



BACHELORARBEIT

Herr
Robin Pletinckx

**Bewertung des STI eines
FIR-Beamsteering-Arrays im
Vergleich zu einem
konventionellen Linienstrahler**

2021

BACHELORARBEIT

Bewertung des STI eines FIR-Beamsteering-Arrays im Vergleich zu einem konventionellen Linienstrahler

Autor:

Robin Pletinckx

Studiengang:

Media and Acoustical Engineering

Seminargruppe:

MG 17 wC- b

Erstprüfer:

Prof. Dr. Jörn Hübelt

Zweitprüfer:

Alexander Ortmann

Mittweida, 2021

Bibliografische Angaben

Pletinckx, Robin: Bewertung des STI eines FIR-Beamsteering-Arrays im Vergleich zu einem konventionellen Linienstrahler, 69 Seiten, 45 Abbildungen, keine, Hochschule Mittweida, University of Applied Sciences, Fakultät Medien

Bachelorarbeit, 2021

Referat

Diese Bachelorarbeit untersucht den Speech Transmission Index (STI) eines Beamsteering Linienstrahlers. Dieser STI wird mit dem eines konventionellen Linienstrahlers in verschiedenen Versuchsreihen verglichen. Dabei sind die Beschallungs-Szenarios jeder Versuchsreihe unterschiedlich. Die Messungen werden im Firmengebäude der Firma Seeburg acoustic line durchgeführt. Dabei dient ein neues Produkt, das IBeam, als Beamsteeringzeile. Die Messergebnisse und Auswertungen sollen Aufschluss über Einsatzmöglichkeiten und Grenzen von Beamsteeringssystemen geben.

I. Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichniss	V
Formelverzeichnis	VI
1 Einleitung	1
2 Grundlagen des Beamsteeringprinzips	3
2.1 FABS Beamsteering	3
2.2 FIR-Filter	5
3 STI und STIPA nach DIN EN 60268-16	6
3.1 Bedeutung des STI	6
3.2 Grundlagen der STI Bestimmung	7
3.3 Explizites STI-Berechnungsverfahren	9
3.4 Anforderungen an das STIPA Messverfahren	10
3.5 Durchführung einer STIPA- Messung	11
3.6 Wichtige Einflussfaktoren auf den STI	12
4 Technische Spezifikationen der verwendeten Anlagen und Software	13
4.1 Technische Daten des IBeam	13
4.2 L16j und L8i	14
4.3 IBeam Controller und Easy Beam	15
4.4 Software zur STIPA(IR)-Bestimmung, ARTA	16
4.5 Weitere benötigte Messapparaturen	17
5 Versuchsreihen	19
5.1 Versuchsreihe 1, STIPA Messung im Showroom	19
5.1.1 Versuchsaufbau	20
Messpunkte	20
Aufbau und Anschluss der Messapparaturen	21
IBeam Konfiguration	22

ARTA Konfiguration	23
5.1.2 Messdurchführung	23
STIPA(IR)-Messung des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration	23
STIPA(IR)-Messung des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration	24
Messung der L16j und L8i.....	25
Erneuter Messdurchlauf	25
Wiederholungsmessungen	26
5.1.3 Ergebnisse zur Versuchsreihe 1	26
5.1.4 Fazit zur Versuchsreihe 1.....	28
5.2 Versuchsreihe 2, STIPA Messung im Showroom auf lange Distanz	29
5.2.1 Versuchsaufbau	29
Messpunkte und Messapparaturen	29
IBeam- und ARTA Konfiguration	30
5.2.2 Messdurchführung	31
5.2.3 Ergebnisse	31
5.2.4 Fazit zur Versuchsreihe 2.....	33
5.3 Versuchsreihe 3, STIPA Messung im Lager mit hoher Nachhallzeit.....	34
5.3.1 Versuchsaufbau	35
Messpunkte und Messapparaturen	35
IBeam und ARTA Konfiguration	36
5.3.2 Messvorgang	36
5.3.3 Ergebnisse	37
5.3.4 Fazit zur Versuchsreihe 3.....	38
5.4 Versuchsreihe 4, STIPA Messung im Freifeld	39
5.4.1 Versuchsaufbau	40
Messpunkte und Messapparaturen	40
IBeam und ARTA Konfiguration	40
5.4.2 Messvorgang	41
5.4.3 Ergebnisse	42
5.4.4 Fazit zu Versuchsreihe 4	44
5.5 Zusammenfassung der Versuchsreihen	45

6	Diskussion der MTI Ergebnisse	46
6.1	Einfluss der Bewertungsfaktoren auf den STI	46
6.2	MTI- Auswertung der Versuchsreihen	47
	MTI-Werte aus Versuchsreihe 1	47
	MTI-Werte aus Versuchsreihe 2	48
	MTI-Werte aus Versuchsreihe 3	49
	MTI-Werte aus Versuchsreihe 4	51
6.3	Zusammenfassung der MTI-Auswertung	52
7	Fazit	54
	Weitere Vorgehensweise	55
	Literaturverzeichnis	57
A	IBeam Daten	59
B	MTI Ergebnisse und Mittelung	60
C	Signalpegel und Noise- Pegel in dB(A) und Messbedingungen	64

II. Abbildungsverzeichnis

2.1	Beamforming eines Antennen-Arrays [Heuermann 2020]	4
2.2	Block schemadarstellung eines FIR-Filters aus [Müller 1999].....	5
3.1	Verringerung der Modulationstiefe und Bildung der Modulationsübertragungsfunktion [DIN 2019]	8
3.2	Abhängigkeit des STI vom A- bewerteten Signalpegel [Probst 2017].....	12
4.1	IBeam	14
4.2	Frequenzgangmessung des Masters in 1m Abstand.....	14
4.3	Parameter zur Konfiguration der Hörerfläche in Easy Beam	15
4.4	Kalkulation der Beamsteeringkonfiguration im Advanced IBeam Controller mit den Optimierungsoptionen	16
5.1	Beschreibung	20
5.2	3D Ansicht, Versuchsraum 1	21
5.3	Versuchsreihe 1, Messpunkte auf der Hörerfläche (Grau)	21
5.4	Beschreibung	21
5.5	ARTA, Ausgabe des A- bewerteten Signal- und Rauschpegels an Messpunkt 0.....	24
5.6	STIPA(IR) Ergebnis, tabellarische Auswertung an Messpunkt 0.....	24
5.7	Versuchsreihe 1, STIPA(IR) Mittelungen je Messpunkt.....	28
5.8	3D Ansicht des Raumes der Versuchsreihe 2	30
5.9	Messpunkte der Hörerfläche (Grau)	30
5.10	Versuchsreihe 2, STIPA Mittelungen am jeweiligen Messpunkt	33
5.11	3D Ansicht, Versuchsraum 3	34
5.12	Messpunkte der Versuchsreihe 3 (Grau)	34
5.13	Metalltüre, Lautsprecher und Mikrofon an Messposition 0	35
5.14	Aufhängung des IBeam an einer Lagerameise und die L16j auf einem Stativ	35
5.15	Versuchsreihe 3, STIPA Mittelungen am jeweiligen Messpunkt	38
5.16	3D Ansicht des Versuchszenarios	39
5.17	Messpunkte auf der Hauptstrahlachse (Grau)	39
5.18	IBeam Aufhängung an der Gabel eines Gabelstaplers.....	40

5.19	Mobile Messstation auf Rollwägen	40
5.20	Versuchsreihe 4, STIPA(IR) Mittelungen am jeweiligen Messpunkt.....	43
5.21	Versuchsreihe 4, Mittelungspegel des Signals je Messpunkt im Vergleich	44
6.1	Auswirkungen der Oktavbewertung α und Redundanzfaktor β auf den STI	46
6.2	Versuchsreihe 1, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband.....	47
6.3	Versuchsreihe 1, Oktavpegel mit Beamsteering an Messpunkt 6	48
6.4	Versuchsreihe 1, Oktavpegel der L16j mit L8i an Messpunkt 6.....	48
6.5	Versuchsreihe 2, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband.....	48
6.6	Versuchsreihe 3, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband.....	49
6.7	Versuchsreihe 3, Oktavpegel von Beamsteering an Messpunkt 3	50
6.8	Versuchsreihe 3, Oktavpegel der L16j an Messpunkt 3	50
6.9	Versuchsreihe 3, MTI von Beamsteering je Oktavband und Messpunkt	50
6.10	Versuchsreihe 3, MTI der L16j je Oktavband und Messpunkt	50
6.11	Versuchsreihe 4, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband.....	51
6.12	Versuchsreihe 4, Oktavpegel von Beamsteering an Messpunkt 4.....	51
6.13	Versuchsreihe 4, Oktavpegel der L16j mit L8i an Messpunkt 4.....	51
6.14	Versuchsreihe 4, MTI von Beamsteering je Oktavband und Messpunkt	52
6.15	Versuchsreihe 4, MTI der L16j mit L8i je Oktavband und Messpunkt	52
A.1	Sidelobs des IBeam- Master bei einer 14° Beamkonfiguration zur Hauptstrahlachse ..	59

III. Tabellenverzeichnis

3.1	Bewertungs- und Redundanzfaktoren [DIN 2019]	10
3.2	Modulationsfrequenzen für das STIPA Verfahren [DIN 2019].....	11
3.3	A-Bewertete Oktavpegel für das STIPA Verfahren [DIN 2019].....	11
5.1	Versuchsreihe 1, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam	22
5.2	Versuchsreihe 1, Einstellung des AutoEQ	23
5.3	Versuchsreihe 1, STIPA(IR) Messergebnisse des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration	24
5.4	Versuchsreihe 1, STIPA Messung des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration	25
5.5	Versuchsreihe 1, STIPA Messergebnisse der L16j + L8i	25
5.6	Versuchsreihe 1, Ergebnisse der zweiten Messung	26
5.7	Versuchsreihe 1, Messung 1, 2 und Wiederholte Messung	26
5.8	Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 1, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung	27
5.9	Versuchsreihe 1, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR	28
5.10	Versuchsreihe 2, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam	30
5.11	Versuchsreihe 2, Messung 1, 2 und wiederholte Messung	31
5.12	Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 2, STIPA(IR) und Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung	32
5.13	Versuchsreihe 2, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR	33
5.14	Versuchsreihe 3, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam	36
5.15	Versuchsreihe 3, Messergebnisse	36
5.16	Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 3, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung	37
5.17	Versuchsreihe 3, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR	38
5.18	Versuchsreihe 3, Einstellung der Hörerfläche in Easy Beam	41
5.19	Versuchsreihe 4, Messung 1, 2 und 3	41
5.20	Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 4, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung	42

5.21	Versuchsreihe 4, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR	43
5.22	Versuchsreihe 4, Mittelungspegel des Testsignals an jeder Messposition	44

