fasold/Veres 1998: 130; DIN 18041 2016: 14.

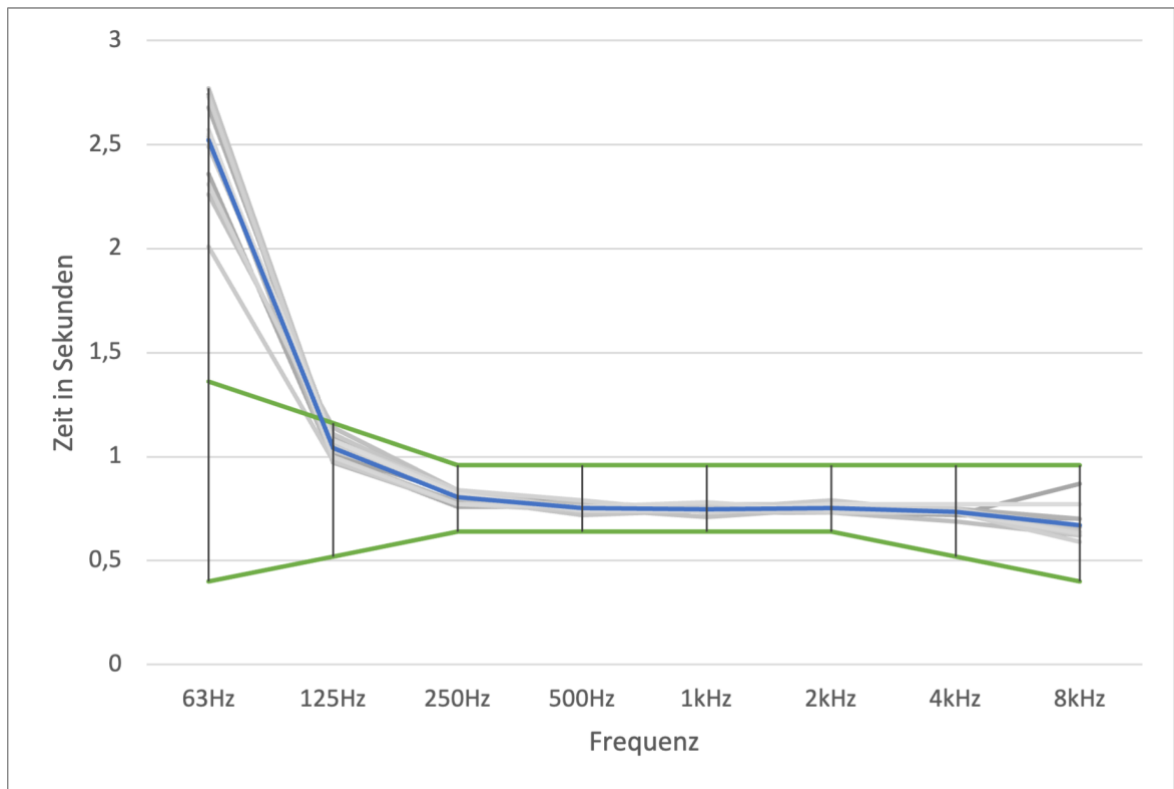


Abbildung 10: Nachhallzeit TV-Studio Mittweida in Oktavbandfilter

Grafik des Verfassers.

Grau: Messungen der einzelnen Positionen - Blau: Mittelwert aller Messpositionen

Grün: Toleranzbereich nach DIN 18041

Bei der Auswertung der erhobenen Daten wurde festgestellt, dass nicht alle Messungen an den Positionen optimal verliefen. Manche Messungen im Oktavband 63 Hz haben eine Nachhallzeit ergeben, die das 6-fache des normalen Durchschnitts der Nachhallzeit im Oktavband 63 Hz betrug. Die Messwerte, die diese starke Abweichung aufweisen, wurden weder in der Darstellung der Diagramme noch bei der Bildung der Mittelwerte berücksichtigt. Es handelt sich bei den dokumentierten Mittelwerten, insofern Unregelmäßigkeiten auftraten, um korrigierte Mittelwerte. Dieselbe Problematik trat auch bei der Messung der Nachhallzeit mit AFC4 auf. (Ausführung zur Messung mit AFC System siehe Punkt 5.2) Ein Muster ließ sich bei der Auswertung der Positionen nicht feststellen. Als mögliche Ursachen für die Abweichungen könnten Raummoden gelten, welche das Ergebnis beeinflusst haben. Als Raummoden werden Schallwellen in geschlossenen Räumen beschrieben, die eine Eigenfrequenz besitzen. Sie sind Indikatoren für Schwingungsknoten und -bäuche im Raum.¹²² Die Raummoden können sich aus der spezifischen Messposition ergeben. Eine andere mögliche Fehlerquelle könnte das Podest gewesen sein, auf dem der Dodek platziert wurde. Das Podest könnte zum Schwingen

¹²² Vgl. Maier 2008: 284f.

angeregt worden sein, sodass es als Resonanzkörper gewirkt hat. Das lässt sich aber nicht eindeutig bestätigen. Es sind weniger unregelmäßige Messwerte entstanden, wo der Dodek nicht auf dem Podest stand, aber sie blieben nicht völlig aus. Bei der Messung ohne AFC System liegen vier Messwerte deutlich über dem Mittelwert. Einmal sind diese doppelt so hoch und einmal überschreitet der Wert das 6-fache des normalen Mittelwertes (vgl. Tabelle1).¹²³ Ob das AFC System auf die Unregelmäßigkeit Auswirkungen hat, wird im Punkt 6 betrachtet.

Frequenz	Mittelwert ohne Unregelmäßigkeit in s	Position 1-5 in s	Position 1-6 in s	Position 3-4 in s	Position 3-6 in s
63 Hz	2,52	5,27	15,25	4,36	6,73
125 Hz	1,04	1,59	1,02	1,07	1,11
250 Hz	0,81	0,81	0,82	0,84	0,79
500 Hz	0,75	0,77	0,76	0,76	0,73
1 kHz	0,75	0,74	0,76	0,77	0,77
2 kHz	0,75	0,74	0,76	0,75	0,79
4 kHz	0,73	0,74	0,74	0,73	0,76
8 kHz	0,67	0,65	0,65	0,67	0,68

Tabelle 1: Übersicht Unregelmäßigkeit der Nachhallzeit, Messung ohne AFC System
Tabelle des Verfassers.

5 Einsatz des AFC4 im TV-Studio Mittweida

Kapitel 5 widmet sich des Einsatzes des AFC4 von Yamaha im TV-Studio der Hochschule Mittweida. Diesen führte der Verfasser dieser Arbeit am 28.09.2022 gemeinsam mit Gerrit Carstens durch. Die dafür notwendige Planung und Vorarbeit werden zunächst beschrieben. Anschließend werden die Messergebnisse präsentiert und eingeordnet. Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Überprüfung, inwieweit mit dem Acoustic Enhancement System AFC4 von Yamaha im TV-Studio Mittweida eine Akustik ähnlich der eines Konzertsaals geschaffen werden kann.

5.1 Vorarbeit und Planung

Vor den Messungen mit Einsatz des AFC4 im TV-Studio in Mittweida waren folgende Vorüberlegungen zu treffen: die Formulierung einer Zielsetzung, die Analyse des

¹²³ Im Anhang Tabelle 1 sind die Unregelmäßigkeiten in den Messwerten markiert.

Raums, die Auswahl und Beschaffung des technischen Equipments und die Planung der Versuchsanordnung. Auf Basis der Einsatzmöglichkeiten werden die optimalen Bedingungen bestimmt. Die bilden die Grundlage für die Auswahl des zu simulierenden Raums, der Venue. Unterschiedliche Programme flossen in die Phase der Vorarbeit und Planung ein. Mit der Software NS-1 von Nexo wurden nach dem Platzieren der Raumbegrenzungsflächen die Lautsprecher des Demo-Systems positioniert. Die Anordnung der Lautsprecher wurde, in den in QCAD erstellten Grundriss übertragen und die Delay-Abstände wurden gemessen. Das erfolgt mit der ausgewählten Venue. Danach begann die Einrichtung im TV-Studio mit dem Aufbau des AFC4 und der Anpassung an den Raum. Anschließend wurden die Presets erstellt.¹²⁴

Im Rahmen einer Präsentation des AFC4 durch Yamaha im Juni 2022 in Berlin wurde eine Berechnungsmöglichkeit der erreichbaren Nachhallzeit in einem optimalen Bereich vorgestellt. Dabei wird aus den Voraussetzungen des Raumes, dem durchschnittlichen Absorptionsgrad, den Raumabmessungen und der vorherrschenden Nachhallzeit, der mögliche optimale Bereich der Nachhallzeit im untersuchten Raum berechnet. Diese auf das vorliegende Projekt anzuwenden, würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Es sei an dieser Stelle auf das Material von Yamaha zur Vorhersage des optimalen Bereichs des AFC4 Systems verwiesen.¹²⁵

Die Begutachtung des Raums erfolgte unter folgenden Gesichtspunkten: architektonischer Aufbau, vorherrschende Akustik und übliche Nutzungsverhältnisse. Ausführlich wurden die Ausgangsvoraussetzungen des TV-Studios in Mittweida bereits im Punkt 4.1 beschrieben. Nach der Raumanalyse erfolgte die Erarbeitung der Einsatzmöglichkeiten des AFC4 für den eben untersuchten Raum. Daraus resultierend wurden folgende Anforderungen an den Einsatz des AFC4 Systems im Blick auf Nachhallzeit und Early Reflections formuliert: Für den Nachhall soll eine Zeit von 2 s erreicht werden, für die Early Decay Time wird zwischen 2,25 und 2,75 s angestrebt.¹²⁶ Auch der Einsatz von AFC Image, also dem Potential von Immersive Audio, wurde durchdacht. Yamaha bietet mit AFC Image eine weitere Nutzungsmöglichkeit, um Klangerlebnisse im Raum zu beeinflussen. Mit AFC Image kann die wahrgenommene Position des Klangs im Raum gesteuert werden. Die Steuerung von bis zu 128 objektbasierten Kanälen für immersiven Sound kann durch AFC Image unterstützt werden.¹²⁷ In die vorliegende Untersuchung fließt AFC Image jedoch nicht ein, da sie sich auf die Verstärkung und Verlängerung des Nachhalls im TV-Studio konzentriert.

¹²⁴ Vgl. Für Vorgehensweise bei der Planung eines AFC Systems: Watanabe, et al. 2020: passim.

¹²⁵ Vgl. Bakker 2022: Chapter 4.

¹²⁶ Vgl. Beranek 2004: 505f.

¹²⁷ Vgl. Yamaha AFC Image (URL: letzter Abruf 04.12.2022).

Zu einer vollständigen Planung gehört es, alle gewünschten Möglichkeiten für den Einsatz des gewählten Systems zu erfassen und die Umsetzung dann zu erfüllen. Generell hat das TV-Studio eine zu kurze Nachhallzeit für musikalische Darbietungen. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht das Ziel, im TV-Studio in Mittweida durch den Einsatz des Systems AFC4 eine Verlängerung der Nachhallzeit zu erreichen, die der eines Konzertsaals so ähnlich wie möglich ist. Da im Konzert ausschließlich Musik dargeboten wird, muss für die Schaffung einer optimalen Akustik wie in einem Konzertsaal eine starke Anhebung des Nachhalls erfolgen. FASOLD/VERES geben für einen Raum von 4200 m³ eine optimale Nachhallzeit von 1,7 s an, laut Dickreiter sind in einem Konzertsaal 2 s anzustreben.¹²⁸

Weitere Anpassungen der Akustik des TV-Studios je nach geplanter Raumnutzung wären ebenfalls mit dem System AFC4 möglich und könnten schon mit weniger starken Veränderungen der Nachhallzeit erreicht werden. Um eine bessere Verständlichkeit der Sprache zu erreichen und damit der unverstärkte Redner weniger Energie aufwenden muss, könnte eine leichte Verlängerung der Nachhallzeit angestrebt werden. Für diese Einstellung ist eine optimale mittlere Nachhallzeit von 1,15 Sekunden für ein Raumvolumen von 4200 m³ anzustreben.¹²⁹ Um eine optimale Nachhallzeit für die Darbietung von Kammermusik zu erschaffen, wäre ebenfalls eine geringe Verstärkung der Nachhallzeit anzustreben, sodass diese im Bereich von 0,7 bis 1,2 s liegt.¹³⁰ Das System AFC4 kann im TV-Studio auch eine Raumakustik ähnlich einer Oper erzeugen. Dafür ist eine mittlere Erhöhung der Raumenergie nötig, um die Verständlichkeit von Sprache und Gesang zu optimieren, wofür die optimale Nachhallzeit 1,5 s betragen sollte.¹³¹ Dass für die Oper eine kürzere Nachhallzeit als für einen Konzertsaal angestrebt wird, liegt darin begründet, dass bei der Oper Sprach- und Musikdarbietungen erfolgen. Diese kürzere Nachhallzeit soll für Deutlichkeit und ausreichende Textverständlichkeit der Darbietung sorgen.¹³²

Ausgehend von den beschriebenen architektonischen Bedingungen im TV-Studio in Mittweida, die auf eine hohe Sprachverständlichkeit ausgelegt sind, werden nun verschiedene Einsatzmöglichkeiten und Systemlösungen, die AFC4 bietet, vorgestellt. Da sich die vorliegende Arbeit maßgeblich mit der Nachhallzeit auseinandersetzt, beziehen sich die nun beschriebenen Anwendungsmöglichkeiten alle auf die Schallausbreitung und die optimale Nachhallzeit.

Sollen in einem TV-Studio akustische Voraussetzungen wie in einem Konzertsaal geschaffen werden, sind nicht nur die Bedingungen für die Hörer anzupassen. Auch die Musizierenden sind zu bedenken: Um erfolgreich miteinander Musik zu machen, ist es

¹²⁸ Vgl. Grafik bei Fasold/Veres 1998: 139; die Tabelle bei Dickreiter 2014: 38.

¹²⁹ Vgl. Grafik bei Fasold/Veres 1998: 139.

¹³⁰ Vgl. Tabelle bei Dickreiter 2014: 38.

¹³¹ Vgl. Tabelle bei Dickreiter 2014: 38.

¹³² Vgl. Meyer 2004: 183.

wichtig, dass sie sich gegenseitig hören. Um dieses Ziel in einem TV-Studio umzusetzen, ist mit dem AFC System im Bühnenbereich ein Energy Exchange von links nach rechts (1) sowie von rechts nach links (2) möglich (vgl. Abschnitt 3.2). Mit Blick auf die Hörerinnen und Hörer ist folgende Anpassung zu realisieren: Die akustische Energie des Orchesters muss entsprechend in den Besucherbereich übertragen werden (3), um für ein ansprechendes Klangerlebnis zu sorgen. Das erfolgt durch die Aufnahme mit Mikrofonen, welche über dem Orchester platziert sind. Die Signale werden, verarbeitet als erste Reflexionen, im Bereich der Hörer durch die platzierten Lautsprecher wiedergegeben. Das System kann und soll auch die "Kommunikation" unter den Zuhörern und den Musikern ermöglichen. Dafür ist es entscheidend, dass auch akustische Energie vom Publikum zum Orchester übertragen wird (4), denn dadurch erhalten die Musikerinnen und Musiker wertvolles Feedback. Das kann verwirklicht werden, indem das Signal der Mikrofone über dem Zuhörerbereich für die Musiker hörbar als erste Reflexionen im Bereich der Bühne verstärkt wird. Für den Raum allgemein ist zu erreichen, dass eine entsprechend lange Nachhallzeit ermöglicht wird und ein Raumeindruck erzeugt wird, der positiv mit dem Höreindruck korreliert (5). Das kann durch im Raum platzierte Mikrofone, die den vorhandenen Raumklang aufnehmen und das verstärkte Abspielen dieser Signale zurück in den Raum erreicht werden.

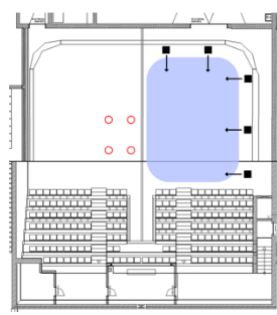
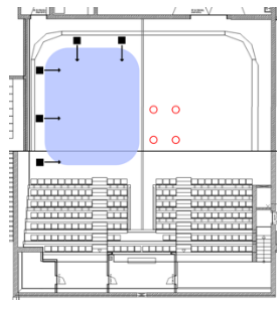
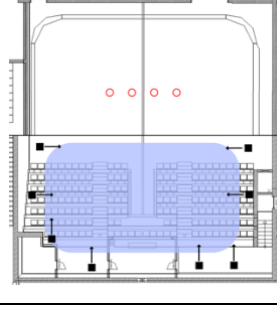
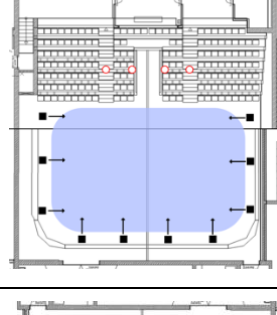
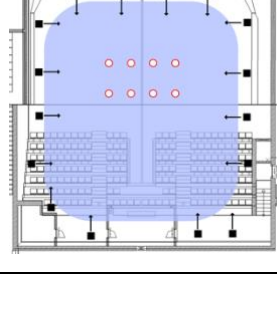
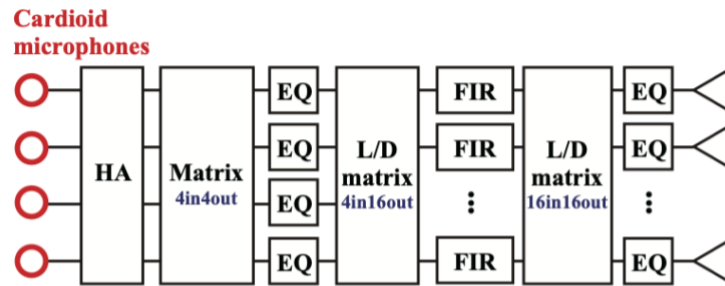
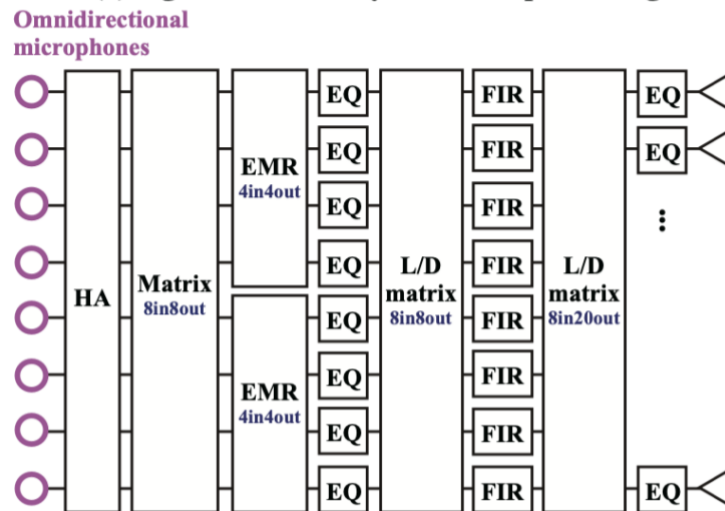
	Akustische Anforderung	Kategorie	Lösung des Systems	
(1) Orchesterbereich von links nach rechts	Bessere Verständigung der Musiker untereinander	Early Reflections		Mikrofone: 4 links über Orchester Lautsprecher: Um rechten Teil des Orchesters
(2) Orchesterbereich von rechts nach links	Bessere Verständigung der Musiker untereinander	Early Reflections		Mikrofone: 4 rechts über Orchester Lautsprecher: Um linken Teil des Orchesters
(3) Von Orchester zum Zuhörer	Raumgröße und Klarheit des Orchesters für Zuhörer	Early Reflections		Mikrofone: 4 über Orchester Lautsprecher: Um Zuschauer
(4) Von Zuhörer zum Orchester	Für Feedback von Zuhörer für die Musiker	Early Reflections		Mikrofone: 4 über Zuschauer Lautsprecher: Um Orchester
(5) Der gesamte Raum	Zum Verstärken des Nachhalls im gesamten Raum.	Reverberation		Mikrofone: 8 mittig im Raum Lautsprecher: Um gesamten Raum und Decke

Tabelle 2: Übersicht vom AFC Einsatz

Tabelle des Verfassers.



(a) Signal flow of early reflection processing



(b) Signal flow of reverberation processing

Abbildung 11: Blockschaltdiagramm AFC System

Hashimoto 2020: S.4.

In der vorliegenden Untersuchung kam das System AFC4 zum Einsatz (vgl. ausführlich dazu Punkt 3). Beim benutzten Demo System handelt es sich um die mobile Variante, die einfach zu transportieren ist. Dieses System wird auch genutzt, um AFC4 auf Konferenzen vorzustellen, zukünftige Anwender zu schulen und es potenziellen Kunden zu präsentieren. So kann die Funktionsweise des Systems kennengelernt werden, Potentiale des Einsatzes können benannt und Aspekte, die es zu beachten gibt, können angeführt werden. Im Zuge dessen können auch die Einsatzmöglichkeiten erläutert werden und es kann ein fachlicher Austausch über das System erfolgen.

Das Demo-System von Yamaha besteht aus:

- 16 ER Lautsprecher ID 24 von Nexo
- 16 Rev Lautsprecher VXS5 von Yamaha
- 4 Subwoofer IDS110 von Nexo
- 4 Kleinmembran Kondensatormikrofone mit Nierencharakteristik Sigma C
- 8 Kleinmembran Kondensatormikrofone mit Kugelcharakteristik Sigma O
- 16 Stative zum Aufstellen der Lautsprecher

- 5 Leistungsverstärker für die Verstärkung der Lautsprecher
- 1 Bassmanagement (1 Yamaha MRX7D)
- 1 Switch zum Verteilen vom Dante Netzwerk (Yamaha SWP1-16MMF)
- 1 Ein- und Ausgangs Rack
- 1 AFC4 Prozessor/Computer

Bei der Positionierung der Lautsprecher wurde die Software NS-1 von Nexo genutzt, da in ihr von allen genutzten Lautsprechern deren Abstrahlverhalten und maximaler Schalldruckpegel enthalten sind. Zuerst legte der Verfasser dieser Arbeit die Raumbegrenzungen des TV-Studios im Programm an. Grundlegend dafür war der Grundriss des Studios, zur Verfügung gestellt. Es wurde der Boden, die Wände, die Begrenzungen und vereinfacht die Tribüne eingezeichnet. Darauf folgte die gleichmäßige Platzierung der Lautsprecher. Da mit dem Demo System gearbeitet wurde, erschien eine gleichmäßige Verteilung der Lautsprecher am sinnvollsten, um ein gutes Ergebnis zu erzielen (vgl. Anhang Abb. 7; 8).

Wenn der Anzahl der Lautsprecher weniger Grenzen gesetzt sind, ist es einerseits entscheidend, den Abstand zwischen den Lautsprechern sowie den Abstand zwischen Zuhörer und Lautsprecher entsprechend groß zu wählen. Denn es soll nicht ein einzelner Lautsprecher, sondern der Raumklang wahrgenommen werden, der von den Lautsprechern insgesamt wiedergegeben wird. Der Abstand muss so gewählt werden, dass einzelne Lautsprecher nicht lokalisiert werden können.¹³³ Andererseits ist die Anzahl und Platzierung der Lautsprecher auch von den Gegebenheiten vor Ort abhängig. So kann die Platzierung auch zwischen Wandverzierungen, an der Außenseite eines Rangs oder an Säulen erfolgen.

Die Lautsprecher, die den Raum mit den ersten Reflexionen versorgen, werden gleichmäßig ringsherum verteilt. Ziel ist es eine gute Wahrnehmung der ersten Reflexionen im gesamten benötigten Bereich zu erreichen. Die Reverberation Lautsprecher sind im Deckenbereich angebracht, diese verstärken den Nachhall, welcher regenerativ und In-line erzeugt wurde. An dieser Position können viele Lautsprecher platziert werden, die den Diffusschall verteilen. Denn für eine gute Wirkung ist kein Richtungsbezug für den Hörer notwendig.

Im Fall des Demo Systems weicht die Positionierung der Reverberation Lautsprecher ab. Weil bei einer mobilen Version des AFC Systems die umständliche Platzierung an der

¹³³ Dafür kann der Abstand zwischen den Lautsprechern als geringste Entfernung zum Zuhörer beschrieben werden. Abgeleitet vom Abstand für Stereo-Wiedergaben gilt: mit dem Öffnungswinkel von 60° entsteht ein gleichseitiges Dreieck als Empfehlung der Abstände zwischen Hörer und Lautsprecher. Ziel ist die richtige Abbildung der Phantomschallquellen, welche zwischen den Lautsprechern entstehen. Vgl. Slavik/Weinzierl 2008: 611.

Decke eines Raumes nicht praktikabel ist, wird eine Lösung auf dem Stativ genutzt. Mit einfachem Auf- und Abbau des Systems kann für den Hörer mit ausreichend Abstand zu den Stativen ein gutes Ergebnis erzielt werden. Da der diffuse Nachhall nicht aus einer bestimmten Richtung wahrgenommen werden muss, ist diese Variante erfolgreich.¹³⁴ Eine Einschränkung in Bezug auf den Energy Exchange für Musiker auf der Bühne ist durch die andere Position schon anzunehmen. Darin lag nicht die Aufgabe der vorliegenden Arbeit.

Die Berechnung der Delay-Zeiten ist notwendig für die korrekte Verzögerung der Early Reflection Lautsprecher. Verzögerung der ersten Reflexionen sind für die mit dem AFC System simulierte und damit empfundene Raumgröße entscheidend (wie in 2.1.1 beschrieben). Grundlage dafür bildet der Zusammenhang zwischen der zurückgelegten Strecke s in der dafür notwendigen Zeit t mit der Geschwindigkeit der Schallausbreitung c .

$$t = \frac{s}{c}$$

Die Schallgeschwindigkeit c beträgt bei 20 °C Lufttemperatur 344 m/s.¹³⁵ Die Zeit t gilt es zu berechnen. Die zurückgelegte Wegstrecke ergibt sich aus der Position des Lautsprechers, der Quellposition und Entfernung der zu simulierenden Wand. Die Delay Zeit hat die Länge, die das AFC-System das auszugebende Signal verzögern muss.

Das Signal wird von der Quelle aufgenommen, dann vom System verarbeitet und anschließend vom Lautsprecher wiedergegeben, um dann auf natürlichem Weg zum Hörer zu gelangen. Den Weg, des Schalls von der Schallquelle hin zur simulierten Wand und wieder zurück zum Hörer gilt es zu berechnen. Diese Zeitverzögerung kann im System mittels Delay eingestellt werden. Für den Weg ergibt sich die Strecke von der Schallquelle (rotes Kreuz) zur simulierten Wand s_{SW} und zurück zur Position des ER-Lautsprecher s_{WE} (vgl. Abb. 12). Der natürliche Weg von der Schallquelle zum Mikrofon s_H ist nicht zu vernachlässigen und wird von der Summe abgezogen.¹³⁶ Bei der Einrichtung im TV-Studio betrug die Höhe des Mikrofons 4m. Damit ergibt sich für die angewandte Formel:¹³⁷

$$t[ms] = \frac{s_{SW} + s_{WE} - s_H}{c} * 1000$$

¹³⁴ Für die Messung ist zu beachten, dass ausreichend Abstand zwischen Lautsprecher und Messmikrofon vorhanden sein sollte.

¹³⁵ Vgl. Dickreiter 2014: 11.

¹³⁶ Im Fall des TV-Studios betrug die Höhe 4 m.

¹³⁷ Für Ergebnisse der Berechnung beider genutzten Venues vgl. Anhang Abb. 9; 10.

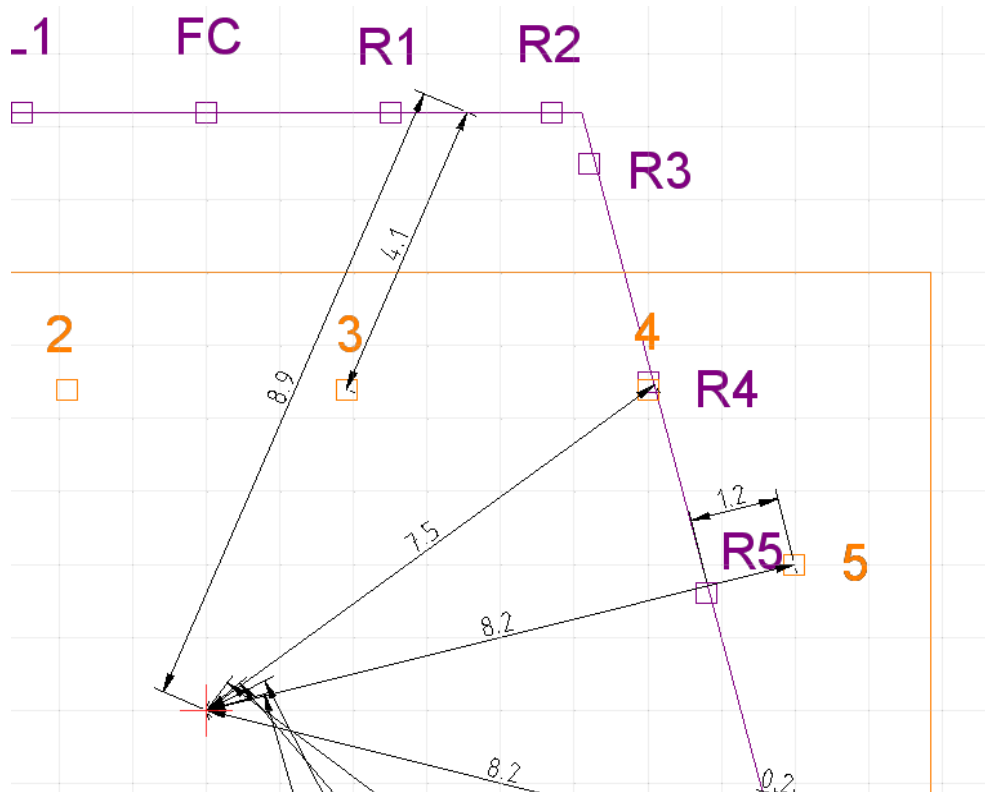


Abbildung 12: Delay Berechnung, Ausschnitt Venue C

Grafik des Verfassers.

Mit dem AFC4 System besteht die Möglichkeit, unterschiedliche Venues auszuwählen. Diese bilden die Basis, mit dem AFC System unterschiedliche Räume nachzubilden. Diese erstrecken sich von der Größe eines Proberaums für mit einer Nachhallzeit von 1,3 s bis zu einer Kathedrale mit einer Nachhallzeit von 4,8 s.¹³⁸ In den fünf Räumen A-F wurden die Raumimpulsantworten gemessen, um mit dem In-line Anteil des AFC Systems angewendet zu werden. Auf dieser Grundlage können mit dem AFC System unterschiedliche Einstellungen erstellt werden, welche als Presets bezeichnet werden. Auch die Berechnung der Delay-Zeiten beruht auf den Grundrissen dieser gemessenen Venues.

Der Aufbau in Mittweida erfolgte maßgeblich durch den Verfasser dieser Arbeit und Gerrit Carstens, die zusätzliche Unterstützung durch Kommilitonen des Verfassers erhielten. Folgendermaßen gestaltete sich im TV-Studio in Mittweida der Aufbau des Demo-Systems: Die benötigten Utensilien waren jeweils in FlightCases verpackt. Zuerst wurden die Stative auf die zuvor ausgewählte Position gestellt und daraufhin die Lautsprecher auf den Stativen montiert. Auf einer Höhe von 1,7 m wurden die Early Reflection Lautsprecher angebracht und auf einer Höhe von 2,5 m die Reverberation Lautsprecher (vgl. Anhang Abb.: 2). Die Lautsprecher wurden dann mit den Verstärkern verkabelt. Mit Lastzügen wurden die Mikrofone in die Decke gehangen und über Multicore an das Ein- und Ausgangsrack angeschlossen. Anschließend wurde alles für die Signalübertragung per

¹³⁸ Vgl. AFC Demo System Manual 2021: 9.

Dante-Netzwerk verbunden. Um sicherzugehen, dass der Aufbau korrekt erfolgte und alles richtig verkabelt war, erfolgte der System-Test. Dieser hat problemlos funktioniert. Somit bestand Gewissheit darüber, dass alles korrekt aufgebaut ist und nun die Einrichtung der Software erfolgen kann.