V. Abkürzungsverzeichnis

STI Speech Transmission Index

FABS Finite Impulse Response Array Beam Steering

SPL Schalldruckpegel

Array Reihenanzordnung von Lautsprechern

FIR Finite Impulse Response

Phase Laufzeit eines Signals

IIR Infinite Impulse Response

MTI Modulationsübertragungsindex

SNR Signal- Rauschabstand

VI. Formelverzeichnis

Φ	Abstrahlwinkel abseits der Hauptstrahlachse eines Linienstrahlers
x	Eingangssignalsamples eines FIR-Filters
y	Ausgangssignalsamples eines FIR-Filters
b	Sample einer Impulsantwort
z	Verzögerungsglied eines FIR-Filters
I_i	Intensität des Eingangssignals
I_0	Intensität des Ausgangssignals
m_i	Modulationsindex des Eingangssignals
m_0	Modulationsindex des Ausgangssignals
m	Modulationsindex aus dem Verhältniss von m_0 zu m_i
f_m	Modulationsfrequenz eines Testsignals (Amplitudenmodulation)
T	Nachhallzeit
SNR_{eff}	Effektives Signal-Rauschverhältnis
m'	Modulationindex, korrigiert nach Hintergrundgeräuschen
m''	Modulationsindex, korrigiert nach Hörverdeckung und Hörschwelle
I_s	Der akustische Intensitätspegel des Prüfsignals
I_n	Der akustische Intensitätspegel des Hintergrundgeräuschs
I_k	Der akustische Intensitätspegel eines Oktavbands
I_{am}	Die Intensität der Verdeckung
I_{rt}	Die Intensität der Rezeptionsschwelle
TI	Übertragungsindex für eine Modulationsfrequenz
MTI	Modulationsübertragungsindex, Mittelung der TI in einem Oktavband
α	Bewertungsfaktor für das männliche Sprachspektrum
β	Redundanzfaktor des nächsten Oktavbandes
STI	Der errechnete Speech Transmission Index
h	Oktavbandabhängige Impulsantwort aus einem periodischen Signal

1 Einleitung

In der Zeit meines Praxissemesters bei der Firma Seeburg acoustic line befindet sich ein neues Produkt, das IBeam, gerade in der Entwicklung. Dabei handelt es sich um einen Linienstrahler mit Beamsteering-Technologie. Beamsteering-Systeme gewinnen in der Beschallungstechnik immer mehr an Popularität. Angeblich bieten Beamsteering-Lautsprecher Vorteile gegenüber konventionellen Linienstrahlern. Durch gezielte Schallabstrahlung auf eine vordefinierte Hörerfläche könnten Beamsteeringssysteme sehr flexibel einsetzbar sein. Mit Beamsteering kann das Abstrahlverhalten einer Lautsprecherzeile, je nach beliebigen optimiert und verändert werden. Dabei könnte Beamsteering für eine bessere Sprachverständlichkeit in großen Räumen sorgen, speziell in solchen mit besonderen oder schlechten akustischen Bedingungen wie beispielsweise eine hohe Nachhallzeit. Besonders diese hat eine schlechte Auswirkung auf die Sprachverständlichkeit. Die Beschallung von stark reflektierenden Raumbegrenzungsflächen sorgt dabei für einen höheren Diffusschallanteil. Die Sprachverständlichkeit könnte dabei unter einem geringeren Anteil an Direktschall leiden.

Diese Bachelorarbeit soll die Auswirkungen von Beamsteering auf die Sprachverständlichkeit erläutern. Dazu wird das IBeam von Seeburg acoustic line untersucht und mit einem passiven Linienstrahler verglichen. Als Beurteilungsgröße der Sprachverständlichkeit wird der Speech Transmission Index (STI) herangezogen. Genauer wird der STIPA benutzt, welcher speziell für die Bewertung von elektroakustischen Anlagen geeignet ist. Dabei handelt es sich um Einzelwerte mithilfe derer sich eine Aussage über die Qualität eines Sprachübertragungskanal getroffen werden kann.

Es werden Räume mit unterschiedlichen akustischen Eigenschaften und in verschiedenen Beschallungsszenarien untersucht. Das IBeam lässt sich ebenfalls wie ein konventioneller Linienstrahler verwenden. So können Eigenschaften von Beamsteering direkt mit denen eines herkömmlichen Linienstrahlers verglichen werden. Außerdem wird ein weiterer konventioneller Linienstrahler, die L16j und die L8i von Seeburg acoustic line, zur Referenz eines normalen, passiven Linienstrahlers dienen. All jene Lautsprecher werden für verschiedenen Versuchsreihen und für das jeweilige Szenario ausgerichtet. Aus den Ergebnissen der Messungen sollen Rückschlüsse für die weitere Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten von Beamsteering gezogen, sowie Grenzen aufgezeigt werden. Nach der Erfassung der Messergebnisse soll auch eine spektrale Auswertung stattfinden.

Beamsteering, speziell das Finite Impulse Response Array Beam Steering (FABS) des IBeam wird mithilfe von FIR-Filtern, Frequenzabhängigen Delays und der Berechnung einer Virtuellen Matrix für die Abstrahlcharakteristik ermöglicht. Es wird ein Schallfeld simuliert, welches sich mithilfe der Benutzeroberfläche der Software Advanced IBeam Controller und Easy Beam konfigurieren und optimieren lässt. Dies ist bei einem konventionellen, passiven Linienstrahler nicht möglich. Die Optimierungsoptionen des IBeam können gegebenenfalls für eine Verbesserung der Sprachübertragungsqualität sorgen. Als Beispiel es mit dem IBeam technisch möglich, die Schallpegelminderung bei Abstandsverdopplung zu verringern, sodass sich ein gleichmäßiger Schalldruckpegel (SPL) auf der zuvor definierten Hörerfläche einstellt. Auch können sogenannte Nebennasen unterdrückt werden, welche bei einem Linienstrahler entstehen. Letztlich können Silent Areas definiert werden. Dabei handelt es sich um Flächen, die nicht beschallt werden sollen. Gerade diese Option könnte zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit in einem Szenario mit schallharten Raumbegrenzungsflächen beitragen.

2 Grundlagen des Beamsteeringprinzips

In diesem Kapitel sollen die Grundlagen erörtert werden, welche zum Verständnis des Funktionsprinzips von Beamsteering verhelfen.

2.1 FABS Beamsteering

Der digitale Aufbau des IBeam und damit das Digital Processing wurde von einer Externen Firma entwickelt und ist unter Verschluss. Dennoch ist die Grundlegende Funktionsweise eines Beamsteering-Systems bekannt. Dabei dient das herkömmliche Prinzip eines Linienstrahlers als Grundlage. Durch eine Reihenanordnung von Lautsprechern (Array) wird eine nahezu ebene Wellenfront im Nahfeld erzielt. Bei dieser zylinderförmigen Schallausbreitung sinkt der Schalldruckpegel bei einer Abstandsverdopplung im Nahfeld um 3dB statt 6dB, wie es für eine kugelförmige Schallausbreitung üblich ist. Diese Eigenschaft wird dazu benutzt, um eine höhere Reichweite bei der Beschallung zu erzielen. [Müller 2013]

Speziell bei FABS werden zusätzlich digitale Filter verwendet um die spektralen Anteile zu trennen und in ihrer Laufzeit zu verändern. Die Trennung eines Frequenzbands erfolgt mit Hilfe von Finite Impulse Response (FIR)-Filter. Diese FIR-Filter bieten mitunter die Möglichkeit, die Laufzeit eines Signals (Phase) bei der Filterung zu stabilisieren. Alle Frequenzanteile eines gefilterten Signals können zur selben Zeit wiedergegeben werden [Puente 2015]. Damit werden lineare zeitliche Verzerrungen bei der Wiedergabe des Audiosignals vermieden. Mithilfe eines errechneten Laufzeitversatzes der Lautsprecher eines Arrays und des Versatzes der Phase der jeweiligen durch FIR-Filter getrennten Frequenzbänder bildet sich eine neue, kohärente Wellenfront abseits der Hauptstrahlachse. Reflektierende Flächen abseits der zuvor definierten Hörerfläche sollen mittels eines speziellen Berechnungsverfahrens gezielt mit geringerer Intensität beschallt werden.

Die Methoden für Beamforming stammt aus der Radar und Antennentechnik und können auch für Acoustic Beamsteering verwendet werden. Die Funktionsweise von acoustic Beamsteering basiert auf dem Phased Array Prinzip. Hierbei werden Antennen mit gleichmäßigem Abstand zueinander angeordnet. Wird die Phase von aufeinander folgenden Antennen-Gliedern verzögert, so entsteht eine Wellenfront, welche mit einem bestimmten Winkel zur Hauptstrahlachse verläuft. [Heuermann 2020]

In Abbildung 2.1 ist die Neigung der Hauptstrahlachse eines Beamsteering-Arrays um den Winkel ϕ veranschaulicht. Wird der Laufzeitunterschied für einen bestimmten Winkel ϕ berechnet, so setzt sich der Laufzeitversatz für jedes weitere Antennen- oder Lautsprecherglied fort. [Heuermann 2020]

Wird die Hauptstrahlachse um ϕ verschoben, so hat dies frequenzabhängige Verluste der Intensität an der Hauptstrahlachse zu Folge. Es treten auch unsymmetrische Veränderungen der Intensitäten der Nebennasen auf, welche abseits des gewünschten Abstrahlwinkels ϕ entstehen (siehe Anhang A). Nebennasen sind die Folge einer frequenzabhängigen Überlagerung oder Auslöschung der Schallwellen eines Linienstrahlers. Die Anzahl der entstehenden Nebennasen ist frequenzabhängig. Hierbei treten die Nebennasen bei höheren Frequenzen komprimierter auf, während sie bei tieferen Frequenzen in einem weiteren Winkel auseinander liegen.

Dem IBeam ist durch FIR-Filter und der Simulation des Schallfeldes möglich, diese Nebennasen zu unterdrücken und damit das Abstrahlverhalten zu optimieren.

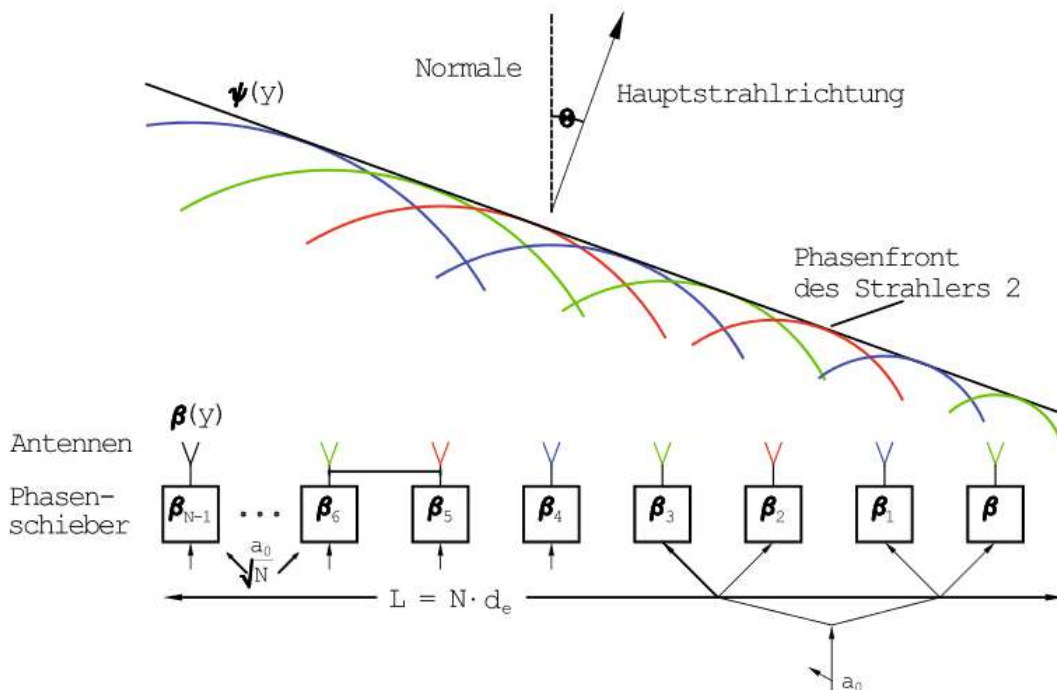


Abbildung 2.1: Beamforming eines Antennen-Arrays [Heuermann 2020]

2.2 FIR-Filter

Das IBeam benutzt FIR-Filter um das Abstrahlverhalten weiter zu optimieren. FIR-Filter sind im Gegensatz zu Infinite Impulse Response (IIR)-Filtern stabil. FIR-Filter können linear ausgelegt werden. Diese Eigenschaft ist notwendig, um einen Impuls bei der Wiedergabe zeitlich unverzerrt zu lassen. [Puenta 2015]

Um eine ausreichend hohe Filtergüte und steilere Filterflanken zu erzielen sind jedoch viele Verzögerungsglieder notwendig. In jedem Verzögerungsglied wird ein Sample des Signals mit dem einer zuvor definierten endlichen Impulsantwort gefaltet. Eine Verbesserung der Filterqualität eines FIR-Filters ist mit mehr Aufwand verbunden. [Müller 1999]

Das IBeam von Seeburg `acoustic line` besitzt FIR-Filter mit 512 Verzögerungsgliedern für Beamsteering und insgesamt 1024 für die weiteren Equalizer.