Die Einrichtung der Software dient dazu, das System auf den Raum anzupassen und sicherzustellen, dass keine einzelnen Frequenzen auffallen und somit der Raumklang negativ beeinflusst wird. Je nach Raumakustik werden in einem Raum Frequenzen unterschiedlich laut wiedergegeben. Wenn die Einstellung nicht korrekt erfolgt, kann das System instabil sein und es kann zu einem unharmonischen Klang kommen. Das wird durch den regenerativen Anteil des AFC Systems verursacht. Dessen gesamte Verstärkung wird Loop Gain genannt. Um das System nicht in diese Instabilität zu führen und das Übersprechen zwischen Lautsprecher und Mikrofon zu verringern, muss der Loop Gain gering sein. Das benötigt viele Mikrofone und Lautsprecher. Trotzdem kann es dazukommen, dass bestimmte Frequenzen stärker im Raum zu hören sind, als es auf natürliche Weise wäre. Dieser Klang, der sich als Aufschwingen einzelner Frequenzen bemerkbar macht, wird Colouration bzw. Ringing (leichte Rückkopplungen) genannt.¹³⁹ Poletti formuliert in Anlehnung an Kuttruff zu ersterem: "Colouration can be quantified by the statistics of the transfer function magnitudes in the assisted room transfer functions or by the variance in the decay rates of the assisted room modes"¹⁴⁰. Ringing entsteht bei der Rückkopplung zwischen Mikrofon und Lautsprecher, wenn bei gleichbleibenden Abstand die Verstärkung zu groß ist. Diese beiden Zustände galt es durch das Tuning zu vermeiden.

Unter Tuning ist die Kalibrierung der Filter bzw. Equaliser für den Raum zu verstehen. Diese Einstellung muss stets raumspezifisch erfolgen. Das Tuning erfolgte in zwei Schritten. Zuerst erfolgte das Auto-Tuning mit dem Tuning-Tool¹⁴¹ von Yamaha, welches mit abgeschaltetem Rauschen den Frequenzgang der Lautsprecher korrigiert. Das Tool von Yamaha ist mit dem AFC-Editor verknüpft und wird lediglich für die Einrichtung des Presets genutzt. Mit dem AFC-Editor wird die Einrichtung des AFC Prozessor durchgeführt. Darüber kann auf alle Einstellungen, die im AFC-System möglich sind, zugegriffen werden.

Ist das Auto-Tuning beendet, werden die automatisch erzeugten Einstellungen angehört und der Fortschritt des Tunings überprüft. Dafür wird der Raum mit einem Geräusch angeregt, um den entstandenen Raumklang zu beurteilen. Darauf folgte das manuelle Tuning. Dabei wird wieder Rauschen über Lautsprecher abgespielt und der Frequenzgang

¹³⁹ Vgl. Poletti 1994b: 269.

¹⁴⁰ Poletti 1994a: 511.

¹⁴¹ Mit der Verknüpfung zum AFC-Editor wird die Übertragungsfunktion eines Loops, also das Signal zwischen einem Mikrofon und einem Lautsprecher, ermittelt und anschließend mit dem Equaliser vom Programm selbst korrigiert.

wird mit der Software smart ermittelt und manuell im AFC Editor angepasst. Dafür stehen pro Mikrofonkanal drei 8-Band parametrische Equaliser im AFC-Editor zur Verfügung.

Die Grundlage für die Auswahl, welche Presets erstellt werden, ist die Analyse der Nutzungsmöglichkeiten. Ziel für eine möglichst vielfältige Nutzung wären als Grundlage vier Presets, wie die Abstufungen zu Beginn des Kapitels beschrieben sind (siehe weiter oben bei: Einsatzmöglichkeiten vom AFC System). Für das Ziel der Arbeit, die Akustik eines Konzertsaals im TV-Studio zu schaffen, bieten sich an: Venue C mit dem Volumen des gemessenen Raums von 5710 m³ und einer Nachhallzeit von 1,9 s, gut geeignet ist auch Venue D mit einem Volumen von 13041 m³ und einer Nachhallzeit von 2,4 s.¹⁴² Diese beiden Ursprungsräume stimmen am besten mit den Zielerfordernissen überein, wobei die Faktoren Raumgröße und Nachhallzeit eine Rolle gespielt haben. Mit den ausgewählten Venues und deren Werte waren es die besten Grundvoraussetzungen, die optimale Nachhallzeit eines Konzertsaals von 2,0 s zu erreichen.

Insgesamt wurden drei Presets gemessen, mit denen dieses Ziel erreicht werden sollte. Einmal wurde das mit Venue D und der Anpassung auf den Raum mit Auto Tuning und manueller Verbesserung das Preset D erstellt. Mit Venue C sind zwei Presets entstanden. Mit den Veränderungen der Liveness, also der Verstärkung, mit der das Preset berechnet wird und der Änderung des Decay, also der Länge des Nachhalls, sind zwei Presets mit Venue C entstanden. Das Preset C1,4 hat eine Decay-Länge von 90 % von der Original Venue C und die Liveness Verstärkung liegt bei -1 dB. Beim Preset C92 wurde die Decay-Länge um 2 % auf 92 % erhöht und die Liveness Verstärkung auf 3 dB vergrößert. Mit dieser Anpassung des Presets wurde eine Abstufung geschaffen, damit können vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bedient werden.

5.2 Bestimmung der Nachhallzeit mit Einsatz AFC4

Die Vorgehensweise der Messung ist im Wesentlichen identisch mit dem Vorgehen, das in Punkt 4.2 beschrieben wurde. Der entscheidende Unterschied liegt darin, dass nun das System AFC4 zur Anwendung kam. Der Aufbau, also die Signalführung und die Messpositionen, wurde beibehalten. Erneut kamen das Messmikrofon "iSEMic 760TR" und der Dodek "Omni 5" mit Verstärker zum Einsatz. Die Messung wurde jedoch in anderen Konstellationen durchgeführt. Insgesamt wurden drei Presets gemessen, die zuvor für das TV-Studio eingerichtet wurden.

¹⁴² Vgl. AFC Demo System Manual 2021: 9; Für einen Größenvergleich von den Venues zum TV-Studio siehe Anhang Abb. 9; 10.

In der genutzten Literatur ist nicht immer eindeutig beschrieben, in welchem Zustand sich der Aufführungsraum bei der Messung befindet, von dem die Nachhallzeit angegeben wird.¹⁴³ Dennoch lässt sich erschließen, dass die genannten optimalen Werte in der Literatur sich auf den besetzten Zustand der Säle beziehen. Denn die Nachhallzeiten von einem Raum in besetzten und unbesetzten Zustand können sich maßgeblich voneinander unterscheiden, entscheidend ist dabei die Bestuhlung. Wenn diese nicht so beschaffen ist, dass sie den absorbierenden Eigenschaften eines Publikums ähnelt, dann ist der Unterschied zwischen den Zuständen besonders groß. Im Musikvereinsaal Wien mit ungepolsterten Holzstühlen beträgt der Unterschied bei 500 Hz in der Nachhallzeit über 1,5 s.¹⁴⁴

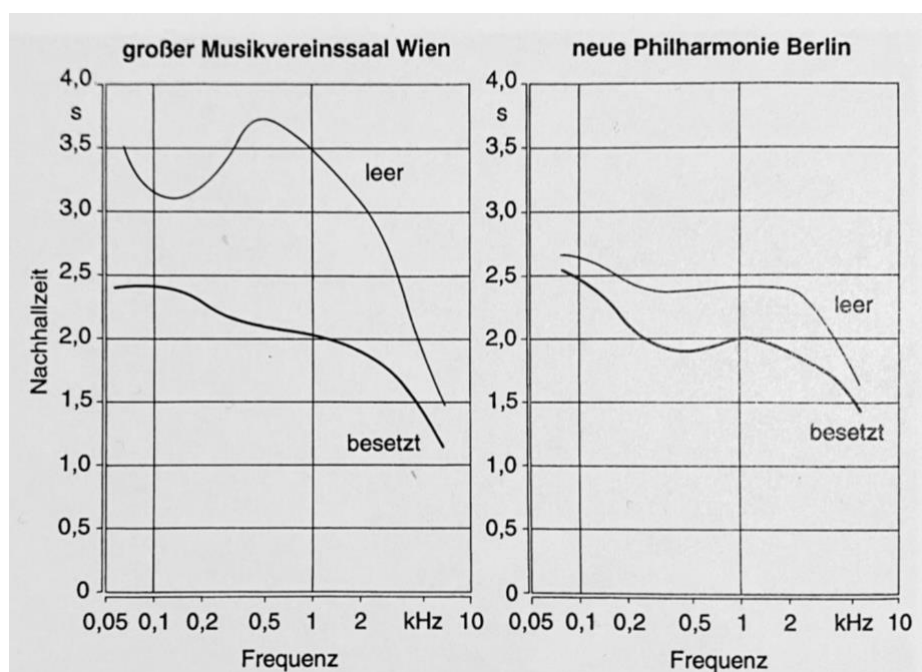


Abbildung 13: Nachhallkurven zweier Konzertsäle

Meyer 2004: 164.

In den folgenden Diagrammen sind die Messwerte aller Positionen in Graustufen dargestellt. Eine Ebene darüber liegt in Blau der arithmetische Mittelwert der Messwerte. Diese Darstellung gilt für alle folgenden Diagramme, welche die Messwerte präsentieren. Die Nachhallkurve, welche die Mittelwerte vom Preset C1,4 anzeigt, sinkt mit jeder ansteigenden Oktavmittelfrequenz ab. Die längste Nachhallzeit ist damit bei 63 Hz und 2,52 s und die kürzeste bei 8 kHz mit 1,23 s. Somit beträgt diese 2,15 s bei 125 Hz, worauf 1,9 s bei 250 Hz folgt. Bei der nächsthöheren Oktavmittelfrequenz 500 Hz erreicht der Mittelwert 1,6 s und bei der nächsten 1 kHz beträgt die Nachhallzeit 1,57 s. Bei 2 kHz

¹⁴³ Vgl. Dickreiter 2014: 38; Fasold/Veres 1998: 139.

¹⁴⁴ Vgl. Meyer 2004: 164f.

erreicht sie 1,5 s und bei 4 kHz beträgt die Nachhallzeit 1,35 s (für alle Messwerte und den Mittelwert siehe Anhang Tabelle 1 Preset C1,4).

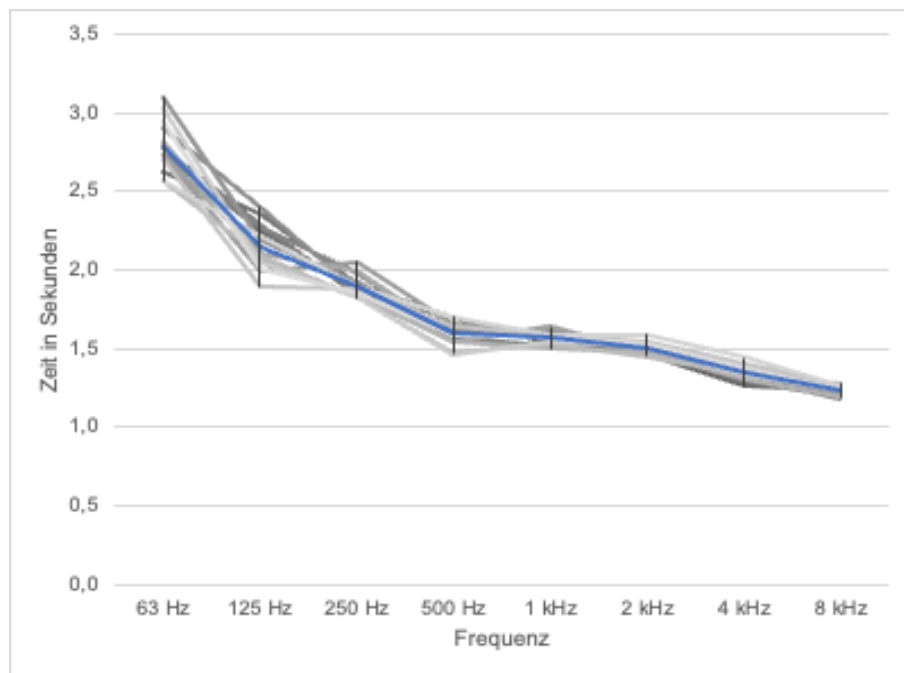


Abbildung 14: Nachhallkurve Preset C1,4

Grafik des Verfassers.

Graustufen: Einzelne Messpositionen - Blau: Mittelwert

Das Preset C1,4 eignet sich gut für den Einsatz, um einen Nachhall, wie in einem Opernhaus, zu erreichen. In einem Opernhaus liegt die optimale mittlere Nachhallzeit bei 1,5 Sekunden.¹⁴⁵ Die mittlere Nachhallzeit des Preset C1,4 liegt bei 1,59 s, also nahe dem optimalen Wert. Wenn das TV-Studio mit Publikum gefüllt ist und möglicherweise auch noch ein Bühnenbild vorhanden ist, dann sinkt dadurch die Nachhallzeit noch etwas und trifft damit gut den Richtwert der mittleren Nachhallzeit für Opernhäuser. Wenn die Nachhallzeit durch zusätzliche Absorption, z.B. Publikum und Bühnenbild, sich so weit verringert, dass sie im Bereich von 1,2 s liegt, dann wäre das Preset auch für Theater geeignet. Bei den Messungen war bei dem Preset C1,4, der Klangeindruck des Raumes, dass die Lautstärke des Nachhalls nicht zu auffällig war und keine besonderen Frequenzen, die die Klangfarbe beeinflussten, aufgetreten sind. Der Raumklang wirkte dadurch abgerundet. Die Nachhallzeit wurde deutlich verlängert, dennoch lag diese noch nicht in dem Bereich von einem Konzertsaal.

Vom Preset C1,4 zum Preset C92 erfolgte die Anpassung der Liveness, welche auf 3 dB und des Decays welches auf 92 % im AFC-Editor erhöht wurde. Dies erfolgte mit dem Ziel,

¹⁴⁵ Die kürzere Nachhallzeit fördert die Sprachverständlichkeit der Sänger und Schauspieler. Vgl. Dickreiter 2014: 38.

mit der gleichen Ausgangs-Venue ein weiteres Preset zu realisieren und damit eine weitere Nutzungsmöglichkeit mit einer etwas längeren Nachhallzeit aufzuzeigen.

Der Mittelwert der einzelnen Nachhallzeiten liegt bei der Oktavmittenfrequenz von 63 Hz bei 3,87 s und bei 125 Hz bei 3,19 s. Die Nachhallkurve fällt weiter auf bei 250 Hz mit 2,9 s. Eine Anhebung in den tiefen Frequenzen, unterhalb von 250 Hz wirkt sich positiv auf die Grundtonlagen der Blasinstrumente eines Orchesters aus. Denn diese Anteile der Instrumente werden schlechter abgestrahlt, deshalb wirkt sich eine Verstärkung im Bassbereich durch den Raum gut auf den Gesamtklang des Orchesters aus.¹⁴⁶

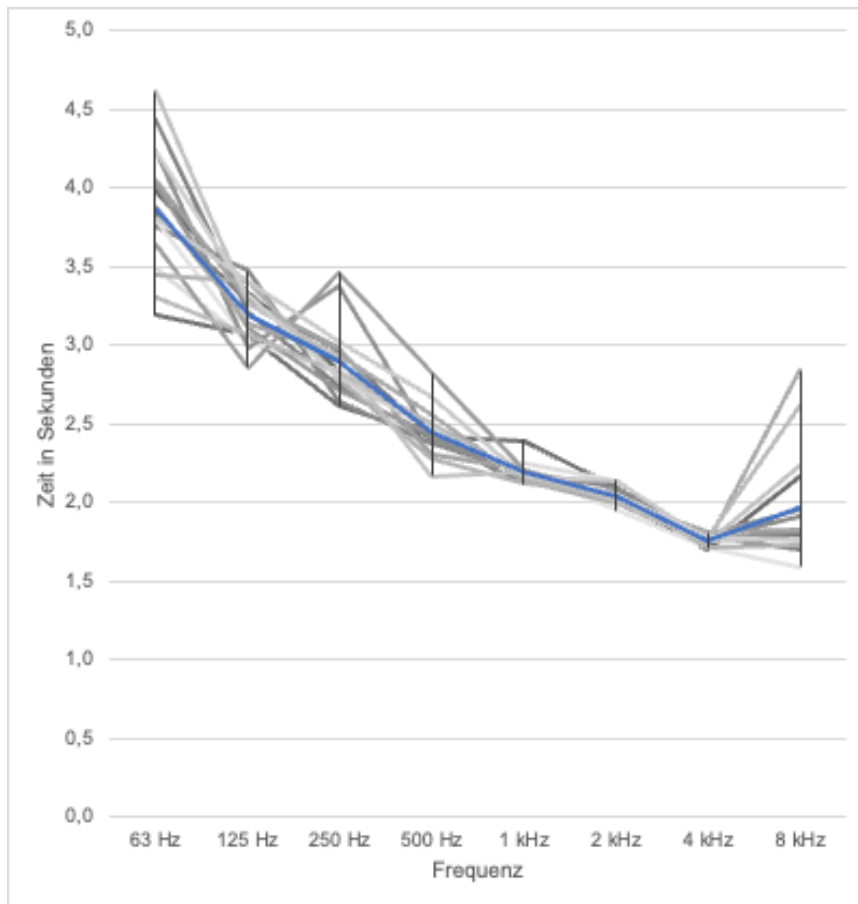


Abbildung 15: Nachhallzeit Preset C92 in Oktavbandfilter

Grafik des Verfassers.

Grau: Messwerte aller Positionen - Blau: Mittelwert aller Messpositionen

Bei 500 Hz beträgt der Wert der Nachhallzeit bei 2,44 s, anschließend sinkt sie weiter, über 2,19 s bei 1 kHz und 2,04 s bei 2 kHz bis zu 4 kHz mit 1,76 s. Bei der Oktavmittenfrequenz 8 kHz gibt es einen ungewöhnlichen Anstieg in den Höhen auf 1,96 s. Dies tritt in keiner anderen Konstellation auf. Dieses Messergebnis ist im Vergleich zu den andern drei Konstellationen eine Ausnahme. In DICKREITER 2014 wird in Bezug auf hohe Frequenzen der Nachhallzeit beschrieben: Die Absorption durch Luft nimmt in den hohen Frequenzen

¹⁴⁶ Vgl. Meyer 2004: 164.

den größten Anteil der Absorption ein, wodurch die Nachhallzeit über 1 bzw. 2 kHz absinkt. “Dadurch kann die Nachhallzeit 3,1 s bei 5 kHz und 1,2 s bei 10 kHz niemals überschreiten.”¹⁴⁷ Diese obere Grenze wird im folgenden Diagramm mit der Messung des Presets C92 gegenübergestellt. Die Darstellung weicht aber von der bisherigen ab.

Die Nachhallkurve wurde in Terzbandfilter dargestellt. Der Vorteil davon ist, dass durch die kleinere Unterteilung mehr Details sichtbar werden. Dadurch wird eine detaillierte Analyse der Ergebnisse möglich (vgl. Anhang Abb. 1 Vergleich der Nachhallkurve von Preset C92 in Terz- und Oktavbandfilter). Leider wird die Darstellung auch unübersichtlicher, sie kann nicht so schnell erfasst werden. Ein Vergleich der Messdaten wird auch nicht verbessert, da die Darstellung und das Angeben der Messergebnisse in Oktavbandfilter weitverbreitet sind.¹⁴⁸



Abbildung 16: Nachhallzeit Preset C92 in Terzbandfilter

Grafik des Verfassers

Graustufen: Einzelne Messungen an den Positionen

Orange: Mittelwert aller Messungen

Grün: Reale Grenze, wie in Dickreiter beschrieben

¹⁴⁷ Dickreiter 2014: 39.

¹⁴⁸ Vgl. Beranek 2004: 585-613; Lerch et al. 2009: 232; Kuttruff 1994: 617.

Als Hauptursache schätzt der Verfasser ein, dass der Nachhall maßgeblich von einem simulierten Nachhall, also vom AFC Prozessor, beeinflusst wurde. Dadurch ist es möglich, natürlich Grenzen zu überschreiten, wie auch in der Abbildung aus Dickreiter 2014 in Punkt 2.1.2 dargestellt wird. Wenn dieser Anstieg als unnatürlich wahrgenommen wird, dann kann das mit weiterem Tuning des Presets behoben werden.

Bei dem Preset war auch auffällig, dass die höchsten Schwankungen innerhalb der einzelnen Messpositionen auftraten. Bei allen anderen Konstellationen lag der Durchschnitt der kleinste bzw. höchste Messwert bei einer Konstellation im Bereich von -9 % bis +7 % um das arithmetische Mittel. Bei dem Preset C92 lag es bei der Abweichung der niedrigsten Werte weniger auffällig bei -10%, aber bei den größten Werten lag diese bei +16 % (vgl. Anhang Tabelle 2)

Einen Einfluss auf die Messergebnisse können die Messpositionen, also der Abstand vom Messmikrofon, zu einem Lautsprecher des AFC System haben. Ist dieser zu nah, dann nimmt das Mikrofon eher das Signal des Lautsprechers auf, anstatt den Diffusschall des Raums. Damit wäre aber die Ursache nicht eindeutig erklärt worden, denn die Messpositionen wurden bei den Messungen der anderen Presets nicht geändert. Und bei den anderen Konstellationen sind diese Schwankungen nicht aus der Messung zu entnehmen. Deswegen wäre ein anderer Grund für die Abweichungen, dass das Preset noch nicht ausreichend getuned war. Dadurch war noch etwas Ringing zu hören, das könnte sich an unterschiedlichen Positionen im Raum auch unterschiedlich groß auswirken, was sich in Schwankungen der Messungen widerspiegeln kann.

Der Raumeindruck, der während der Messungen durch das Preset entstand, ergab schon einen präsenteren Nachhall. Dennoch war das Preset noch nicht optimal, wodurch leichtes Ringing zu hören war. Damit dies nicht wahrgenommen wird ist weiteres Tuning nötig, dabei werden mit dem Equaliser diese störenden Frequenzen abgesenkt.

Mit dem Preset C92 ergibt es im TV-Studio eine mittlere Nachhallzeit von 2,32 s in unbesetztem Zustand. Dieser Wert liegt etwas über der optimalen Nachhallzeit von 2,0 s für einen Konzertsaal.¹⁴⁹ Wird es mit dem Toleranzbereich der DIN 18041 betrachtet, wo dieser im mittleren Frequenzbereich bei $\pm 20\%$ liegt, dann wäre das an der oberen Grenze 2,4 s.

Die Messwerte vom Preset D entstanden auf der Basis von Venue D. Bei der Auswertung des Mittelwertes aller Messwerte ergeben sich folgende Werte: Für unbesetzten Zustand des TV-Studios in Mittweida wurde bei 63 Hz eine Nachhallzeit von 4,25 s gemessen, darauf folgt mit 3,39 s bei 125 Hz und 3,07 s bei 250 Hz. Der Frequenzgang der optimalen Nachhallzeit sollte für die Raumnutzung Sprache linear sein. Wo das Aufführen von Musik im Vordergrund steht, ist ein Anstieg im unteren

¹⁴⁹ Vgl. Dickreiter 2014: 38.

Frequenzbereich, also unter 250 Hz, wünschenswert, da dies "die geringere Empfindlichkeit des Gehörs"¹⁵⁰ ausgleicht. Zudem gibt die Anhebung dem Raumklang Wärme. Im mittleren Frequenzbereich liegen bei 500 Hz mit 2,76 s und 1 kHz mit 2,62, s die Messwerte. Im Bereich von 2 kHz ist ein Anstieg der Nachhallzeit auf 2,91s zu sehen. Anschließend fällt

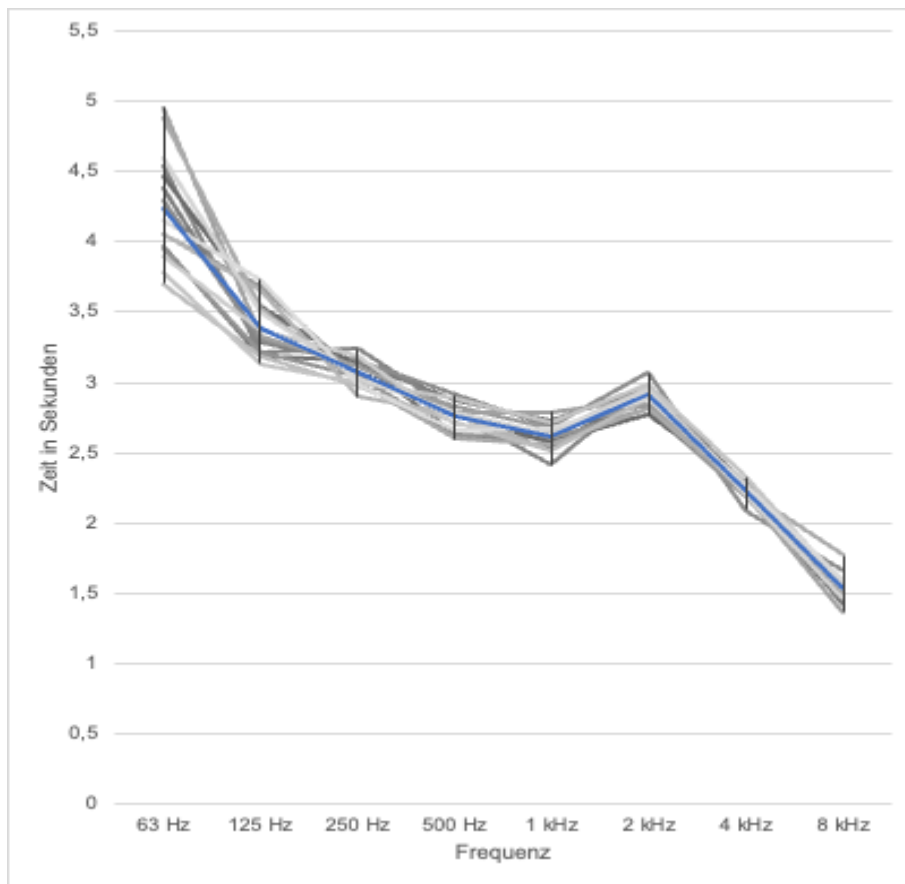


Abbildung 17: Nachhallzeit Preset D in Oktavbandfilter

Grafik des Verfassers.

Grau: Messwerte aller Positionen - Blau: Mittelwert aller Messpositionen

diese wieder ab, auf einen Wert von 2,24 s bei 4 kHz und bei 8 kHz auf 1,54 s. Der Raumeindruck, welcher dadurch entsteht, wurde während der Messung in Mittweida so wahrgenommen, dass durch das Preset D die Lautstärke im Raum deutlich erhöht wurde. Der Klang kann mit einem großen, natürlich klingenden und präsenten Raumeindruck beschrieben werden.

Das Ziel der optimalen Nachhallzeit eines Konzertsaals wurde mit Preset D übertroffen. Zu beachten gilt, dass die Nachhallzeit im TV-Studio in unbesetztem Zustand gemessen wurde und die optimale Nachhallzeit für den besetzten Zustand gilt. Im besetzten Zustand verringert sich die Nachhallzeit im TV-Studio aufgrund der Absorption des Publikums. Es

¹⁵⁰ Fasold/Veres 1998: 137f.

gilt den genauen Einsatzzweck zu prüfen, da eine längere Nachhallzeit für getragene, langsame Musik für den Raumeindruck passender ist.¹⁵¹

Der Vergleich mit anderen Konzertsälen kann demnach nur mit Messungen in unbesetzten Sälen erfolgen. Dafür wurden die Messwerte vom großen Musikvereinssaal in Wien und der Berliner Philharmoniker, jeweils im unbesetzten Zustand herangezogen (vgl. Abb. 18). Die Messwerte der Säle wurden in Beranek 2004 gesammelt und auch detailliert in Oktavbandfilter dokumentiert.¹⁵²

Die Nachhallkurve der Philharmonie Berlin liegt deutlich unterhalb der vom Preset D, lediglich bei 4 kHz nähern sich beide mehr an. Der Musikvereinssaal in Wien liegt bei 125 Hz auch unter der Nachhallkurve des Presets D. Bei 250 Hz schneiden sich beide Kurven und die Nachhallzeit in Wien liegt 0,3 s darüber. Zwischen 1 kHz und 2 kHz schneiden sich beide Kurven wieder und die Nachhallzeit im TV-Studio mit Preset D ist wieder größer. Bis 4 kHz fallen die beiden Kurven dann fast gleichmäßig ab.¹⁵³

Die Nachhallkurve vom Musikvereinssaal liegt im Bereich vom Preset D. Bietet auch das TV-Studio Mittweida im besetzten Zustand ähnlich so viel Absorption wie der Musikvereinssaal in Wien, so kann mit diesem Preset ein guter Raumklang ähnlich des Konzertsaals gelingen. Wäre das nicht der Fall und die Musiker und das Publikum absorbieren deutlich weniger, dann wäre im unbesetzten Zustand eine Nachhallzeit ähnlich wie in der Philharmonie erforderlich. Die Nachhallkurve von der Philharmonie liegt deutlich darunter. Also müssten dann die Einstellungen des Preset D für die optimale Nachhallzeit, wie in einem Konzertsaal, überarbeitet werden.

Der Verlauf beider Nachhallkurven oberhalb von 250/300 Hz ist typisch für zwei Kategorien von Sälen: In Wien nimmt die Nachhallzeit zu höheren Frequenzen dauerhaft ab, dagegen verläuft in Berlin die Nachhallkurve annähernd waagrecht und bei 1 kHz gibt es eine Anhebung. Das wirkt sich klanglich so aus, dass in Wien der Raumklang weich und abgerundet ist und in der Philharmonie ein offener und deutlicherer Klang wahrgenommen wird (vgl. Abb.: 18).¹⁵⁴ Dies konnte ähnlich für die Anhebung im Bereich von 2 kHz durch Preset D festgestellt werden.

Diese beiden Säle sind im Ranking von Beranek unter den besten 20 Konzertsälen eingeordnet.¹⁵⁵ Dennoch weisen sie eine sehr unterschiedliche Raumform und

¹⁵¹ Vgl. Meyer 2004: 167.

¹⁵² Vgl. Beranek 2004: 585-630.

¹⁵³ Vgl. Für die Kurve der Konzertsäle Wien und Berlin Abb. 13.

¹⁵⁴ Vgl. Meyer 2004: 164.

¹⁵⁵ Vgl. Beranek 2004: 496.

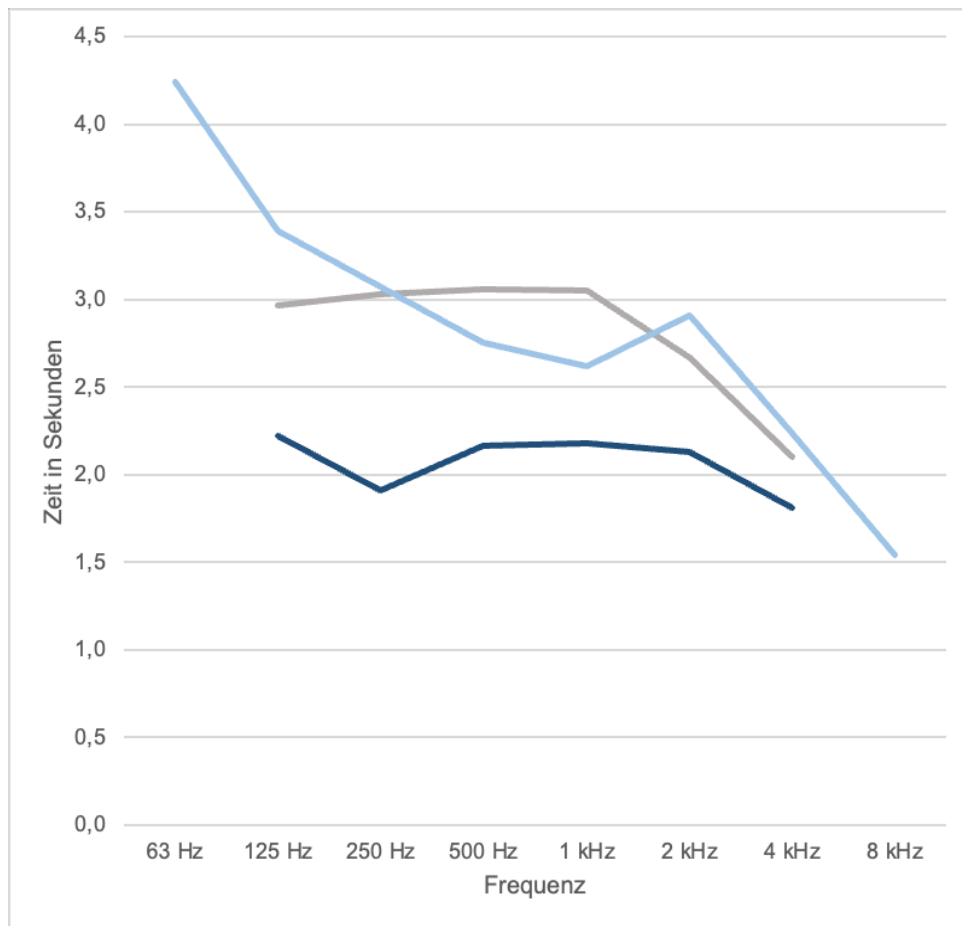


Abbildung 18: Vergleich Nachhallzeiten in Oktavbandfilter

Grafik des Verfassers.

Hellblau: Preset D - Dunkelblau: Philharmonie Berlin, unbesetzt

Grau: Großer Musikvereinssaal Wien, unbesetzt, Beranek 2004: 507.