Die Charakteristik des Filters hängt dabei von der Art der Impulsantwort ab. Diese Impulsantwort ist im Gegensatz zu IIR-Filtern endlich. Dadurch tritt ein Überschwingverhalten an den Grenzfrequenzen, der sogenannte Ripple Effect auf. Die Dämpfung des Ripple-Effect kann durch die Menge der verwendeten Verzögerungsglieder für den jeweiligen Anspruch verbessert werden. Das erfordert jedoch mehr Verarbeitungszeit und Speicherkapazität des digitalen Endstufenmoduls und hat damit eine höhere Verzögerung des Outputsignals zur Folge. Auch durch Fensterung der Impulsantwort durch ein Hamming- oder Hanningfenster kann eine Verbesserung des Ripple-Effekts erzielt werden [Müller 1999].

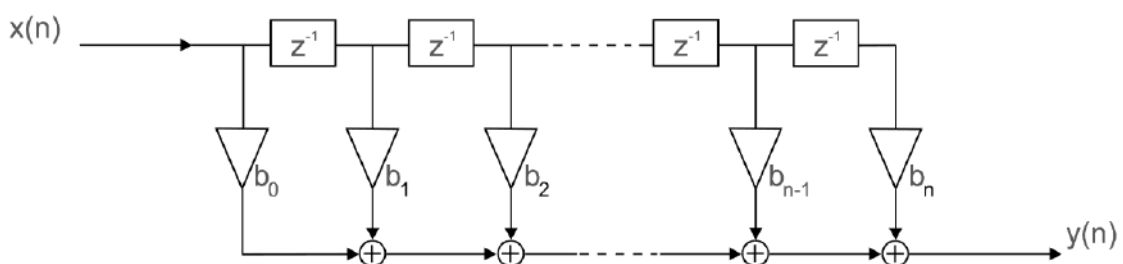


Abbildung 2.2: Blockschemadarstellung eines FIR-Filters aus [Müller 1999]

Abbildung 2.2 zeigt das Schema eines FIR-Filters, mit den Verzögerungsgliedern z^i und den Faltungskoeffizienten b_i . Das Eingangssignal $x(n)$ wird durch Faltung mit der Impulsantwort für die Filtercharakteristik zum Ausgangssignal $y(n)$ summiert.

3 STI und STIPA nach DIN EN 60268-16

In diesem Kapitel wird der STI als Maß für die Sprachübertragungsqualität, sowie das Berechnungsverfahren erläutert.

3.1 Bedeutung des STI

Der STI ist ein international anerkanntes und objektives Maß, mithilfe dessen sich eine Vorhersage über die Verständlichkeit von Sprache innerhalb eines Übertragungssystems getroffen werden kann. Während sich mithilfe des STI eine gute Aussage über die Qualität eines Raumes treffen lässt, ist speziell der STIPA dazu geeignet, eine elektroakustische Beschallungsanlage hinsichtlich der Sprachübertragungsqualität zu beurteilen. Der STIPA ist dabei ein Einzahlwert zwischen 0 und 1. Dieser Wert dient unter anderem zur Bewertung einer Sprachübertragungsanlage für den jeweiligen Einsatzzweck wie beispielsweise für eine Gefahrenmeldeanlage.

Bei der Beurteilungsgröße handelt es sich um die Sprachverständlichkeit an einer bestimmten Hörerposition die über ein bestimmtes Prüfsignal am Übertragungskanal, der Raum und die Anlage, bemessen wird. Dabei wird die Modulationstiefe des Prüfsignals nach der Übertragung bewertet, welche über den Sprachübertragungskanal verringert wird. Der wesentliche Sprachübertragungskanal ist dabei die Anlage. Je schlechter die Eigenschaften des Raumes sind, desto mehr Einfluss hat dieser auf die Verschlechterung der Sprachübertragung. Ein dritter, wesentlicher Einflussfaktor der Sprachverständlichkeit ist das Hintergrundgeräusch.

Bei dem Prüfsignal handelt es sich um ein Abbild der Sprachhüllkurve, bei welchem die Intensitätsschwankungen durch Silben, Satzgrenzen und Phonemen herangezogen werden. Durch langsamere und schnellere Schwankungen der Intensität werden diese Merkmale der Sprache im Prüfsignal rekonstruiert. Nachhall und Geräusche haben nur Einfluss auf die Modulationstiefe des übertragenen Signals und nicht auf das Sprachspektrum, weshalb die Abnahme der Modulationstiefe mithilfe des Modulationsübertragungsindex (MTI) untersucht werden muss. Das Prüfsignal besteht aus einem rosa Rauschen (Pink-Noise) als Trägersignal, welches eine sprachähnliche Frequenzgewichtung besitzt. Die Amplitude wird mit einem Sinus in den verschiedenen Modulationsfrequenzen f_m moduliert. Das Wahrnehmen der Intensitätsschwankungen ist am relevantesten für die Sprachverständlichkeit.

Die Modulationsfrequenz f_m gibt dabei die Schwankungsgeschwindigkeit an. Diese liegt bei deutlichem Sprechen zwischen 0,5Hz bis 16Hz. Die maximale Modulationstiefe liegt dabei bei etwa 3Hz. Das STIPA Prüfsignal umfasst sieben Oktavbänder, von der tiefsten Mittenfrequenz 125Hz bis zur höchsten 8kHz, wobei die Modulationsfrequenz f_m in Terzintervallen von 0,63Hz bis 12,5Hz für das STI Messverfahren definiert ist. Bei tabellarischer Auswertung der Modulationsindizes m entstehen beim STI Verfahren 98 Ergebnisse, welche summiert den STI ergeben.

Das STIPA-Verfahren ist eine vereinfachte Form des STI-Verfahrens, welche zur Bewertung von elektroakustischen Anlagen und damit für die Bewertung der Verbesserung der Sprachverständlichkeit durch Beamsteering des IBeam geeignet ist. Es werden dabei weniger Modulationsfrequenzen pro Oktav verwendet. Ferner wird zwischen dem direkten STIPA- Verfahren und dem indirekten Verfahren, STIPA(IR), unterschieden, wobei im direkten Verfahren Prüfsignale zur direkten Messung der Übertragungsfunktion verwendet werden. Beim indirekten Verfahren werden Modulationsindizes m mittels der Auswertung einer Impulsantwort über die Schrödergleichung ermittelt. Im Gegensatz zum STI besteht der STIPA nur aus insgesamt 14 Modulationsindizes m . In Dieser Bachelorarbeit dient das STIPA(IR)- Verfahren zur qualitativen Ermittlung der Sprachübertragungsqualität.

3.2 Grundlagen der STI Bestimmung

Der Modulationsindex des Prüfsignals lautet m_i . Der Modulationsindex des Ausgangssignals laute m_0 . Das Ausgangssignal wird an der Hörerposition empfangen. Durch Raumverzerrungen wie Echos, Nachhall T und Hintergrundrauschen wird der Modulationsindex m_0 verringert.

$$I_i(1 + m_i \cdot \cos 2\pi f_m T) \rightarrow \boxed{\text{Übertragungsweg}} \rightarrow I_0(1 + m_0 \cdot \cos 2\pi f_m (T + \tau)) \quad (3.1)$$

Der Modulationsindex m wird aus m_i und m_0 für jede Modulationsfrequenz f_m berechnet. Dieser gibt ein Verhältnis der Verringerung der Modulationstiefe an. Die Reduktion der Modulationstiefe durch Geräusche wird aus dem effektiven Signal-Rauschabstand (SNR_{eff}) ermittelt. Die Ergebnisse der Signal-Rauschabstände sind auf maximal +15dB und -15dB zu begrenzen.

$$SNR_{eff} = 10 \lg \left(\frac{m_{f_m}}{1 - m_{f_m}} \right)$$

(3.2)

In Abbildung 3.1 wird die Verringerung der Modulationstiefe durch das Übertragungssystem anschaulich dargestellt. Die Ergebnisse für den Modulationsindex m können für jede Modulationsfrequenz f_m grafisch dargestellt werden. Wird ein Frequenzband in einem bestimmten Zeitintervall untersucht, wird die Intensität des Signals über den Zeitraum gemittelt und ergibt die mittlere Intensität $I(k)$. Dies geschieht für alle Modulationsfrequenzen f_m in einem Oktavband k . Durch I_k lässt sich nun für ein Oktavband eine Funktion der einzelnen Modulationsindizes über das Modulationsspektrum ermitteln. Diese Funktion ist die Modulationsübertragungsfunktion (MTF).

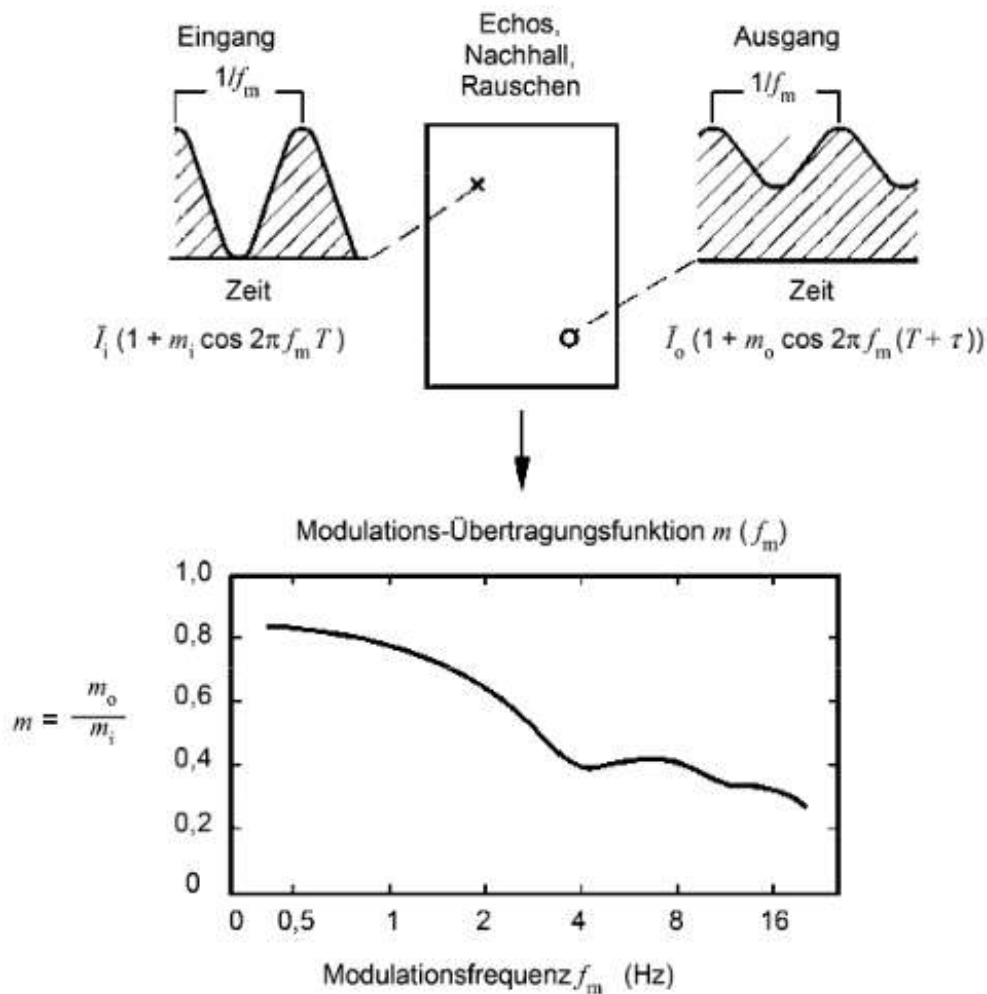


Abbildung 3.1: Verringerung der Modulationstiefe und Bildung der Modulationsübertragungsfunktion [DIN 2019]