Nachhallkurve auf. Das unterstützt die These, dass die Nachhallzeit nur ein Merkmal des Raumes ist, welche für die Qualität des Raumeindrucks ausschlaggebend ist.

Änderungen im Preset und damit den Raumklang können erfolgen durch: die Verringerung der Liveness, was die Lautstärke des AFC System senkt. Die Länge also der Decay des Nachhalls kann verkürzt werden, um die Nachhallzeit im Raum zu verringern. Zudem können einzelne Frequenzen angepasst werden, um den Klang des Nachhalls zu ändern. Damit kann die optimale Nachhallzeit eines Konzertsaals mit dem Preset D genauer erreicht werden.

6 Auswertung

In Punkt 2.1.2 wurde die optimale Nachhallzeit für Konzertsäle skizziert. Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, im TV-Studio in Mittweida (vgl. die Ausführungen in

Punkt 4.1) mit dem Einsatz des AFC4 eine Nachhallzeit zu erzeugen, die der optimalen Nachhallzeit in Konzertsälen möglichst ähnlich ist.

Zunächst erfolgte die Messung ohne Einsatz des AFC4 (vgl. Punkt 4) und anschließend unter Verwendung des AFC4 (vgl. Punkt 5). Nun sollen die bei den Messungen gemachten Beobachtungen ausgewertet werden.

Wie erwartet, weisen die Messungen ohne und mit der Anwendung des Systems AFC4 Unterschiede auf. Wie groß diese Unterschiede ausfallen, ist je nach Tonhöhe unterschiedlich.

Bei dem Vergleich der Messung ohne AFC System und dem Preset C1,4 fällt auf, dass der Nachhall oberhalb von 500 Hz sich fast gleichmäßig um 0,75 s verlängert hat. Unterhalb von 500 Hz wird der Unterschied zwischen den beiden Konstellationen immer geringer, so dass bei 63 Hz dieser nur noch bei 0,27 s liegt. Weil mit dem Preset C1,4 der Nachhall in den tiefen Frequenzen deutlich geringer angehoben wird, als bei höheren Frequenzen, wirkt der Raumklang im Vergleich zum Nachhall ohne AFC deutlich weniger Tiefen betont und ausgewogener. Mit Preset C92 ist die starke Anhebung bei 63 Hz, ohne AFC, nicht mehr in der Nachhallkurve zu erkennen. Diese lange Nachhallzeit könnte mit der stärkeren

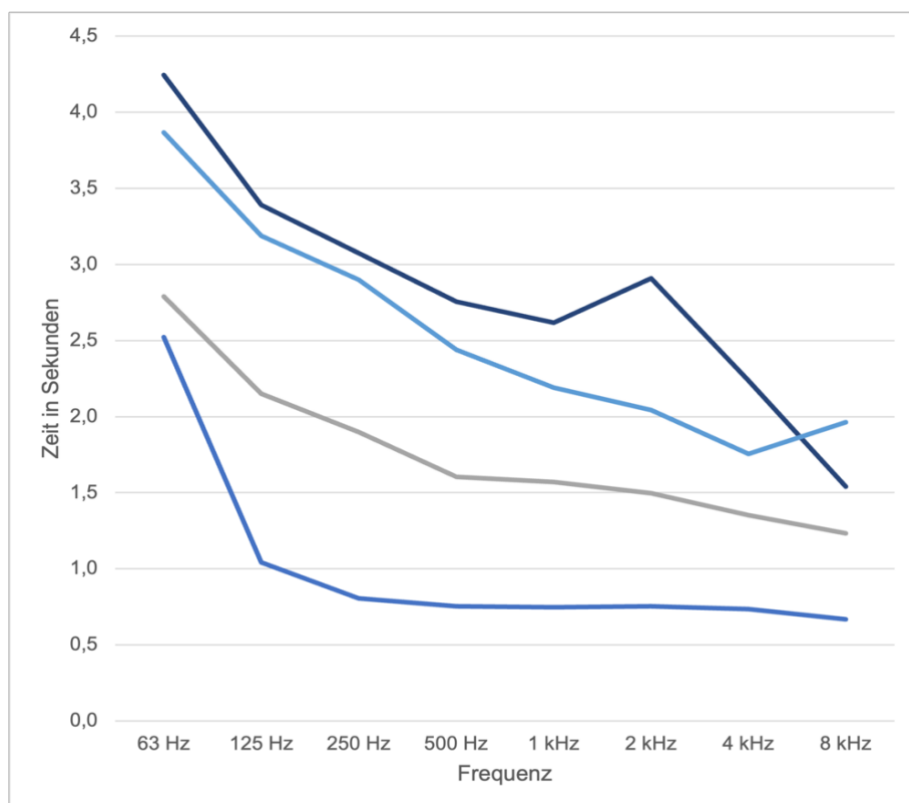


Abbildung 19: Vergleich der Nachhallzeit aller Konstellationen

Grafik des Verfassers.

Dunkelblau: Preset D – Hellblau: Preset C92

Grau: Preset C1,4 - Blau: Ohne AFC System

Anhebung aller höheren Frequenzen, im Vergleich zu der niedrigen, deutlich weniger wahrnehmbar sein und im Raumeindruck nicht störend auffallen.

Der Einsatz des AFC Systems hat gezeigt, dass damit die Nachbildung eines Nachhalls, der einem Konzertsaal ähnlich ist, gelingen kann. Mit dem Preset D, welches die längste Nachhallzeit der gemessenen Konstellationen hat, wurde eine mittlere Nachhallzeit von 2,69 Sekunden ermittelt. Wie bereits festgestellt, liegt die über der optimalen Nachhallzeit eines Konzertsaals. Die Nachhallkurve im Vergleich zu ohne AFC System ist deutlich verschieden. Ohne AFC gab es einen weitgehend gleichmäßigen Verlauf. Dies hat sich mit dem Preset D deutlich geändert, da bei der Konstellation die Anhebung bei 2 kHz im Raumklang hörbar ist und damit der Raumklang präsenter ist.

Durch den Einsatz des AFC System, dessen unterschiedliche Preset Konfigurationen konnte gezeigt werden, dass die Nachhallzeit, von der des TV-Studios zu der eines Opernhauses und sogar über die eines Konzertsaals hinweg verlängert werden konnte.

Auch bei der Bestimmung der Nachhallzeit mit AFC4 trat die Problematik auf, die bereits in Punkt 4.2 beschrieben wurde. Das Problem bestand darin, dass bei einzelnen Messpositionen im Oktavband 63 Hz die Messwerte deutlich über dem üblichen Bereich lagen. Mögliche Gründe wurden ebenfalls bereits in Punkt 4.2 angesprochen, darunter

Position	Konstellationen			
	Preset			Ohne AFC4 System
	D	C92	C1,4	
1-1	x			
1-2				
1-3				
1-4				
1-5			x	x
1-6	x			x
2-1	x		x	
2-2		x		
2-3				
2-4			x	
2-5				
2-6				
3-1				
3-2				
3-3				
3-4				x
3-5				
3-6				x

Tabelle 3: Unregelmäßigkeit aller Konstellationen und Positionen im Oktavband 63 Hz

Tabelle des Verfassers.

stellte Raummoden eine plausible Ursache dar. Sie gelten ebenfalls für die Beobachtungen bei der Messung mit AFC4, die in diesem Punkt dargestellt und interpretiert werden.

Aufgrund der geänderten Situation, dass mit dem AFC System die Raumakustik maßgeblich beeinflusst wird, ist der Gedanke zu prüfen. Durch die Nutzung des AFC System könnte dieser Effekt vergrößert worden sein, da der Nachhall in allen Frequenzbereichen verstärkt wird.

Durch die in dieser Arbeit beschriebenen Möglichkeit, die Akustik in einem Raum auf unterschiedliche Szenarien anzupassen, wird deutlich, dass ein Raum mit der Hilfe von elektronischen Systemen zur Veränderung der Raumakustik für zahlreiche Nutzungsmöglichkeiten in Betracht kommt, ohne dass bauliche Anpassungen vorzunehmen sind. Durch diese Veränderung in der Akustik können Veranstaltungen von Lehrveranstaltungen ohne zusätzliche Verstärkung, über den Auftritt kleiner akustischer Ensembles bis zu Vorstellungen großer Sinfonieorchester im TV-Studio stattfinden.

7 Fazit

Eingangs wurde die Frage aufgeworfen, ob und wie das Active Field Control (AFC 4) Systems von Yamaha geeignet ist, den Klang eines TV-Studios an den Klang eines Konzertsaaes anzunähern. Es wurde der Anspruch formuliert, die Wirkweise des Systems im Fernsehstudio in Mittweida zu erproben und so exemplarisch zu untersuchen, welche Potentiale AFC4 bereithält.

An die Erörterung von Grundbegriffen und die Vorstellung des Systems AFC4 Enhance von Yamaha schloss sich der praktische Teil der Arbeit an. Hierbei wurde zunächst die akustischen Erwartungen an ein TV-Studio allgemein beschrieben und danach die Ausgangsvoraussetzungen im TV-Studio der Hochschule in Mittweida, wo die Messungen stattfanden, dargestellt. Anschließend wurde erläutert, wie die Messung der Nachhallzeit im TV-Studio ohne Einsatz des Systems AFC4 erfolgte und die Messwerte wurden vorgestellt. Dieser Abschnitt war notwendig, um einerseits den Ausgangszustand zu erheben und andererseits Vergleichswerte vorliegen zu haben, die dann mit den Werten mit Einsatz des AFC4 in Beziehung gesetzt werden können. Es schlossen sich die Datenerhebungen unter Verwendung des Systems AFC4 an. In der Auswertung wurden die gemessenen Werte mit und ohne Nutzung des AFC4 verglichen. Auch die Messfehler und Unregelmäßigkeiten, die bereits in den Darstellungen der Werte in Punkt 4.2 und 5.2 reflektiert wurden, wurden noch einmal benannt und verglichen. Hier im Fazit sollen das Potential des Systems AFC4 und offene Fragen, die über diese Arbeit hinausgehen, reflektiert werden.

Wie gezeigt werden konnte, ermöglicht der Einsatz des Systems AFC4 eine deutliche Steuerung der Schallausbreitung in Räumen. Es ist gelungen, im TV-Studio in Mittweida, einem relativ toten Raum, der für Sprachdarbietungen ausgelegt ist, die Nachhallzeit ohne bauliche Veränderungen signifikant zu erhöhen. Betrug die mittlere Nachhallzeit im TV-Studio 0,75 s (vgl. ausführlich Punkt 4.2), konnte mit dem System AFC4 eine mittlere Nachhallzeit von 2,69 s erreicht werden (vgl. ausführlich Punkt 5.2). Das ergibt eine Verlängerung der Nachhallzeit um 1,94 s. Durch das Potential des Systems AFC4 gelang erfolgreich die Annäherung der Raumakustik des TV-Studios an die eines Konzertsaals. Durch strategisch im Raum verteilte Mikrofone und Lautsprecher ermöglicht es AFC4, die Raumakustik ohne bauliche Veränderungen und unter Einbeziehung der vorliegenden Raumstruktur auf verschiedene Nutzungsvoraussetzungen anpassen zu können. Bei Einsatz einer solchen Technik können Räume somit problemlos - zumindest aus akustischer Sicht - multifunktional genutzt werden.

Für Lehrveranstaltungen bietet das System AFC4 eine interessante Möglichkeit, das Thema Raumakustik allgemein und Nachhall im Speziellen darzustellen. Die Studierenden können sich mit elektronischen Systemen zur Veränderung der Raumakustik befassen und verschiedene Systeme (Regenerativ und In-Line) und ihre Funktionsweisen kennenlernen. Anhand von AFC4 kann die hybride Funktionsweise eines solchen Systems erläutert werden und zur Anwendung kommen. Die Studierenden können sich darin üben, verschiedene Nachhallzeiten einzuschätzen und zu beurteilen. Grundlagen der Raumanalyse können vermittelt werden und daran anschließend Planungen für den Einsatz des Systems erfolgen. Da AFC4 nicht nur den Nachhall verlängern, sondern auch die Frequenzen des Halls beeinflussen kann, können sich Studierende mit der Frequenzabhängigkeit des Nachhalls auseinandersetzen.

Neben allen Potentialen des Systems AFC4 ergeben sich auch offene Fragen bzw. Herausforderungen. Darauf soll nun hingewiesen werden: Hinsichtlich der Anwendung eines fest installierten AFC4 Systems ist zu bedenken, dass sich die Raumakustik auch je nach Bestuhlung, eingesetzter Requisiten o.ä. ändern kann. Offen bleibt, ab wann das System dann anzupassen ist. Im vorliegenden Beispiel wurde das Demo-System im TV-Studio in Mittweida mit geschlossenem Vorhang getestet. Basierend auf den Erfahrungen des Verfassers wird das TV-Studio in Mittweida meist mit geschlossenem Vorhang genutzt. Auf diesen Nutzungszustand wurde das System eingestellt. Raumveränderungen haben Auswirkungen auf die Raumakustik und damit auf die Einstellungen des AFC4. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit war es jedoch nicht möglich, zu erörtern, wie stark die Änderungen an den Einstellungen erfolgen müssten.

Eine weitere Herausforderung liegt dann vor, wenn die Lautsprecher an den fahrbaren Lichtzügen an der Decke montiert werden. Da sich diese mitunter bewegen, um stets für

eine optimale Beleuchtung zu sorgen, kann diese Form der Montage zu Instabilität beim AFC4 System führen. In der vorliegenden Untersuchung wurden darum bewusst die Lautsprecher auf Stativen aufgebaut.

Will man das AFC4 System fest in einen Raum integrieren, gilt es, die Position genau zu berechnen. Da der Verfasser dieser Arbeit die Messungen mit der mobilen Variante des Systems AFC4 vornahm, war nicht zu untersuchen, was im Fall einer festen Installation insgesamt beachtet werden muss. Eine solche Untersuchung wäre ein neues spannendes Thema.

Die vorliegende Arbeit konnte zeigen, dass das System AFC4 geeignet ist, Räume, ohne bauliche Veränderungen, so anzupassen, dass sie den Anforderungen verschiedener Darbietungsformen entsprechen. Der Mehrwert des AFC4 liegt darin, dass das System den Nachhall in einem Raum gezielt verändert, werden kann. Dabei werden die raumakustischen Gegebenheiten so berücksichtigt, dass ein natürlicher Klang erzeugt wird. Die aus den Beobachtungen gewonnenen Einsichten führen zu folgendem Fazit: AFC4 ist eine enorme Bereicherung für die multifunktionale Nutzung von Räumen und ermöglicht Musikgenuss auch an Orten, die dafür zunächst keine idealen Voraussetzungen bieten, mit AFC4 jedoch entsprechend aufgewertet werden können.

Quellen

AHNERT, Wolfgang; TENNHARDT, Hanns-Peter (2008). Raumakustik. In: Weinzierl, Stefan (Hrsg.), Handbuch der Audiotechnik (S. 181-266). Berlin/Heidelberg: Springer.

BAKKER, Ron (2014). Design and Tuning of Active Acoustic Enhancement Systems. In: Proceedings of the Institute of Acoustics Vol. 36. Pt. 2. (S.76-81).

BAKKER, Ron; GILLAN S. (2014). The History of Active Acoustic Enhancement Systems. In: Proceedings of the Institute of Acoustics Vol. 36. Pt. 2. (S.56-65).

BERANEK, Leo (2004). Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustic, and Architecture (Second Edition). New York: Springer.

DE KONING, Stefan H. (1983/84). The MCR system – multiple-channel amplification of reverberation. In: Philips Technical Review 41. No. 1 (S.12-23). Eindhoven.

DICKREITER, Michael (2014). Grundlagen der Akustik. In: Dickreiter, Michael et al. (Hrsg.), Handbuch der Tonstudioteknik. (8., überarbeitete und erweiterte Auflage) (S.1-65). Berlin/Boston: DeGruyter.

FASOLD, Wolfgang; VERES, Eva (1998). Schallschutz und Raumakustik in der Praxis: Planungsbeispiele und konstruktive Lösungen. Berlin: Verlag für Bauwesen.

GRIESINGER, David (1991). Improving room acoustics through time-variant synthetic reverberation. In: Preprint 3014 (B-2) 90th Convention Audio Engineering Society. Paris

KUTTRUFF, Heinrich (1994). Raumakustik. In: Heckl, Manfred; Müller, Helmut A. (Hrsg.), Taschenbuch der Technische Akustik (2. Auflage) (S.596-624). Berlin/Heidelberg: Springer.

LERCH, Reinhard; SESSLER, Gerhard; WOLF, Dietrich (2009). Technische Akustik: Grundlagen und Anwendungen. Berlin/Heidelberg: Springer.

MAIER, Peter (2008). Studioakustik. In: Weinzierl, Stefan (Hrsg.), Handbuch der Audiotechnik (S. 267-311). Berlin/Heidelberg: Springer.

MEYER, Jürgen (2004). Akustik und musikalische Aufführungspraxis: Leitfaden für Akustiker, Tonmeister, Musiker, Instrumentenbauer und Architekten. (5., aktualisierte Auflage). Bergkirchen: PPVMedien.

MIYAZAKI, Hideo; WATANABE, Takayuki; KISHINAGA, Shinji; KAWAKAMI, Fukushi (2003). Active Field Control (AFC): Reverberation Enhancement System Using Acoustical Feedback Control. In: Audio Engineering Society Convention Paper 5861 (S.1-8). New York.

MULDER, Cees (2001). Variable acoustics using Multiple Channel amplification Reverberation (MCR). In: 17th International Congress on Acoustics (S.384-385) Rom: ICA.

MÜLLER, Swen (2008). Messtechnik. In: Weinzierl, Stefan (Hrsg.), Handbuch der Audiotechnik (S. 1087-1170). Berlin/Heidelberg: Springer.

POLETTI, Mark A. (1994a). The performance of a new assisted reverberation system. In: European Acoustics Association, *acta acoustica* 2 (S.511-524). Stuttgart: S. Hirzel.

POLETTI, Mark A. (1994b). Colouration in Assisted Reverberation Systems. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Proceedings of ICASSP '94 vol.2 (S. II/269-II/272).

POLETTI, Mark A. (2006). The Control of Early and Late Energy Using the Variable Room Acoustics System. In: The Journal of the Acoustical Society of America, Proceedings of ACOUSTICS (S. 215-218).

POLETTI, Mark A.; SCHWENKE, Roger (2006). Prediction and Verification of Powered Loudspeaker Requirements for an Assisted Reverberation System. In: Convention Paper 6866, Audio Engineering Society (S. 1-4).

SLAVIK, Karl M. (2014). Film- und Fernsehton. In: Dickreiter, Michael et al. (Hrsg.), Handbuch der Tonstudioteknik. (8., überarbeitete und erweiterte Auflage) (S. 924-1006). Berlin/Boston: DeGruyter.

SLAVIK, Karl M.; WEINZIERL, Stefan (2008). Wiedergabeverfahren. In: Weinzierl, Stefan (Hrsg.), Handbuch der Audiotechnik (S. 609-685). Berlin/Heidelberg: Springer.

VON FISCHER, Sabine (2019). Das akustische Argument. Wissenschaft und Hörerfahrung in der Architektur des 20. Jahrhunderts. Zürich: gta Verlag.

WATANABE, Takayuki; HASHIMOTO, Dai; MIYAZAKI, Hideo; MOHANAD, Is-Hak (2020). Design of the acoustic enhancement system for crowd enhancement in the Qatar Univ. Sports & Events Complex. In: Audio Engineering Society Convention e-Brief 572.

Webseiten

iSemcon (URL: letzter Abruf 14.12.22)

[https://www.isemcon.net/ashop/product_info.php?products_id=97;](https://www.isemcon.net/ashop/product_info.php?products_id=97)

SCHILLE, Dominik (2015) Das TV-Studio im ZMS bekommt seinen Namen. URL: (letzter Abruf 04.12.2022).

<https://medien-mittweida.de/das-tv-studio/2015/>

YAMAHA, AFC Enhance, URL: (letzter Abruf 04.12.2022)

https://de.yamaha.com/de/products/proaudio/afc/afc_enhance.html#product-tabs

YAMAHA, AFC Vorstellung, URL: (letzter Abruf: 18.11.2022)

<https://europe.yamaha.com/en/products/proaudio/afc/index.html#product-tabs>

YAMAHA, AFC3, URL: (letzter Abruf 04.12.2022).

<https://de.yamaha.com/de/products/proaudio/afc/afc3/index.html#:~:text=Bei%20der%20%22Active%20Field%20Control,Raumes%20in%20Mitleidenschaft%20gezogen%20wird>

YAMAHA, News & Events, URL: (letzter Abruf: 18.11.2022)

https://europe.yamaha.com/en/news_events/2019/0605_50_afc4.html

YAMAHA, AFC Image, URL: (letzter Abruf 04.12.2022)

https://de.yamaha.com/de/products/proaudio/afc/afc_image.html#product-tabs

Hilfsmittel

BAKKER, Ron (2012). Active Acoustic Enhancement Systems - introducing Yamaha AFC3. Ton Meister Tagung. Köln, 23.11.2012.

BAKKER, Ron (2022). AFC-Enhance Tuning Training. Yamaha Europa. Berlin, 14.06.2022.

DATASHEET Omni 5" ntek.it Dodecahedral source, URL: (letzter Abruf 14.12.2022)
http://www.ntek.it/en/prodotto_ntek/omni-5/

DIN 18041:2016-03 Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung.

DIN EN ISO 3382-1:2009-10 Akustik – Messung von Parametern der Raumakustik – Teil 1: Aufführungsräume.

YME / NEXO Mobile Immersive Demo System Reference Manual. (2021) unveröffentlicht.

Anhang - Tabellen

Tabelle 1

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

Erklärung:									
Position 2-5 bedeutet: Lautsprecherposition 2- und Mikrofonposition -5									
Die Rot Markierten weichen deutlich von den realen Messungen ab, wie im Fließtext beschrieben.									
OHNE AFC SYSTEM		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	2,74	1,01	0,82	0,79	0,73	0,73	0,72	0,87
1 - 1	EDT in s	1,92	0,91	0,90	0,67	0,79	0,74	0,78	0,63
	C80 in dB	2,73	3,12	2,87	8,42	6,34	8,34	8,65	8,81
Position	RT60 in s	2,36	0,99	0,76	0,76	0,78	0,73	0,72	0,70
1 - 2	EDT in s	1,63	1,37	0,85	0,71	0,76	0,75	0,80	0,70
	C80 in dB	2,57	3,11	1,15	5,61	6,01	5,58	5,57	9,16
Position	RT60 in s	2,68	1,09	0,80	0,73	0,74	0,76	0,74	0,64
1 - 3	EDT in s	2,01	1,19	0,82	0,82	0,74	0,80	0,75	0,60
	C80 in dB	3,11	4,53	5,00	6,08	7,72	7,13	5,14	9,11
Position	RT60 in s	2,77	1,00	0,78	0,76	0,75	0,77	0,75	0,70
1-4	EDT in s	2,40	1,45	0,83	0,71	0,78	0,79	0,86	0,59
	C80 in dB	-1,84	2,25	1,35	6,26	5,22	5,70	5,31	8,16
Position	RT60 in s	5,27	1,59	0,81	0,77	0,74	0,74	0,74	0,65
1-5	EDT in s	5,61	0,75	0,81	0,72	0,88	0,73	0,79	0,70
	C80 in dB	-1,01	7,41	2,51	6,41	4,54	5,75	5,55	5,92
Position	RT60 in s	15,25	1,02	0,82	0,76	0,76	0,76	0,74	0,65
1-6	EDT in s	2,82	1,48	0,56	0,60	0,77	0,84	0,86	0,63
	C80 in dB	0,61	2,01	7,26	6,57	5,32	4,83	4,67	6,78
Position	RT60 in s	2,54	0,97	0,77	0,78	0,75	0,73	0,69	0,62
2-1	EDT in s	1,37	0,78	0,92	0,81	0,73	0,65	0,59	0,53
	C80 in dB	2,52	3,19	8,42	7,90	8,10	9,99	10,75	11,14
Position	RT60 in s	2,26	1,14	0,84	0,75	0,71	0,75	0,73	0,66
2-2	EDT in s	1,45	0,94	0,93	0,77	0,84	0,86	0,77	0,50
	C80 in dB	4,57	0,34	5,82	8,59	6,45	8,43	8,68	11,57
Position	RT60 in s	2,77	1,07	0,80	0,72	0,74	0,74	0,73	0,64
2-3	EDT in s	1,64	1,06	0,91	0,81	0,84	0,86	0,81	0,69
	C80 in dB	1,18	5,04	2,60	6,66	5,58	5,15	5,01	8,52
Position	RT60 in s	2,49	1,11	0,83	0,73	0,74	0,77	0,75	0,63
2-4	EDT in s	1,75	1,35	0,81	0,94	0,80	0,87	0,80	0,68
	C80 in dB	1,40	2,80	6,41	6,31	5,30	5,70	5,97	6,43
Position	RT60 in s	2,01	0,98	0,77	0,74	0,75	0,79	0,73	0,62
2-5	EDT in s	2,19	1,26	0,90	0,82	0,82	0,83	0,88	0,65
	C80 in dB	-0,86	1,37	4,27	4,94	4,17	4,84	3,65	7,14
Position	RT60 in s	2,55	1,03	0,84	0,74	0,77	0,77	0,75	0,64
2-6	EDT in s	2,71	1,22	0,77	0,82	0,75	0,75	0,83	0,64
	C80 in dB	-0,48	4,38	5,08	5,98	5,93	6,33	5,83	6,38

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	2,73	1,05	0,83	0,75	0,74	0,73	0,73	0,59
3-1	EDT in s	1,42	1,03	0,71	0,69	0,76	0,78	0,69	0,57
	C80 in dB	3,67	4,38	4,19	6,66	6,34	6,15	7,53	10,23
Position	RT60 in s	2,31	1,08	0,84	0,79	0,73	0,76	0,74	0,67
3-2	EDT in s	1,26	0,92	0,84	0,83	0,85	0,81	0,72	0,62
	C80 in dB	5,32	3,00	3,10	5,91	5,86	7,17	7,94	7,81
Position	RT60 in s	2,57	1,00	0,77	0,76	0,78	0,74	0,73	0,63
3-3	EDT in s	2,36	0,98	0,88	0,62	0,75	0,84	0,82	0,63
	C80 in dB	-0,75	2,90	2,96	6,65	6,53	4,32	4,71	8,06
Position	RT60 in s	4,36	1,07	0,84	0,76	0,77	0,75	0,73	0,67
3-4	EDT in s	2,53	1,78	0,78	0,77	0,81	0,84	0,88	0,70
	C80 in dB	0,05	4,99	4,67	7,28	4,82	4,43	3,98	8,39
Position	RT60 in s	2,55	1,08	0,82	0,74	0,74	0,77	0,77	0,77
3-5	EDT in s	1,73	0,87	0,66	0,79	0,76	0,78	0,89	0,67
	C80 in dB	4,07	5,04	5,97	5,24	5,79	5,39	5,56	8,65
Position	RT60 in s	6,73	1,11	0,79	0,73	0,77	0,79	0,76	0,68
3-6	EDT in s	3,00	1,23	0,90	0,75	0,79	0,80	0,85	0,68
	C80 in dB	-0,01	3,56	1,94	5,76	5,36	4,19	3,58	7,35
Arithmetisches Mittel der Messwerte									
Um diese Mittel zu berechnen wurden alle Positionen genutzt (räumliche Mittelung), außer die einen roten Messwert enthalten.									
		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
	RT60 in s	2,52	1,04	0,81	0,75	0,75	0,75	0,73	0,67
	EDT in s	1,85	1,10	0,84	0,77	0,78	0,79	0,79	0,62
	C80 in dB	1,94	3,25	4,23	6,52	6,10	6,44	6,45	8,66
Einzahl-Wert									
RT _m , EDT _m , C80 _m wird berechnet aus dem Mittelwert der Messung der Oktavmittelfrequenz 500 Hz und 1kHz.									
	RT60 _m in s	0,75							
	EDT _m in s	0,78							
	C80 _m in dB	6,31							
Bassverhältnis (Bass-Ratio) BR									
BR wird aus dem Verhältnis der Summe von den Oktavmittenfrequenzen (OkMF) 125 Hz und 250 Hz zu der Summer der OkMF 500 Hz und 1000 Hz.									
	BR	1,23							

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

Erklärung:									
Position 2-5 bedeutet: Lautsprecherposition 2- und Mikrofonposition -5									
Die Rot Markierten weichen deutlich von den realen Messungen ab, wie im Fließtext beschrieben.									
PRESET C1,4		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	2,78	2,24	1,85	1,70	1,56	1,46	1,26	1,24
1-1	EDT in s	2,22	1,36	1,16	0,87	0,90	1,00	0,89	1,04
	C80 in dB	2,74	2,17	0,86	6,87	5,54	5,87	7,15	4,83
Position	RT60 in s	2,62	2,35	1,91	1,70	1,53	1,49	1,36	1,20
1-2	EDT in s	1,89	1,61	1,08	0,83	1,02	1,01	0,99	1,10
	C80 in dB	2,30	1,63	0,73	4,66	4,50	3,85	4,27	5,85
Position	RT60 in s	2,78	2,28	1,84	1,65	1,57	1,49	1,29	1,20
1-3	EDT in s	2,57	1,44	1,48	1,21	1,01	1,20	0,99	1,09
	C80 in dB	2,25	2,27	2,45	4,13	5,62	4,27	3,54	2,47
Position	RT60 in s	2,74	2,27	1,98	1,57	1,52	1,49	1,32	1,18
1-4	EDT in s	2,67	1,60	1,47	0,96	1,02	1,14	1,16	1,17
	C80 in dB	-2,56	0,01	2,79	4,81	3,53	3,39	3,39	2,83
Position	RT60 in s	13,08	2,27	2,02	1,60	1,62	1,54	1,33	1,41
1-5	EDT in s	3,09	2,20	1,68	1,46	1,27	1,32	1,11	1,24
	C80 in dB	0,08	4,28	-0,30	3,64	1,10	0,94	1,83	-3,19
Position	RT60 in s	2,90	2,40	1,86	1,63	1,61	1,50	1,33	1,22
1-6	EDT in s	3,39	1,91	1,32	0,85	1,11	1,19	1,12	1,13
	C80 in dB	-0,10	-1,04	4,09	4,72	3,42	2,30	2,79	1,46
Position	RT60 in s	3,79	2,19	1,61	1,58	1,52	1,40	1,33	1,22
2-1	EDT in s	1,58	1,36	1,10	1,09	1,15	1,17	1,06	1,10
	C80 in dB	2,21	1,31	6,45	6,12	5,49	6,76	7,70	6,28
Position	RT60 in s	3,10	2,19	1,92	1,62	1,62	1,46	1,39	1,22
2-2	EDT in s	2,19	1,75	1,25	1,05	1,21	1,39	1,07	1,04
	C80 in dB	2,73	-2,26	3,80	6,76	4,22	5,37	5,81	7,63
Position	RT60 in s	2,73	1,99	2,05	1,65	1,60	1,49	1,37	1,24
2-3	EDT in s	3,06	1,89	1,25	1,32	1,34	1,42	1,21	1,16
	C80 in dB	-0,45	1,87	-0,69	3,38	2,53	0,80	1,89	2,45
Position	RT60 in s	7,05	2,08	1,92	1,65	1,55	1,51	1,38	1,28
2-4	EDT in s	2,57	1,69	1,14	1,44	1,18	1,44	1,27	1,21
	C80 in dB	0,35	0,03	5,03	4,10	2,31	2,14	2,80	1,07
Position	RT60 in s	2,74	2,11	1,99	1,54	1,64	1,48	1,36	1,22
2-5	EDT in s	2,67	2,03	1,88	1,55	1,46	1,59	1,31	1,30
	C80 in dB	-0,94	-1,85	1,03	1,40	-0,87	-1,06	-1,69	-1,73
Position	RT60 in s	2,82	2,11	1,99	1,59	1,59	1,50	1,41	1,27
2-6	EDT in s	1,80	1,90	1,48	1,27	1,27	1,40	1,25	1,21
	C80 in dB	-1,29	-1,32	1,71	3,17	2,32	2,33	2,46	0,81