3.3 Explizites STI-Berechnungsverfahren

Um den STI zu ermitteln, wird zunächst der Modulationsindex m_{k,f_m} jedes Oktavbands k und jeder Modulationsfrequenz f_m berechnet. Dazu werden die Intensitäten der Modulationen, wie in Gleichung 3.1 von Ausgang und Eingang verglichen. Für die indirekte Methode wird m_{k,f_m} wie in Kapitel 5.1 bestimmt. Der Modulationsindex m muss auf Hörverdeckungseffekte, Maskierung und die Sprachrezensionschwelle hin korrigiert werden. Eine Korrektur von Umgebungsgeräuschen wird mit Gleichung 3.3.0 durchgeführt. Dabei entspricht I_{sk} dem Intensitätspegel des Prüfsignals und $I_{n,k}$ dem Intensitätspegel der Umgebungsgeräusche. Die Korrektur von Hörverdeckungseffekten wird mit Gleichung 3.3.1 berücksichtigt, wobei $I_{a_m,k}$ der pegelabhängige Hörverdeckungseffekt im Oktavband k und $I_{r_t,k}$ der Intensitätspegel für die Sprachrezensionschwelle von k entspricht. Diese Hörverdeckungseffekte treten insbesondere bei höheren Pegeln auf, welche bei einem verstärkten Sprachsignal wie bei einer PA-Anlage vorkommen. Modulationsindizes m sollten nach der Berechnung auf den Maximalwert $m = 1$ gekürzt werden.

$$m'_{k,f_m} = m_{k,f_m} \cdot \frac{I_{sk}}{I_{sk} + I_{n,k}} \quad (3.3.0)$$

$$m''_{k,f_m} = m'_{k,f_m} \cdot \frac{I_k}{I_k + I_{a_m,k} + I_{r_t,k}} \quad (3.3.1)$$

Nun folgt die Umrechnung des korrigierten Modulationsübertragungswertes m''_{k,f_m} in ein effektives Signal-Rauschverhältnis wie in Gleichung 3.2. Der Übertragungsindex TI_{k,f_m} wird für alle Oktavbänder k und Modulationsfrequenzen f_m nach Gleichung 3.4 berechnet.

$$TI_{k,f_m} = \frac{SNR_{eff} + 15}{30} \quad (3.4)$$

Nun folgt die Mittlung der Übertragungsindizes TI_{k,f_m} über alle Modulationsfrequenzen. Dafür erhält man den Modulationsübertragungsindex für ein Oktavband MTI_k .

$$MTI_k = \frac{1}{n} \sum TI_k \quad (3.5)$$

Mit dem MTI_k lässt sich der STI bestimmen. Hinzu kommt der Bewertungsfaktor α für ein Oktavband und der Redundanzfaktor β zwischen den Oktavbändern. Der Modulationsübertragungsfaktor MTI_k wird nach Tabelle 3.1 für jedes Oktavband gewichtet.

$$STI = \sum \alpha_k \cdot MTI_k - \sum \beta_k \cdot \sqrt{MTI_k \cdot MTI_{k+1}} \quad (3.6)$$

Tabelle 3.1: Bewertungs- und Redundanzfaktoren [DIN 2019]

Oktavband (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
α	0,085	0,127	0,203	0,233	0,309	0,224	0,173
β	0,085	0,078	0,065	0,011	0,047	0,095	-

Die Beurteilung der Sprachverständlichkeit kann aus dem STI abgelesen werden. Für den STIPA gilt das Selbe. Die Berechnung des STIPA ist lediglich mit weniger Aufwand verbunden, da die Anzahl der Modulationsfrequenzen f_m für jedes Oktavband auf zwei begrenzt ist. Bei der letztlichen Beurteilung handelt es sich um Bewertungsgrößen, welche Aufschluss über die Qualität einer Sprachübertragungsanlage liefert.

3.4 Anforderungen an das STIPA Messverfahren

Ein oktavgewichtetes Pink-Noise Signal wird als Träger benötigt. Die Oktavmittenfrequenzen der zu untersuchenden Bänder erstrecken sich von 125Hz bis 8KHz. Die Modulation der Trägersignale geschieht sinusförmig und sollte eine Modulationstiefe von $m = 1$ nicht überschreiten. Auch sollte darauf acht gegeben werden, dass das Testsignals durch Clipping nicht abgeschnitten wird bzw. übersteuert. Werden mehrere Modulationsfrequenzen in ein Trägerband eingespeist, müssen die Modulationsfaktoren gleich sein (z.B. Oktavweise). Im Falle des STIPA Verfahrens ist dies unbedenklicher, da es pro Oktavband 2 Modulationsfrequenzen gibt, die in einem Frequenzverhältnis vom Faktor 5 moduliert und deshalb Separat gemessen werden können. Die Modulationsfrequenzen für das STIPA-Verfahren sind in Tabelle 3.2 gegeben.

Tabelle 3.2: Modulationsfrequenzen für das STIPA Verfahren [DIN 2019]

Oktavband (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
f_{m1} (Hz)	1,60	1,00	0,63	2,00	1,25	0,80	2,50
f_{m2} (Hz)	8,00	5,00	3,15	10,0	6,25	4,00	12,5

Beim STIPA-Verfahren werden die Oktavpegel wie in Tabelle 3.3 gewichtet. Dafür werden die A-bewerteten Oktavpegel aus dem gewöhnlichen STI-Verfahren für die männliche Sprache übernommen.

Tabelle 3.3: A-Bewertete Oktavpegel für das STIPA Verfahren [DIN 2019]

Oktavband (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Oktavpegel (dB)	-2,4	0,6	0,1	-5,9	-11,9	-17,9	-23,9

3.5 Durchführung einer STIPA- Messung

Bei der Durchführung einer STIPA(IR)-Beurteilung einer elektroakustischen Anlage wird möglichst nach den Vorgaben aus der DIN EN IEC 60268-16:2019 verfahren. Bei der Verwendung der Indirekten Methode sollten alle STIPA Ergebnisse mit STIPA(IR) gekennzeichnet werden. Zunächst werden die technischen Daten der zu beurteilenden PA-Anlagen wie im folgenden Kapitel 4 gesammelt. Es wird ein Plan für jede Messung aufgestellt. Dieser beinhaltet die in Kapitel 5.2 angeführten Messgeräte, sowie die Anzahl und Orte der Messpunkte. Es wird versucht, die Konfiguration der Messgeräte für die jeweiligen Versuchsreihen nach Möglichkeit beizubehalten. Die Messpunkte werden für jede Messreihe individuell auf einem Raster platziert, welches innerhalb der definierten Hörerfläche des IBeam liegt. Das Messmikrofon wird vor jeder Versuchsreihe neu kalibriert. Der Schalldruckpegel des Prüfsignals wird nach dem im folgenden Abschnitt erwähnten Kriterien gewählt und am ersten Messpunkt der jeweiligen Messreihe eingestellt. Alle Ergebnisse einer Messreihe werden zunächst vor der Auswertung in zuvor angelegten Ordnern auf einer Festplatte gespeichert. Pro Messpunkt werden zunächst 2 Messungen durchgeführt. Beträgt die Abweichung des STIPA(IR) mehr als 0.3 am selben Messpunkt, so wird eine weitere Messung vorgenommen. Abschließend werden vor einer ausführlicheren Analyse der MTI- Ergebnisse alle Versuchsreihen mit den Messergebnissen und einem Fazit geschlossen.

3.6 Wichtige Einflussfaktoren auf den STI

Das STI-Ergebnis hängt unter anderem von der Lautstärke des Signals an der Messposition ab. So tritt eine Verringerung des STI bei einem unterschrittenen Pegel von 40dB(A) an der Hörerposition auf. Dieser Verlust ist auf die Verringerung der Modulationstiefe durch die Hörschwelle zurückzuführen. Ebenso führt ein zu hohes SPL ab 80dB(A) zur Verschlechterung des Messergebnisses aufgrund von Hörverdeckungseffekten. In Abbildung 3.2 ist die pegelabhängige Verringerung des STIPA(IR) bei drei verschiedenen Signal-Rauschabständen zu sehen. [Probst 2017]

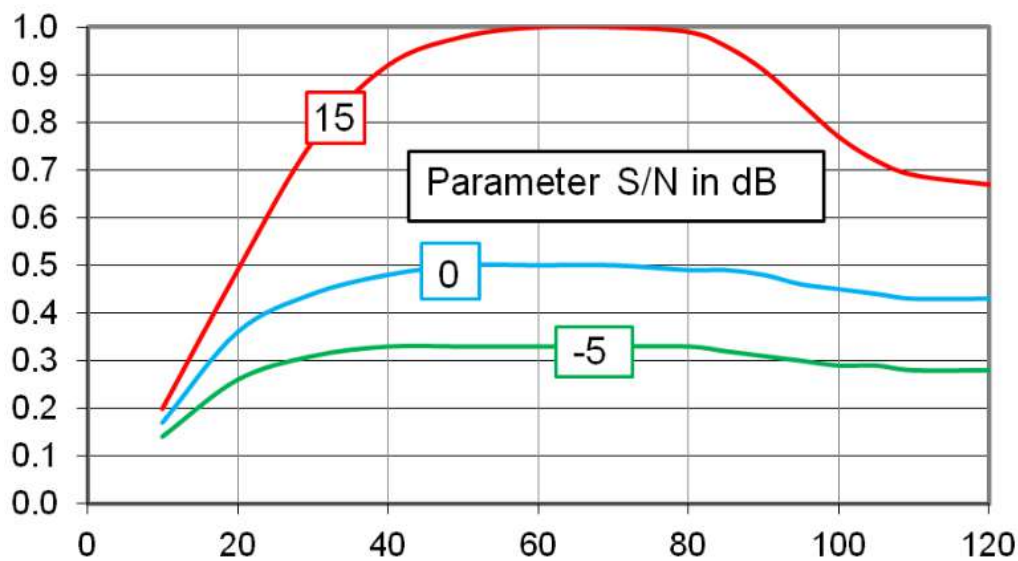


Abbildung 3.2: Abhängigkeit des STI vom A- bewerteten Signalpegel [Probst 2017]

Da die Versuchsbedingungen gut genug sind für einen ausreichenden Signal- Rauschabstand, werden in den Versuchsreihen Pegel zwischen 60dB(A) und 80dB(A) an den jeweils ersten Messpunkten eingestellt. Auch führt Nachhall des Raumes zur Verschlechterung der Ergebnisse. Diese ist jedoch maßgeblich von der Entfernung vom Sprecher zum Hörer abhängig. Ist die Hörerposition nahe an der Quelle, so verringern sich die Einflüsse der hohen Nachhallzeit auf den STI aufgrund des höheren Direktschallanteils [Probst 2017]. In einer der folgenden Versuchsreihen wird eine Messung in einem Raum mit höherer Nachhallzeit durchgeführt. Dabei sollte die Hörerfläche weit genug von der PA-Anlage entfernt sein, um eine mögliche Verbesserungen des STI durch zu wenig Abstand zu vermeiden.