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	2,82	2,06	1,84	1,55	1,50	1,48	1,30	1,20
3-1	EDT in s	1,55	1,28	0,99	0,85	0,90	1,03	0,92	0,96
	C80 in dB	3,55	3,45	2,87	5,54	5,29	4,26	5,74	6,42
Position	RT60 in s	2,56	2,09	1,83	1,47	1,53	1,45	1,33	1,28
3-2	EDT in s	1,89	1,03	1,07	0,95	0,95	0,99	0,91	1,07
	C80 in dB	4,30	2,06	2,40	5,13	4,70	5,62	6,50	4,12
Position	RT60 in s	2,70	1,89	1,88	1,64	1,58	1,55	1,40	1,27
3-3	EDT in s	2,74	1,01	1,15	1,16	1,06	1,10	1,08	1,10
	C80 in dB	-1,13	2,38	1,68	4,24	4,52	2,07	2,94	2,48
Position	RT60 in s	3,03	2,05	1,82	1,46	1,54	1,51	1,33	1,23
3-4	EDT in s	2,41	2,08	1,18	1,10	1,09	1,15	1,11	1,14
	C80 in dB	-0,85	2,29	2,21	5,22	3,27	2,53	2,42	4,00
Position	RT60 in s	2,57	2,21	1,89	1,70	1,58	1,59	1,44	1,27
3-5	EDT in s	2,16	1,82	1,34	1,14	1,12	1,32	1,16	1,22
	C80 in dB	2,70	1,81	2,39	3,17	3,46	1,93	2,53	1,36
Position	RT60 in s	2,94	2,01	1,85	1,59	1,57	1,53	1,38	1,24
3-6	EDT in s	3,45	1,92	1,01	0,97	1,21	1,26	1,14	1,11
	C80 in dB	-2,00	2,20	0,81	4,36	3,55	1,71	1,56	2,97
Arithmetisches Mittel der Messwerte									
Um diese Mittel zu berechnen wurden alle Positionen genutzt (räumliche Mittelung), außer die einen roten Messwert enthalten.									
		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
	RT60 in s	2,79	2,15	1,90	1,60	1,57	1,50	1,35	1,23
	EDT in s	2,44	1,64	1,27	1,07	1,11	1,21	1,09	1,12
	C80 in dB	0,75	1,04	1,94	4,50	3,71	3,02	3,42	3,20
Einzahl-Wert									
RT _m , EDT _m , C80 _m wird berechnet aus dem Mittelwert der Messung der Oktavmittelfrequenz 500 Hz und 1kHz.									
	RT60 _m in s	1,59							
	EDT _m in s	1,09							
	C80 _m in dB	4,11							
Bassverhältnis (Bass-Ratio) BR									
BR wird aus dem Verhältnis der Summe von den Oktavmittenfrequenzen (OkMF) 125 Hz und 250 Hz zu der Summe der OkMF 500 Hz und 1000 Hz.									
	BR	1,28							

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

Erklärung:									
Position 2-5 bedeutet: Lautsprecherposition 2- und Mikrofonposition -5									
Die Rot Markierten weichen deutlich von den realen Messungen ab, wie im Fließtext beschrieben.									
PRESET C92		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	3,98	3,33	2,84	2,49	2,18	2,02	1,70	2,16
1-1	EDT in s	3,13	2,03	1,77	1,28	1,41	1,41	1,13	1,44
	C80 in dB	1,64	0,86	-1,00	5,32	3,80	3,79	5,43	1,94
Position	RT60 in s	3,19	3,07	2,61	2,42	2,39	2,10	1,75	1,78
1-2	EDT in s	2,81	2,89	2,14	1,50	1,49	1,44	1,32	1,49
	C80 in dB	1,47	-0,32	-0,68	2,84	2,76	1,64	2,53	1,91
Position	RT60 in s	3,84	3,27	2,97	2,42	2,19	2,03	1,76	1,77
1-3	EDT in s	3,23	2,28	2,25	1,81	1,58	1,61	1,30	1,37
	C80 in dB	1,04	-0,48	-0,32	2,75	3,38	1,74	1,85	0,22
Position	RT60 in s	4,43	3,21	2,74	2,41	2,12	2,06	1,78	1,70
1-4	EDT in s	3,24	2,17	2,13	1,66	1,54	1,67	1,45	1,47
	C80 in dB	-4,04	-1,51	1,25	2,94	1,68	0,78	1,37	-0,33
Position	RT60 in s	3,49	3,02	2,83	2,31	2,25	2,14	1,76	1,96
1-5	EDT in s	3,86	3,48	2,16	2,20	1,76	1,57	1,40	1,41
	C80 in dB	-0,15	0,60	-3,99	0,90	-1,62	-2,09	-0,94	1,16
Position	RT60 in s	3,76	3,47	2,64	2,37	2,19	2,10	1,77	1,91
1-6	EDT in s	4,17	2,28	1,93	1,40	1,68	1,70	1,41	1,50
	C80 in dB	-1,73	-2,96	1,14	3,04	1,61	0,26	0,65	-1,44
Position	RT60 in s	3,80	3,02	2,84	2,47	2,19	1,95	1,71	1,59
2-1	EDT in s	2,03	2,35	1,66	1,89	1,79	1,69	1,48	1,46
	C80 in dB	1,26	-0,74	4,53	4,14	2,96	3,95	5,28	3,31
Position	RT60 in s	13,26	2,69	2,36	2,51	2,24	1,97	1,72	1,63
2-2	EDT in s	2,92	2,60	2,15	1,84	1,75	1,87	1,52	1,50
	C80 in dB	0,89	-4,56	1,53	4,22	1,79	2,40	3,25	3,68
Position	RT60 in s	4,03	3,11	2,71	2,43	2,18	2,00	1,74	1,96
2-3	EDT in s	3,56	3,00	2,16	1,86	1,73	1,75	1,49	1,47
	C80 in dB	-2,64	-1,24	-2,62	0,99	-0,19	-1,92	-0,25	0,07
Position	RT60 in s	4,24	2,98	3,37	2,40	2,20	2,04	1,77	1,81
2-4	EDT in s	3,73	1,95	2,02	2,16	1,71	1,89	1,63	1,56
	C80 in dB	-1,12	-2,53	2,79	1,87	-0,06	-0,74	0,23	-1,78
Position	RT60 in s	3,64	2,86	3,46	2,82	2,21	2,01	1,80	1,95
2-5	EDT in s	3,44	2,82	2,60	2,08	1,79	1,86	1,43	1,55
	C80 in dB	-2,15	-2,62	-2,25	-0,98	-3,61	-4,24	1,59	-5,05
Position	RT60 in s	4,05	3,27	2,98	2,30	2,21	2,02	1,81	1,83
2-6	EDT in s	1,96	2,06	2,40	2,01	1,74	1,87	1,62	1,53
	C80 in dB	-1,52	0,32	-1,01	0,71	-0,19	-0,66	-0,12	-1,84

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	3,88	3,13	2,94	2,56	2,14	2,00	1,74	2,84
3-1	EDT in s	1,93	2,32	1,42	1,25	1,30	1,47	1,20	1,37
	C80 in dB	3,32	1,70	1,36	4,02	3,66	2,32	4,06	3,64
Position	RT60 in s	3,44	3,41	2,79	2,27	2,12	2,05	1,72	1,73
3-2	EDT in s	2,31	1,20	1,52	1,50	1,25	1,52	1,20	1,41
	C80 in dB	3,21	1,40	1,40	3,90	3,15	3,32	4,79	1,51
Position	RT60 in s	3,30	3,06	2,83	2,50	2,16	2,01	1,77	2,61
3-3	EDT in s	3,12	1,27	1,51	1,80	1,56	1,64	1,43	1,43
	C80 in dB	-1,78	1,44	0,23	1,47	2,26	-0,18	1,15	0,34
Position	RT60 in s	4,61	3,26	2,93	2,17	2,19	2,01	1,74	2,23
3-4	EDT in s	2,93	1,82	1,87	1,68	1,56	1,62	1,42	1,55
	C80 in dB	-1,74	-0,13	0,37	3,39	1,30	0,54	0,65	0,59
Position	RT60 in s	3,81	3,40	3,03	2,67	2,16	2,14	1,75	1,77
3-5	EDT in s	2,56	2,85	1,94	1,85	1,72	1,72	1,47	1,54
	C80 in dB	1,85	-0,60	-0,42	0,82	1,20	-0,77	-0,01	-2,39
Position	RT60 in s	4,23	3,32	2,80	2,46	2,18	2,05	1,79	1,76
3-6	EDT in s	3,86	3,05	1,62	1,61	1,87	1,73	1,49	1,47
	C80 in dB	-3,78	-0,12	-0,49	2,46	1,58	-0,59	-0,36	0,17
Arithmetisches Mittel der Messwerte									
Um diese Mittel zu berechnen wurden alle Positionen genutzt (räumliche Mittelung), außer die einen roten Messwert enthalten.									
		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
	RT60 in s	3,87	3,19	2,90	2,44	2,19	2,04	1,76	1,96
	EDT in s	3,05	2,34	1,95	1,74	1,62	1,66	1,40	1,47
	C80 in dB	-0,40	-0,41	0,02	2,39	1,39	0,42	1,64	0,12
Einzahl-Wert									
RT _m , EDT _m , C80 _m wird berechnet aus dem Mittelwert der Messung der Oktavmittelfrequenz 500 Hz und 1kHz.									
	RT60 _m in s	2,32							
	EDT _m in s	1,68							
	C80 _m in dB	1,89							
Bassverhältnis (Bass-Ratio) BR									
BR wird aus dem Verhältnis der Summe von den Oktavmittenfrequenzen (OkMF) 125 Hz und 250 Hz zu der Summe der OkMF 500 Hz und 1000 Hz.									
	BR	1,31							

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

Erklärung:									
Position 2-5 bedeutet: Lautsprecherposition 2- und Mikrofonposition -5									
Die Rot Markierten weichen deutlich von den realen Messungen ab, wie im Fließtext beschrieben.									
PRESET D		Oktavmittenfrequenz							
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz
Position	RT60 in s	5,04	3,30	3,11	2,80	2,64	2,80	2,15	1,61
1-1	EDT in s	2,96	1,48	1,80	1,33	1,51	1,79	1,03	1,34
	C80 in dB	0,94	0,66	0,53	5,06	3,72	4,31	6,15	3,94
Position	RT60 in s	3,97	3,19	3,16	2,63	2,54	2,95	2,20	1,43
1-2	EDT in s	2,30	2,10	1,81	1,83	1,85	1,90	1,32	1,30
	C80 in dB	1,63	0,87	-0,60	2,06	1,73	2,30	3,41	4,58
Position	RT60 in s	4,38	3,29	3,14	2,87	2,73	2,96	2,27	1,42
1-3	EDT in s	3,83	2,22	2,24	1,99	1,98	2,16	1,32	1,53
	C80 in dB	1,94	-0,75	0,89	2,23	3,18	1,81	1,97	0,99
Position	RT60 in s	4,54	3,21	3,24	2,79	2,41	2,99	2,26	1,59
1-4	EDT in s	3,06	2,24	1,85	1,89	1,93	2,07	1,58	1,56
	C80 in dB	-3,29	1,13	-0,41	2,56	1,45	1,34	2,11	2,11
Position	RT60 in s	4,29	3,30	3,16	2,91	2,69	3,07	2,09	1,66
1-5	EDT in s	3,23	2,45	2,86	2,39	2,46	2,48	1,79	1,84
	C80 in dB	-2,55	0,66	-2,73	0,21	-1,20	-1,70	1,26	-3,51
Position	RT60 in s	6,45	3,43	3,08	2,83	2,60	2,83	2,27	1,74
1-6	EDT in s	3,15	2,73	1,82	1,47	2,07	2,19	1,53	1,58
	C80 in dB	-2,24	-0,46	3,14	3,11	0,93	0,71	1,82	0,70
Position	RT60 in s	6,07	3,71	2,85	2,71	2,59	2,70	2,11	1,54
2-1	EDT in s	2,03	2,17	1,48	1,67	2,19	1,86	1,46	1,55
	C80 in dB	1,23	1,03	5,90	4,49	3,04	4,59	6,20	5,28
Position	RT60 in s	3,95	3,22	3,04	2,63	2,60	2,82	2,19	1,50
2-2	EDT in s	2,01	2,83	1,97	1,77	2,10	2,23	1,60	1,36
	C80 in dB	2,36	-2,29	2,24	4,23	1,05	3,28	3,74	6,71
Position	RT60 in s	4,06	3,69	3,05	2,83	2,67	2,84	2,29	1,55
2-3	EDT in s	3,21	2,32	2,23	1,96	2,29	2,26	1,83	1,68
	C80 in dB	-2,28	1,28	-3,06	1,25	-0,05	-2,32	-0,66	0,66
Position	RT60 in s	4,47	3,54	3,12	2,77	2,57	2,77	2,28	1,57
2-4	EDT in s	3,48	2,54	1,82	2,35	2,24	2,53	1,86	1,67
	C80 in dB	-0,77	-1,38	3,21	2,43	0,27	-0,44	1,15	0,62
Position	RT60 in s	4,95	3,33	3,11	2,79	2,79	2,88	2,21	1,37
2-5	EDT in s	3,44	2,45	2,76	2,19	2,45	2,51	2,17	1,92
	C80 in dB	-4,05	-5,32	-2,38	-0,24	-3,31	-4,02	-2,60	-1,75
Position	RT60 in s	4,88	3,52	3,00	2,60	2,56	2,82	2,23	1,77
2-6	EDT in s	2,65	2,66	2,39	2,33	2,46	2,42	1,93	1,67
	C80 in dB	-4,74	-0,95	1,28	0,97	-0,64	-0,61	0,83	-1,15

Messwerte aus Impulsantworten - TV-Studio Mittweida 28.09.22

		Oktavmittenfrequenz								
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	
Position	RT60 in s	4,06	3,65	2,90	2,77	2,52	2,88	2,26	1,54	
3-1	EDT in s	1,79	1,65	1,14	1,44	1,22	1,56	1,19	1,21	
	C80 in dB	3,10	2,99	2,66	3,59	4,10	3,18	4,72	5,85	
Position	RT60 in s	3,70	3,18	2,97	2,72	2,52	2,89	2,23	1,52	
3-2	EDT in s	2,87	1,08	1,65	1,59	1,65	1,73	1,21	1,34	
	C80 in dB	4,34	2,24	1,57	3,55	3,02	3,45	4,90	3,39	
Position	RT60 in s	3,79	3,13	3,00	2,89	2,72	2,98	2,33	1,57	
3-3	EDT in s	2,94	1,22	1,70	1,65	1,86	2,10	1,53	1,45	
	C80 in dB	-1,83	1,95	0,31	2,64	2,02	-0,34	1,39	1,64	
Position	RT60 in s	3,89	3,37	3,19	2,70	2,65	2,96	2,24	1,55	
3-4	EDT in s	3,03	2,14	1,99	1,97	1,73	1,99	1,48	1,57	
	C80 in dB	-0,44	2,16	1,50	3,85	1,81	0,43	1,42	3,58	
Position	RT60 in s	4,59	3,50	3,03	2,79	2,63	2,94	2,20	1,47	
3-5	EDT in s	2,72	2,94	2,58	2,25	2,22	2,41	1,78	1,75	
	C80 in dB	2,62	-1,65	0,77	0,39	1,67	-0,24	1,61	0,90	
Position	RT60 in s	4,16	3,73	2,99	2,66	2,68	2,88	2,28	1,59	
3-6	EDT in s	3,66	2,62	1,53	1,80	1,95	2,20	1,57	1,48	
	C80 in dB	-0,35	1,46	0,02	2,18	1,42	0,39	0,56	1,96	
Arithmetisches Mittel der Messwerte										
Um diese Mittel zu berechnen wurden alle Positionen genutzt (räumliche Mittelung), außer die einen roten Messwert enthalten.										
		Oktavmittenfrequenz								
		63Hz	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	
	RT60 in s	4,25	3,39	3,07	2,76	2,62	2,91	2,24	1,54	
	EDT in s	2,95	2,23	2,03	1,96	2,03	2,17	1,61	1,56	
	C80 in dB	-0,29	0,16	0,35	2,13	1,10	0,43	1,72	1,77	
Einzahl-Wert										
RT _m , EDT _m , C80 _m wird berechnet aus dem Mittelwert der Messung der Oktavmittelfrequenz 500 Hz und 1kHz.										
	RT60 _m in s	2,69								
	EDT _m in s	1,99								
	C80 _m in dB	1,61								
Bassverhältnis (Bass-Ratio) BR										
BR wird aus dem Verhältnis der Summe von den Oktavmittenfrequenzen (OkMF) 125 Hz und 250 Hz zu der Summe der OkMF 500 Hz und 1000 Hz.										
	BR	1,20								

Tabelle 2

Auswertung Höchster und Niedrigster Wert

OHNE AFC SYSTEM		Oktavmittenfrequenz							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Höchste Abweichung:		74%	106%	104%	105%	104%	105%	105%	130%
Höchster Wert in s:		2,77	1,14	0,84	0,79	0,78	0,79	0,77	0,87
Mittelwert in s:		2,52	1,04	0,81	0,75	0,75	0,75	0,73	0,67
Niedrigster Wert in s:		2,01	0,97	0,76	0,72	0,71	0,73	0,69	0,59
Niedrigste Abweichung:		54%	90%	94%	96%	95%	97%	94%	88%
PRESET C1,4		Oktavmittenfrequenz							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Höchste Abweichung:		111%	112%	108%	106%	105%	106%	107%	104%
Höchster Wert in s:		3,10	2,40	2,05	1,70	1,64	1,59	1,44	1,28
Mittelwert in s:		2,79	2,15	1,90	1,60	1,57	1,50	1,35	1,23
Niedrigster Wert in s:		2,56	1,89	1,82	1,46	1,50	1,45	1,26	1,18
Niedrigste Abweichung:		92%	88%	96%	91%	96%	97%	93%	96%
PRESET C92		Oktavmittenfrequenz							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Höchste Abweichung:		119%	109%	119%	116%	109%	105%	103%	145%
Höchster Wert in s:		4,61	3,47	3,46	2,82	2,39	2,14	1,81	2,84
Mittelwert in s:		3,87	3,19	2,90	2,44	2,19	2,04	1,76	1,96
Niedrigster Wert in s:		3,19	2,86	2,61	2,17	2,12	1,95	1,70	1,59
Niedrigste Abweichung:		83%	90%	90%	89%	97%	95%	97%	81%
PRESET D		Oktavmittenfrequenz							
		63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Höchste Abweichung:		117%	110%	105%	106%	107%	106%	104%	115%
Höchster Wert in s:		4,95	3,73	3,24	2,91	2,79	3,07	2,33	1,77
Mittelwert in s:		4,25	3,39	3,07	2,76	2,62	2,91	2,24	1,54
Niedrigster Wert in s:		3,70	3,13	2,90	2,60	2,41	2,77	2,09	1,37
Niedrigste Abweichung:		87%	92%	94%	94%	92%	95%	93%	89%

Anhang - Abbildungen

Abbildung 1



Nachhallzeit Preset C92 - Grafik des Verfassers.