4 Technische Spezifikationen der verwendeten Anlagen und Software

4.1 Technische Daten des IBeam

Das IBeam ist ein Zeilenlautsprecher, welcher aus einem Master-Modul besteht und mit weiteren Slave-Modulen erweitert werden kann. In dieser Bachelorarbeit wird das Master-Modul überwiegend mit zwei Slave-Modulen erweitert. Die totale mit Lautsprechern bestückte Zeilenlänge beträgt 204mm, wobei das Gesamtsystem eine Länge von 244mm besitzt, da sich im unteren Teil des Master-Moduls das Netzteil befindet. Bei den verbauten Lautsprechern handelt es sich um insgesamt 24x 3 Zoll Neodymlautsprecher mit jeweils 20W an 4Ω. Die Lautsprecher sind in ein Aluminiumgehäuse mit implementiertem Noppenschäum eingebettet. Die einzelnen Lautsprecher sind mit Hörnern für die Richtwirkung und Waveguides optimiert.

Durch die FIR-Filterung und das Signal-Processing besitzt das IBeam eine globale Latenz von 12,3ms. Das Wiedergabespektrum reicht von 110Hz bis 20kHz. Dabei ist laut ersten Messungen des Prototyps hervorgegangen, dass das Master-Modul ab etwa 150Hz einen linearen Frequenzgang aufweist, wie in Abbildung 4.2 zu sehen ist. Bei dieser Messung handelt es sich um die Messung des Master Prototyps bei 1m Anstand bei einer Beambreite von 7° ohne Neigung. Dabei wurde ein Hochpassfilter bei 150Hz eingesetzt. Daher wird für die folgenden Messungen in dieser Arbeit ebenfalls ein Hochpassfilter bei 150Hz eingefügt.

Die horizontale Abstrahlung beträgt 70° von 30Hz bis 10kHz und 50° von 10kHz bis 20kHz. Die vertikale Abstrahlung kann mit Hilfe von Beamsteering beeinflusst werden. In Abbildung 4.1 ist der Prototyp des IBeam von Seeburg acoustic line bestehend aus einem Master- und zwei Slave-Modulen in weiß zu sehen.

Jedes Slave-Modul besitzt weitere DSP-Endstufen, welche vom Master-Modul mit einem Netzteil von 2x500W versorgt werden. Das Anschlussfeld befindet sich auf der Rückseite des Master-Moduls. Durch eine Busschnittstelle an den Ober- bzw. Unterseiten der Module werden alle angeschlossenen Slaves mit Spannung und dem Audiosignal versorgt. Durch eine LAN/Dante Schnittstelle am Master-Modul werden benutzerdefinierte Beamsteeringeinstellungen übertragen und auf dem Modul temporär bis zur Änderung der Beamsteeringkonfiguration gespeichert.

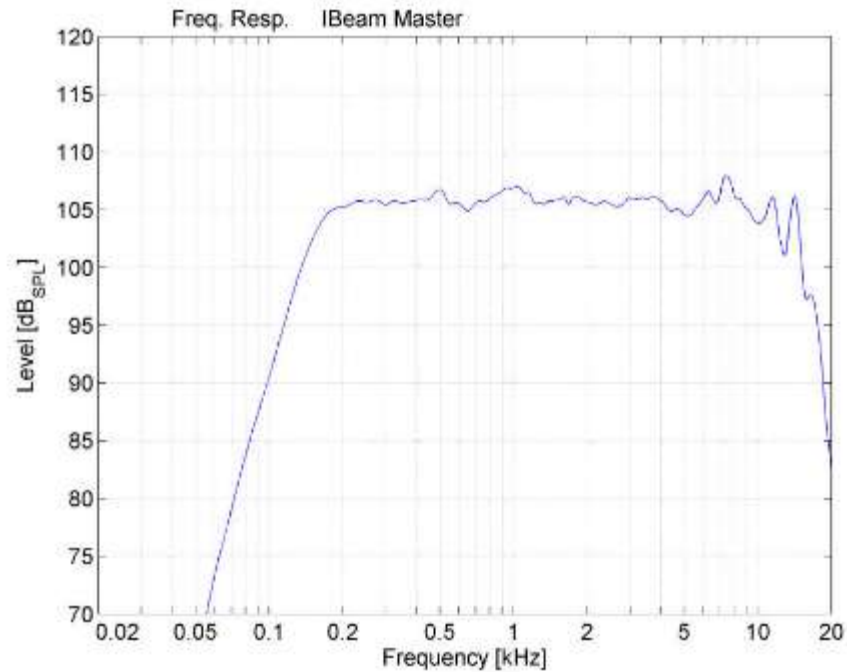


Abbildung 4.1: IBeam

Abbildung 4.2: Frequenzgangmessung des Masters in 1m Abstand

4.2 L16j und L8i

Zu jeder Versuchsreihe dient die L16j als Referenzanlage. Hierbei handelt es sich um einen passiven Linienstrahler, welcher mit zusammen mit einer externen Endstufe betrieben wird. Die L16j besitzt 16x 3 Zoll Lautsprecher bei 8Ω. Die Länge der Zeile beträgt 1,32m.

Eine L8i ist eine kürzere Version der L16j und besitzt weitere 8x 3 Zoll Lautsprecher bei insgesamt 16Ω. Die L8i ist 0,67m lang.

Die gesamte Zeile besitzt somit 24 Lautsprecher und ist insgesamt 1,99m. Zusätzlich ist die L16j ist am unteren Ende der Zeile um 10° gekrümmt. Um die L16j und die L8i miteinander zu verbinden dient ein M10 Gewindebolzen, da sich an der Ober- und Unterseiten der Lautsprecher ein dazugehöriger M10 Gewindeflansch befindet. Um eine bessere Ausrichtung zur Beschallung der Hörerfläche zu erreichen werden die zusammengefügte Lautsprecher zusätzlich mit einem Neigungswinkel von 5° aufgestellt.

4.3 IBeam Controller und Easy Beam

Die Beamsteeringkonfigurationen für das IBeam werden mittels einer speziell angefertigten Software erstellt. Easy Beam dient hierbei zum simpleren Definieren einer Hörerfläche. Hierbei wird erst die Anzahl an Slave-Modulen angegeben. Dann kann zunächst die Montagehöhe des IBeam eingestellt werden. Hierbei handelt es sich um den Abstand vom Boden bis zur Unterkante des Master-Moduls. Außerdem kann bei Bedarf der Endstufen-Gain justiert werden. Die Hörerfläche kann mittels der Parameter, Beginn der Hörerfläche, Ende der Hörerfläche und Höhe der Hörerfläche eingestellt werden. Für die folgenden Versuchsreihen wird die Hörerfläche auf eine Höhe von 1,2m eingestellt, da es in manchen Versuchsräumen Schwierigkeiten gibt, dass IBeam auf eine gewisse Höhe zu montieren. Abbildung 4.3 zeigt die Einstellungsmöglichkeiten und Benutzeroberfläche der Software Easy Beam.

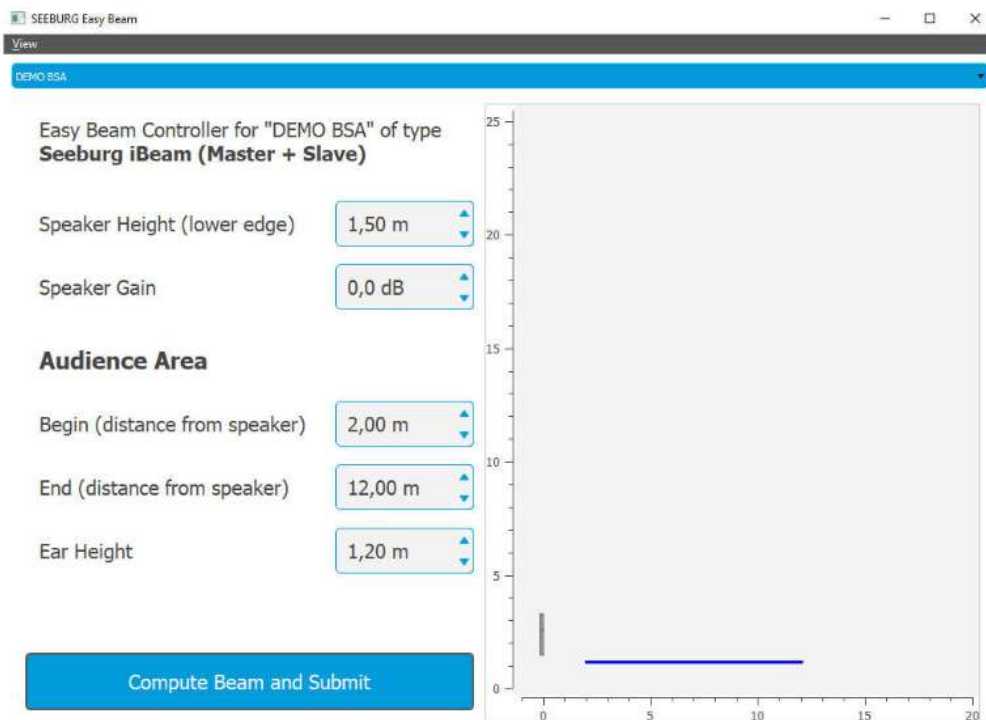


Abbildung 4.3: Parameter zur Konfiguration der Hörerfläche in Easy Beam

Ist die Hörerfläche eingestellt, so kann das Projekt in den Advanced IBeam Controller übertragen werden. Hierbei können weitere Einstellungen vorgenommen werden. Hierzu zählt der Auto EQ. Dieser ist dazu in der Lage, den Frequenzgang nach einer Beamsteeringkonfiguration zu Linearisieren. Außerdem kann hierbei eine Zu- und Abnahme des Pegels pro Oktav zur Optimierung verwendet werden. Auch werden hier die Hoch- und Tiefpassfilter für die folgenden Versuchsreihen eingestellt.

Als zusätzliche Beamsteeringkonfiguration können im Advanced IBeam Controller auch Silent-Areas definiert werden (Abbildung 4.4). Bei diesen handelt es sich um Flächen, die vermindert beschallt werden sollen. So kann hier die Bodenfläche vor dem IBeam bis zur Hörerfläche, die Decke und die Rückwand als Silent-Area definiert werden. So wird der Beamsteering-Algorithmus angepasst um gerade in Räumen für weniger Anregung dieser Flächen zu Sorgen und wie in den folgenden Versuchsreihen die Sprachverständlichkeit STI zu verbessern. Dabei werden auch Nebennasen unterdrückt.