Orange: In Terzbandfilter

Blau: In Oktavbandfilter

Abbildung 2



Abbildung 3



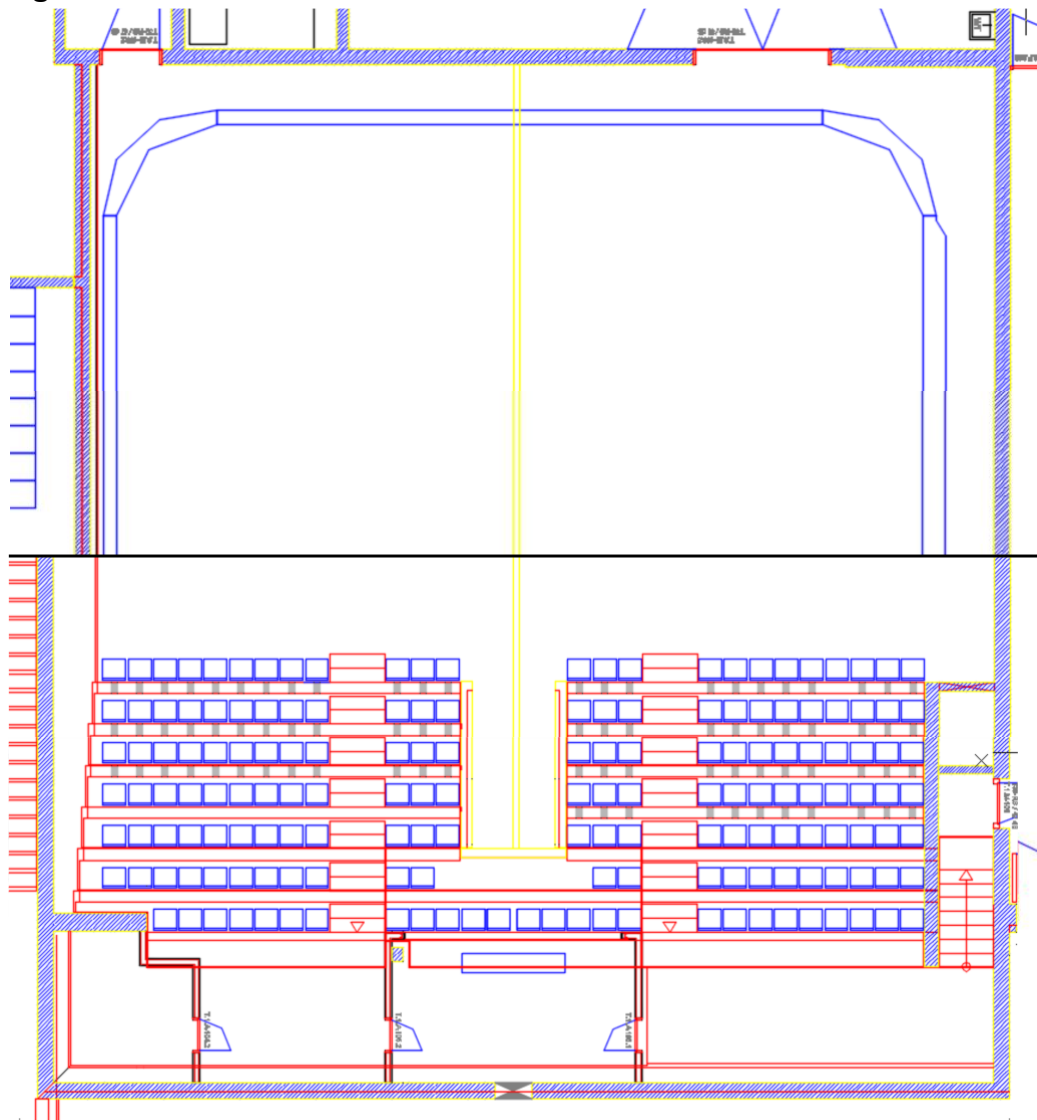
Abbildung 4



Abbildung 5



Abbildung 6



Grundriss: Zusammenschnitt aus zwei Etagen

Volumenberechnung TV-Studio Mittweida

$$V_{TV\text{-Studio}} = A_{\text{Grundfläche}} * h - \left((V_{\text{Tribüne}} - V_{\text{Eingang}}) + V_{\text{Kabine}} + V_{\text{tiefere Decke}} \right)$$

$$V_{TV\text{-Studio}} = A_{\text{Grundfläche}} * h - \left(\left(\frac{g * h}{2} * t - \frac{g * h}{2} * t \right) + a * b * c + a * b * c \right)$$

$$V_{TV\text{-Studio}} = 392,68 \text{ m}^2 * 11,7 \text{ m}$$

$$- \left(\left(\frac{5,9 \text{ m} * 3,5 \text{ m}}{2} * 18 \text{ m} - \frac{4,28 \text{ m} * 2,54 \text{ m}}{2} * 2,3 \text{ m} \right) + 10,2 \text{ m} * 3,25 \text{ m} * 3,5 \text{ m} + 3 \text{ m} * 10,3 \text{ m} * 3,4 \text{ m} \right)$$

$$V_{TV\text{-Studio}} = 4199,92 \text{ m}^3$$

Abbildung 7

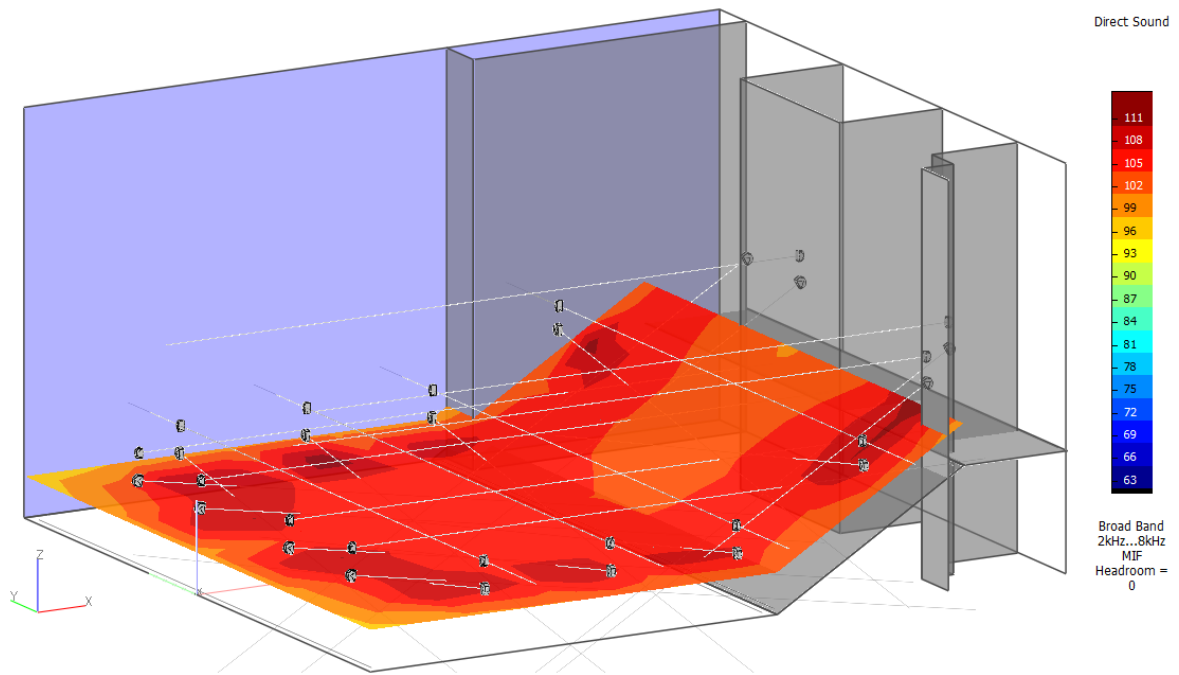


Abbildung 8

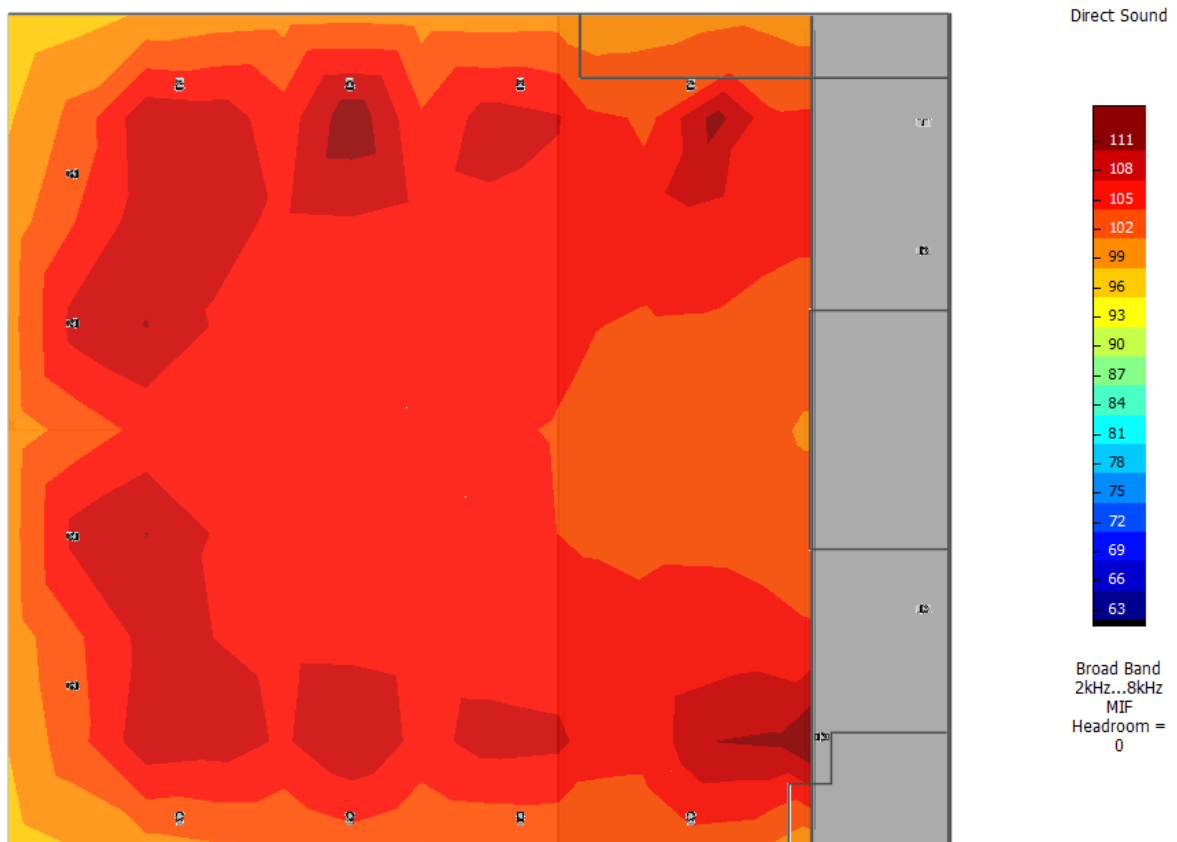
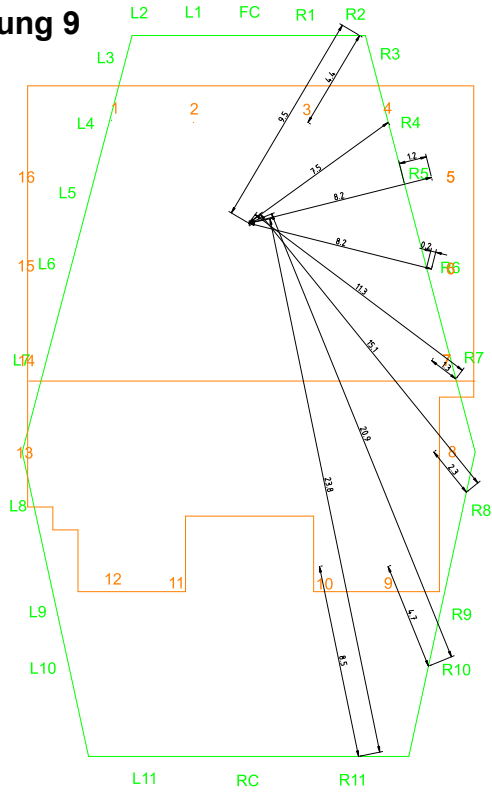
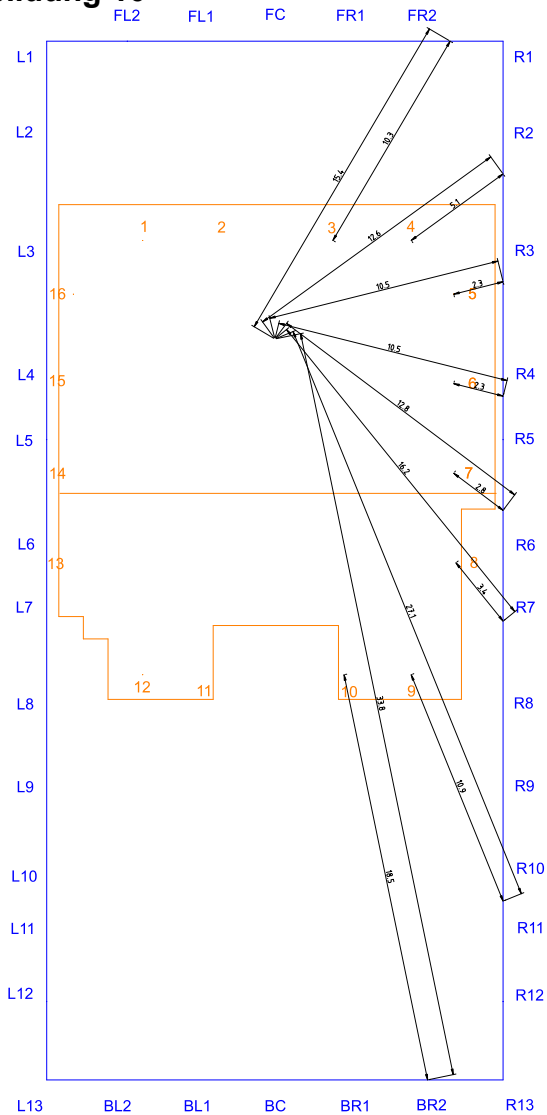


Abbildung 9



Target Venue C			
ER Speaker	Target [m]	Difference [m]	Delay [ms]
1			10
2			26
3	8,9	4,1	26
4	7,5	0,0	10
5	8,2	-1,2	9
6	8,2	-0,2	12
7	11,3	1,3	25
8	14,9	2,3	38
9	18,6	1,7	47
10	24,2	8,6	84
11			84
12			47
13			38
14			25
15			12
16			9

Abbildung 10



Target Venue D			
ER Speaker	Target [m]	Difference [m]	Delay [ms]
1			40
2			59
3	14,5	9,7	59
4	12,6	5,2	40
5	10,5	2,3	26
6	10,5	2,3	26
7	12,8	2,8	34
8	15,8	3,3	44
9	22,5	5,5	70
10	34,4	18,8	143
11			143
12			70
13			44
14			34
15			26
16			26

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe. Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Kamenz, den 18.12.2022