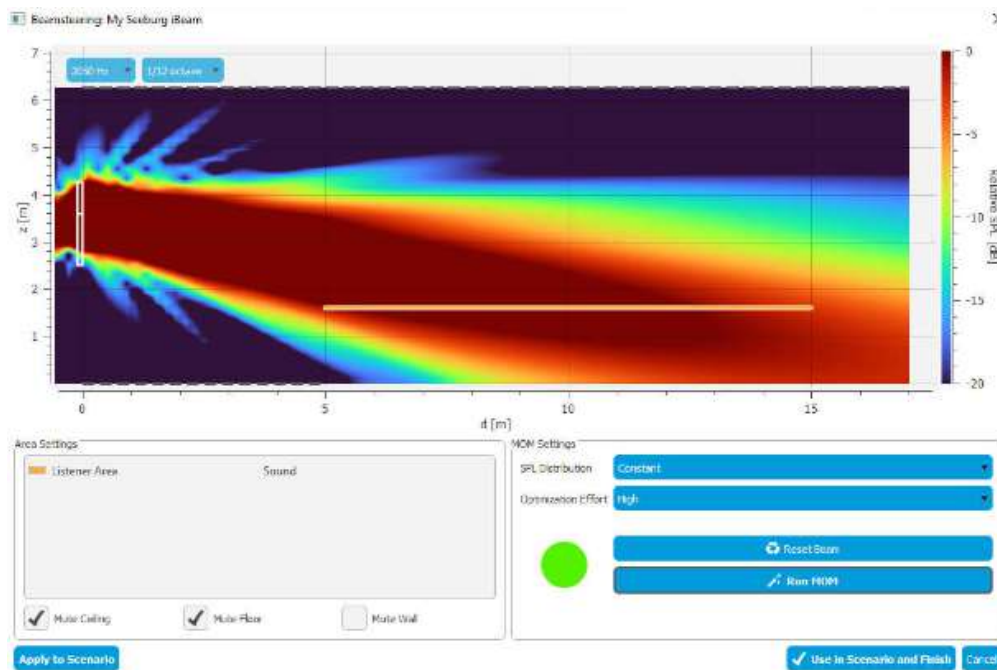


Abbildung 4.4: Kalkulation der Beamsteeringkonfiguration im Advanced IBeam Controller mit den Optimierungsoptionen

4.4 Software zur STIPA(IR)-Bestimmung, ARTA

ARTA ist eine Software, welche für Messungen des Spektrums diverser Testsignale und Impulsantworten bei der Wiedergabe über einen Lautsprecher geeignet ist. Bei der STIPA(IR)-Messung mit ARTA wird der Modulationsindex m_{k,f_m} des periodischen Testsignals mithilfe des Schröder Verfahrens von einer gemessenen Impulsantwort h_k wie in Gleichung 5.1 abgeleitet.

$$m_{k,f_m} = \left| \frac{\int_0^\infty h_k^2(t) e^{-j2\pi f_m t} dt}{\int_0^\infty h_k^2(t) dt} \right| \quad (5.1)$$

In h_k sind beide Modulationsfrequenzen eines Oktavbands des STIPA-Verfahrens vorhanden. Für die STIPA(IR)-Messung wird das Testsignal MALE SPEECH verwendet, da bei dem STIPA(IR)-Verfahren wie in Tabelle 3.3 die Oktavpegel des männlichen Sprachspektrums verwendet werden. Besitzt das Messsignal nun den richtigen, für den Einsatz angemessenen Pegel, kann das Messmikrofon auf die gewünschte Hörerposition versetzt werden. Die FFT-Fensterlänge des periodischen Signals sollte auf ein Minimum der tiefsten zu messenden Modulationsfrequenz f_m gesetzt werden, damit quantisierungsbedingte Fehler bei der Messung vermieden werden. Nun kann ARTA mithilfe der Ergebnisse aus den Messungen der Modulationsindizes m_{k,f_m} den STIPA(IR) berechnen.

Die Ausgabe der Ergebnisse erfolgt in ARTA tabellarisch. Darin befinden sich die einzelnen TI für die jeweiligen Oktavbänder sowie der STIPA(IR) als Einzahl-Wert. Es kann wahlweise eine Maskierungseffektkorrektur vorgenommen werden, was bei verstärkten Beschallungsanlagen empfohlen wird, da bei höheren Pegeln Maskierungseffekte auftreten können. Des Weiteren kann der STIPA(IR) über die Aufnahme des Hintergrundgeräusches über 15s korrigiert werden.

4.5 Weitere benötigte Messapparaturen

ARTA, bzw. der PC, auf dem die Software installiert ist, benötigt eine externe Soundkarte, um ein XLR-Messmikrofon und weitere Messgeräte für die Versuchsaufbauten anzuschließen. Als Soundkarte dient hierbei das Fireface UC des Herstellers RME. Diese besitzt einen erforderlichen Mono-Ausgang für die Ausgabe des Messsignals und zwei XLR-Eingänge. Somit wird in den folgenden Versuchsreihen zweikanalig gemessen. Der erste Eingang dient hierbei für das gemessene Testsignal, als Mikrofoneingang. Dieser besitzt eine Phantomspeisung von 48V für das Messmikrofon. Ein weiterer Eingang sorgt für die Wiedereinspeisung des Testsignals. ARTA ist in der Lage, durch diese Wiedereinspeisung des Testsignals, Verzerrungen die durch das Durchschleifen des Signals durch weitere Geräte entstehen, zu korrigieren.

Um das Testsignal für das IBeam und die Wiedereinspeisung zu trennen, dient ein 16-kanaliges Mischpult, das MIDAS Venice 160. Des Weiteren lässt sich das Testsignal durch den Ausgangsfader des Mischpults für die Messung sehr exakt auf das gewünschte SPL von 70dB(A) - 80 dB(A) einpegeln. Bei dem Messmikrofon handelt es sich um das iSEMcon EMX-7150. Es besitzt eine Kugelcharakteristik und ist damit für Raumakustische Messungen geeignet. Für die Signalübertragung wird in allen Fällen ein XLR-Kabel verwendet.

5 Versuchsreihen

Die folgenden Versuchsreihen werden im Firmengebäude von Seeburg acoustic line durchgeführt. Dabei handelt es sich bei jeder Versuchsreihe um ein bestimmtes Beschallungsszenario. Für jedes dieser Szenarios werden die räumlichen Gegebenheiten sowie die Hörerfläche variiert, um das IBeam mit Beamsteeringkonfiguration und ohne Beamsteeringkonfiguration mit der L16j und der L8i auf den STIPA(IR) zu untersuchen. Die Messergebnisse werden dann miteinander verglichen.

5.1 Versuchsreihe 1, STIPA Messung im Showroom

Der Showroom ist ein ein Raum im Firmengebäude von Seeburg acoustic line, in welchem diverse Soundsysteme ausgestellt und präsentiert werden. Auch wird der hintere Teil des Raumes für akustische Messungen der PA-Anlagen genutzt. In diesem Raum befinden sich alle für eine STIPA(IR) Messung erforderlichen Apparaturen aus Kapitel 4.5. Die erste STIPA(IR) Messung findet deshalb hier statt. Der Raum besitzt gute akustische Eigenschaften für die Sprachübertragung. Auch ist die Nachhallzeit gering und es treten keine Echos auf. Außerdem befinden sich einige Regale mit Lautsprechern und ein langer Tisch an der Fensterseite des Raums. Der Boden ist komplett mit einem Filzteppich ausgelegt, was wiederum für gute Schallabsorption sorgt. Der Versuchsraum schließt halboffen an andere Räume an, wobei ein Vorhang den Raum mit dem anderen Teil des Showrooms trennt. Ein Vorhang trennt den Showroom vom Lager, wobei dieser Vorhang von beiden Seiten von Regalen umschlossen ist (Abb. 5.1.1). Diese Regale sind vollständig zugestellt, sodass die Öffnung in den Lagerraum nur etwa ein Spalt von 1m Tiefe ist. Des Weiteren befinden sich stützende Trägerbalken aus Stahl darin. Die Hörerfläche in dieser Versuchsreihe wird so gewählt, dass sich der Tisch sowie die Trägerbalken nicht in der Hörerfläche befinden. In Abbildung 5.1.1 ist der Versuchsraum in einer 3D Ansicht zu sehen.

Das IBeam (Master + 2x Slave) wird an der langen Seite des Raumes in 2,6m Abstand zu den Wänden positioniert, da sich dort ein Kettenzug an der Decke befindet, welcher für die Montage des IBeam benötigt wird (Abb. 5.1). Die Hörerfläche wurde dabei in knappen Abstand zum IBeam eingestellt. Diese soll sich von 4m bis 10m erstrecken.



Abbildung 5.1: Aufhängung des IBeam an einem Kettenzug und Messmikrofon, die beschriftete Version ist dem Anhang beigelegt

In diesem Szenario ist die Lautsprecherzeile zunächst in ihrer Länge für den Abstand zur Hörerfläche sowie zur Länge der Hörerfläche überdimensioniert. Dies soll für das erste Szenario überprüfen, ob Beamsteering im Falle einer zu lang gewählten Zeile zu Verbesserungen des STIPA(IR) im Vergleich zu einem überdimensionierten konventionellen Linienstrahler führt.

5.1.1 Versuchsaufbau

Messpunkte

Für die Messung wurden die Messpunkte auf einem Raster von 1 Quadratmeter verteilt. Das Raster soll dazu dienen den STIPA(IR) an verschiedenen Positionen auf der Hörerfläche zu messen. Das Raster ist dabei 4m breit. Dabei befinden sich alle Messpunkte im Raster in der horizontalen Abtrahlrichtung des IBeam von 50° . Die Positionen aller Messpunkte sind in Abbildung 5.1.1 angegeben. Die Messpunkte werden dabei für jede Messung um einen Meter nach hinten versetzt, um die Distanz zum IBeam für jeden Messpunkt zu erhöhen. So wird in gleichmäßigem Abstand jeweils ein Messwert aufgenommen. Die Messpunkte werden dabei zufällig auf dem horizontalen Raster verteilt. Lediglich Messpunkt 0 befindet sich absichtlich direkt auf der Hauptstrahlachse. Das Mikrofon wird für die Messungen in Höhe der Hörerfläche auf 1,2m auf einem Dreibeinstativ direkt über dem jeweiligen Messpunkt positioniert und nach jeder Aufnahme der Messwerte auf die nächste Messposition gesetzt.

Um die Positionen des Messmikrofons zu markieren wird ein Klebeband verwendet. Der Abstand der Messpunkte zum IBeam wurden mit einem 10m Maßband vermessen. Ein Holzstab dient zur genauen Ausrichtung des Mikrofons über dem Messpunkt. Dieser wird senkrecht auf den markierten Messpunkt gestellt, und die Spitze des Mikrofons daran angeschmiegt.

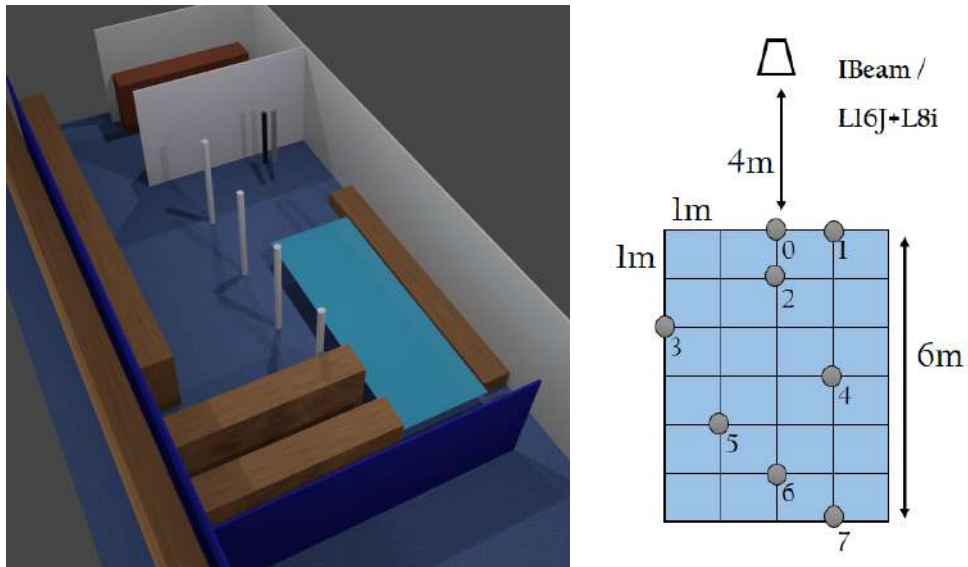


Abbildung 5.2: 3D Ansicht, Versuchsraum 1

Abbildung 5.3: Versuchsreihe 1, Messpunkte auf der Hörerfläche (Grau)

Aufbau und Anschluss der Messapparaturen

In Abbildung 5.4 ist der Aufbau aller für die Messung erforderlichen Apparaturen aus Kapitel 4.5 sowie Kabel dargestellt.

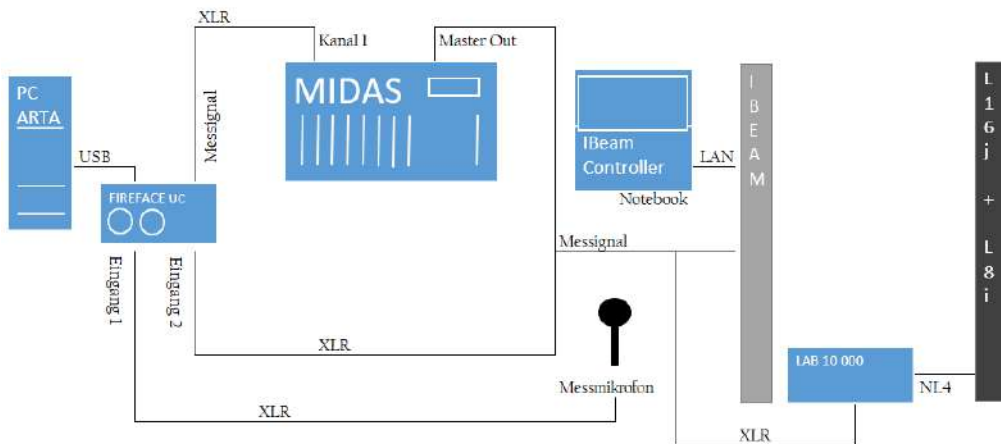


Abbildung 5.4: Blockschemadarstellung des Aufbaus der verwendeten Messgeräte und Lautsprecher

- Das Fireface UC ist via USB Schnittstelle mit dem PC verbunden. Auf diesem PC befindet sich die Software ARTA.
- Das Mikrofon wird mit einem 10m XLR-Kabel an Eingang 1 mit dem Fireface UC verbunden. Der Ausgang des Fireface UC, also das Messsignal wird auf Kanal 1 des Mischpults geführt. Nun wird mit einem weiteren 10m XLR-Kabel das Testsignal vom Masterausgang des Mischpults in das IBeam weitergeführt.
- Ein weiterer Masterausgang des Mischpults geht zurück in den Eingang 2 des Fireface UC. Dies dient zur Entzerrung des Mischpults mit ARTA.
- Das IBeam ist mit einem LAN-Kabel mit einem Laptop verbunden. Auf diesem ist die Software Advanced IBeam Controller sowie Easy Beam installiert.
- Wird die L16j mit der L8i gemessen, so wird das Messsignal vom Master-Ausgang des Mischpults in die LAB Endstufe geführt. Mit dem Masterfader des Mischpults kann der Ausgangssignalpegel des Messsignals angepasst werden.

IBeam Konfiguration

Das IBeam hängt auf einer Höhe von 1,4m an dem Kettenzug. In dieser Versuchsreihe wird die Hörerfläche des IBeam mit Easy Beam wie in Tabelle 5.1 konfiguriert. Weiter Einstellungen wurden im Advanced IBeam Controller vorgenommen.

Tabelle 5.1: Versuchsreihe 1, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam

Höhe IBeam	Anfang Hörerfläche	Ende Hörerfläche	Höhe Hörerfläche
1,4m	4,0m	10,0m	1,2m

Die Optimierungsoption zur Pegelminderung bei Abstandsverdopplung (SPL Distribution) wurde auf 0dB eingestellt. Dies soll das IBeam für einen annähernd gleichmäßig verteiltes SPL auf der Hörerfläche optimieren. Zusätzlich sind die Optimierungsoptionen Mute Ceiling, Mute Wall und Mute Floor aktiviert. Dabei werden Silent-Areas auf dem Boden vor dem IBeam bis zur Hörerfläche, die Decke und die Rückwand definiert. Bei Betrachtung der Abstrahlcharakteristik im Advanced IBeam Controller werden Nebennasen dabei unterdrückt.

Die Einstellungen des Auto EQ in Tabelle 5.2 dienen für einen linearen Frequenzverlauf auf der Hörerfläche. Dabei sind die Grenzen der automatischen Pegelanpassung Des Auto EQ von +/- 6dB gesetzt.

Tabelle 5.2: Versuchsreihe 1, Einstellung des AutoEQ

HP Freq	HP Character	HP Order	LP Freq	LP Character	LP Order	Slope
150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct

Hoch und Tiefpassfilter mit einer Flankensteilheit von 24dB pro Oktav dienen einem abrupteren Abfall des Pegels in dem Frequenzbereich, in dem das IBeam aufgrund des Lautsprecherdurchmessers nicht geeignet ist. Der Durchlassbereich der Filter ist hierbei von 150Hz bis 18kHz eingestellt. Zusätzlich wird der Abfall des Pegel pro Oktav mit der Einstellung *Slope* auf +0.6dB/Oct optimiert.

ARTA Konfiguration

Das IBeam wurde nun an Messpunkt 0 auf 70dB (A) mit dem ARTA-Tool SPL-Meter unter der Verwendung von Pink-Noise eingestellt. In der DIN EN IEC 60268-16:2019 wird für die Messung an elektroakustischen Anlagen kein expliziter Pegel vorgegeben, jedoch soll dieser sich an der vorgesehenen Betriebslautstärke orientieren. Auch sind die Auswirkungen von Hörverdeckungseffekten und der Hörschwelle auf den STI in diesem Pegelbereich am geringsten. Dies wurde in Kapitel 3.6 erörtert. Das Mikrofon wird nun kalibriert. Wie im Handbuch von ARTA empfohlen wurde für das Testsignal *Male Speech* eine Sequenzlänge von 128k Samples sowie eine Sample-Rate von 48kHz gewählt.

5.1.2 Messdurchführung

STIPA(IR)-Messung des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration

Die erste Messung erfolgt an Messpunkt 0 (Abb. 5.1.1). Das Ergebnis der ersten Messung werden nun auf den STIPA(IR) untersucht. Dabei wird eine Messung des Testsignals, sowie eine Messung des Störpegel für die Korrektur vorgenommen. In Abbildung 5.5 ist die Erfassung des Signalpegels und des Störpegels für die Korrektur zu sehen. Hierbei werden in ARTA die Oktavpegel des gemessenen Signals in schwarz dargestellt. Der gemessene Störpegel ohne Testsignal wird hier gelb angezeigt. Der Störpegel wird in jeder Messung 10 Sekunden lang aufgezeichnet. Außerdem wird der A-bewertete Gesamtsignalpegel, sowie der A-bewertete Gesamtstörpegel angegeben.

Die Korrektur wird auf die Ergebnisse der Messung angewandt und dabei ergibt sich ein STIPA(IR) am Messpunkt 0 von 0,82 (Abb. 5.6). Hierbei werden die Ergebnisse der MTI-Berechnung für die Oktavbänder, sowie die zwei Modulationsfrequenzen des STIPA(IR) zusätzlich tabellarisch ausgegeben. Der daraus errechnete MTI_k der Oktavbänder ist darunter ausgegeben.

Weitere Messungen werden für die weiteren Messpunkte nach dem selben Schema und den gleichen Bedingungen durchgeführt. Der Pegel des Testsignals wird dabei nicht verändert.

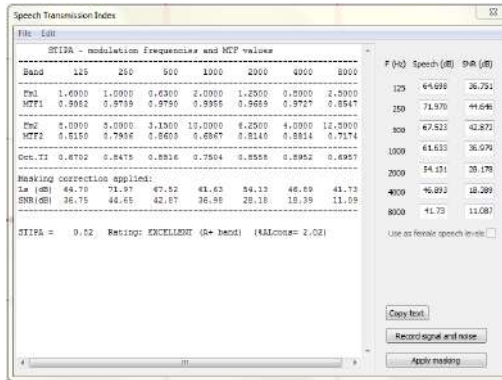
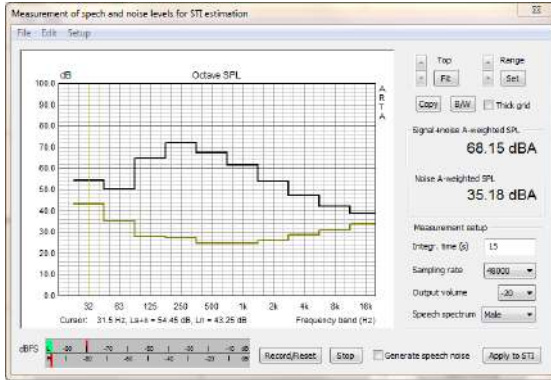


Abbildung 5.5: ARTA, Ausgabe des A- bewerteten Signal- und Rauschpegels an Messpunkt 0

Abbildung 5.6: STIPA(IR) Ergebnis, tabellarische Auswertung an Messpunkt 0

Die Ergebnisse des ersten Messdurchgangs sind in Tabelle 5.3 aufgeführt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse gibt es keine Anomalien. Damit wird der Versuch fortgeführt.

Tabelle 5.3: Versuchsreihe 1, STIPA(IR) Messergebnisse des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration

Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3
0,82	0.82	0,83	0,83
Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7
0,84	0.87	0.86	0.81

STIPA(IR)-Messung des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration

Für den Vergleich der Ergebnisse der ersten Messung mit denen des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration werden zunächst alle Einstellungen des IBeam bis auf den Auto EQ zurückgesetzt. Damit verhält sich das IBeam wie ein konventioneller Linienstrahler. Nun wird die Messung mit den selben Messpunkten erneut durchgeführt. Dabei ergeben sich die Ergebnisse in Tabelle 5.4.

Die Ergebnisse fallen schlechter aus als bei der Messung des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration. Zu erkennen ist, dass die Tendenz des STIPA(IR) auf größere Entfernung hin fallend ist.

Tabelle 5.4: Versuchsreihe 1, STIPA Messung des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration

Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3
0,70	0.69	0,69	0,68
Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7
0,67	0.69	0.67	0.64

Messung der L16j und L8i

Da das IBeam nicht dafür ausgelegt ist, ohne Beamsteeringkonfiguration betrieben zu werden, wird eine weitere Messung mit einem passiven Linienstrahler, der L16j mit einer Erweiterung, mit einer L8i, als Referenzlage durchgeführt. Diese ist auf einem Stativ auf 1,6m Höhe in 22cm Entfernung neben dem IBeam angebracht. Zusätzlich besitzt sie eine Neigung von 5°. Durch die Montagehöhe von 1,6m schneidet die Hauptstrahlachse, senkrecht zur Mitte der Zeile die Hörerfläche bei 15m Abstand.

Die Konfiguration am Mischpult bleibt wie in Abschnitt 5.1.1, Aufbau und Anschluss der Messapparaturen, bestehen. jedoch wird das Signal am Ausgang des Mischpults zuvor in eine LAB 10000 Endstufe für die Verstärkung geleitet, bevor es mit einem 15m SPEAKON NL4 Kabel in die L16j weitergeleitet wird. Die L16j ist mit einem 2m SPEAKON NL4-Patchkabel mit dem darüber befindlichen L8i verbunden. Für diese Messung werden alle Messpunkte um den Abstand der L16j mit L8i zum IBeam von 22cm nach links versetzt. Die Ergebnisse der Messung sind in Tabelle 5.5 aufgeführt. Die Ergebnisse fallen nur mit einem minimalem Unterschied zu denen der Messung mit der des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration aus.

Tabelle 5.5: Versuchsreihe 1, STIPA Messergebnisse der L16j + L8i

Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3
0.73	0.72	0,72	0,71
Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7
0,70	0.70	0.68	0.72

Erneuter Messdurchlauf

Für die Signifikanz der Ergebnisse wird der Messvorgang zu Versuchsreihe 1 unter den selben Bedingungen erneut durchgeführt. Die Ergebnisse des zweiten Durchlaufs sind in Tabelle 5.6 aufgeführt.

Tabelle 5.6: Versuchsreihe 1, Ergebnisse der zweiten Messung

	Mess- punkt 0	Mess- punkt 1	Mess- punkt 2	Mess- punkt 3	Mess- punkt 4	Mess- punkt 5	Mess- punkt 6	Mess- punkt 7
Beamsteering	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.82	0.78
IBeam, Reset	0.68	0.68	0.66	0.68	0.68	0.68	0.67	0.65
L16j + L8i	0.73	0.74	0.72	0.73	0.70	0.74	0.71	0.72

Wiederholungsmessungen

Alle Messergebnisse der Versuchsreihe 1 sind in Tabelle 5.7 aufgeführt. Hierbei fällt auf, dass der STIPA(IR) an Messpunkt 6 des IBeam mit Beamsteering um mehr als 0.03 Punkte voneinander abweicht. Ebenso bei Messpunkt 5 bei der L16j + L8i. Es wird eine dritte Messung an diesen Punkten vorgenommen, da dies nach DIN EN IEC 60268-16:2019 vorgeschrieben ist, wenn das STIPA-Ergebnis um mehr als 0.03 Punkte an einem Messpunkt abweicht. In Zeile 8 und 9 von Tabelle 5.7 sind die Ergebnisse der wiederholten Messungen mit aufgeführt.

Tabelle 5.7: Versuchsreihe 1, Messung 1, 2 und Wiederholte Messung

	Mess- punkt 0	Mess- punkt 1	Mess- punkt 2	Mess- punkt 3	Mess- punkt 4	Mess- punkt 5	Mess- punkt 6	Mess- punkt 7
Beamsteering 1	0.82	0.82	0.83	0.83	0.84	0.87	0.86	0.81
Beamsteering 2	0.83	0.84	0.85	0.86	0.86	0.86	0.82	0.78
IBeam, Reset 1	0.70	0.69	0.69	0.68	0.67	0.69	0.67	0.64
IBeam, Reset 2	0.68	0.68	0.66	0.68	0.68	0.68	0.67	0.65
L16j + L8i, 1	0.73	0.72	0,72	0,71	0,70	0.70	0.68	0.72
L16j + L8i, 2	0.73	0.74	0.72	0.73	0.70	0.74	0.71	0.72
Weitere Messung Beamsteering							0.82	
Weitere Messung L16j + L8i						0.72		

5.1.3 Ergebnisse zur Versuchsreihe 1

Tabelle 5.8 zeigt die Auswertung der Messergebnisse. Zunächst werden die Ergebnisse zu jedem Messpunkt gemittelt. Diese Mittelwerte sind in Zeile 2 bis 4 in der Tabelle zu finden. In der letzten Spalte findet man die dazugehörigen Mittlungen über alle Messpunkte der Hörerfläche. In Zeile 6 bis 8 wurden die Differenzen der Ergebnisse zu jedem Messpunkt berechnet und wiederum in der letzten Spalte gemittelt. In den letzten drei Zeilen ist die Standardabweichung der Messergebnisse aufgeführt. In der letzten Spalte in den untersten drei Zeilen wird die Abweichung aller gemittelten STIPA(IR)-Ergebnisse der Messpunkte angezeigt.

Tabelle 5.8: Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 1, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung

Mittelung der Messergebnisse (STIPA(IR)):	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7	Mittelwert über alle Messpunkte
Beamsteering	0,825	0,830	0,840	0,845	0,850	0,865	0,833	0,795	0,84
IBeam, Reset	0,690	0,685	0,675	0,680	0,675	0,685	0,670	0,645	0,68
L16j+L8i	0,730	0,730	0,720	0,720	0,700	0,720	0,695	0,720	0,72
Differenz (STIPA(IR)):									Mittelwert der Differenzen
Beamsteering (-) IBeam Reset	0,135	0,145	0,165	0,165	0,175	0,180	0,163	0,150	0,16
Beamsteering (-) L16j + L8i	0,095	0,100	0,120	0,125	0,150	0,145	0,138	0,075	0,12
L16, + L8i (-) IBeam Reset	0,040	0,045	0,045	0,040	0,025	0,035	0,025	0,075	0,04
Standardabweichung (%)									Standardabweichung, Hörerfläche
Beamsteering	0,86	1,70	1,60	2,50	1,66	0,80	2,77	2,67	2,47
IBeam, Reset	2,05	1,00	3,10	0,00	1,00	1,00	0,00	1,10	2,07
L16j+L8i	0,00	1,90	0,00	1,96	0,00	2,78	3,05	0,00	1,79

Aus den gemittelten Ergebnissen geht hervor, dass der durchschnittliche STIPA(IR) von Beamsteering um 0,16 Punkte höher ist als das Ergebnis des IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration (IBeam, Reset). Auch schneidet das IBeam mit Beamsteering um durchschnittlich 0,12 Punkte besser ab, als der konventionelle Linienstrahler, die L16j mit L8i. Das IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration unterscheidet sich von der L16j mit L8i um 0,4 Punkte.

Abbildung 5.7 zeigt die gemittelten STIPA(IR)-Ergebnisse für jeden Messpunkt in einem Diagramm. Aus dem geht hervor, dass die STIPA(IR)-Differenz bis auf die halbe Strecke der Hörerfläche zunimmt. Hingegen bleiben die Ergebnisse des IBeam, Reset und der L16j mit L8i auf der Hörerfläche bei zunehmender Distanz relativ konstant.

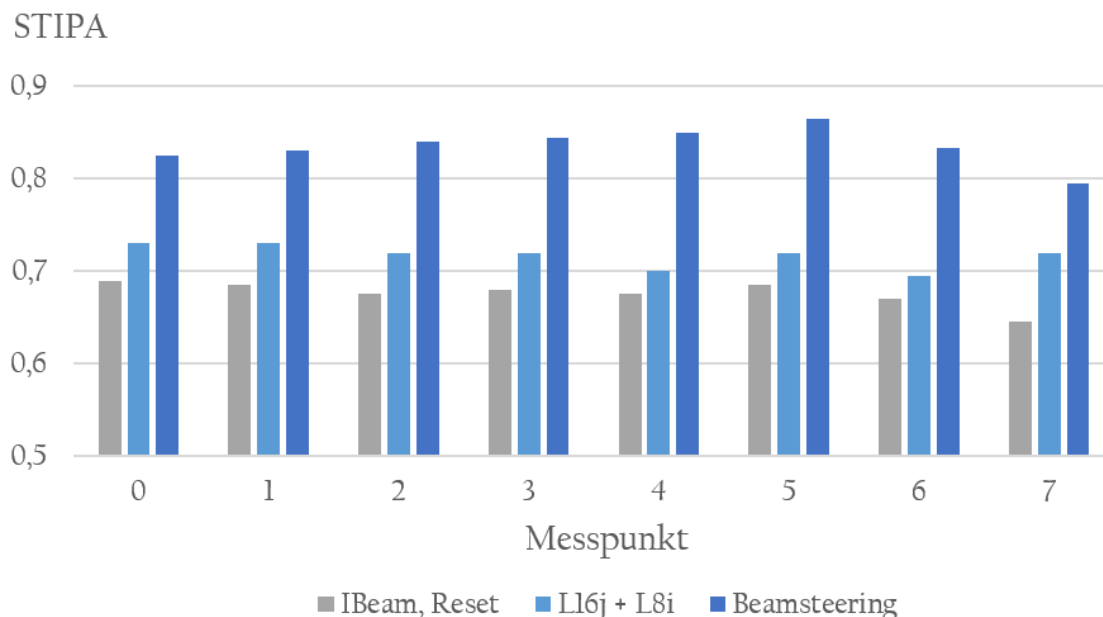


Abbildung 5.7: Versuchsreihe 1, STIPA(IR) Mittelungen je Messpunkt

Tabelle 5.9 zeigt die Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche sowie den gemittelten Signal- Rauschabstand (SNR) aller in Versuchsreihe 1 unternommenen Messungen. Es gab kaum Abweichungen beim Störgeräuschpegel bei den unterschiedlichen Messungen der PA-Anlagen. Jedoch ist der SNR bei den Messungen zum IBeam, Reset am geringsten. Der SNR ist noch hoch genug um starke Einflüsse von Hintergrundgeräuschen auf die Ergebnisse zu vermuten.

Tabelle 5.9: Versuchsreihe 1, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR

Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR
Beamsteering	Beamsteering	IBeam, Reset	IBeam, Reset	L16 j mit L8i	L16 j mit L8i
36,06 dB(A)	30,79 dB(A)	37,59 dB(A)	25,17 dB(A)	38,33 dB(A)	29,91 dB(A)

5.1.4 Fazit zur Versuchsreihe 1

Die Ergebnisse der Messungen zu Versuchsreihe 1 deuten darauf hin, dass Beamsteering die Sprachverständlichkeit bezogen auf eine nahe Hörerfläche verbessern kann. Dabei ist die Zeilenlänge des IBeam und der L16j und L8i für diese nahe Hörerfläche überdimensioniert. Diese Versuchsreihe zeigt, dass Beamsteeringssysteme für kleine Räume geeigneter sind, als der passive Linienstrahler. Es könnte ferner untersucht werden, wie ein 2-Wege Lautsprecher im Vergleich zum IBeam in einer STIPA(IR)-Messung abschneidet. Aus den bisherigen Ergebnissen ist hervorgegangen, dass die L16j mit L8i etwas bessere STIPA(IR) Werte aufweist, als das IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration.

Für weitere Messungen sollte die Hörerfläche vergrößert werden, um die Linienstrahler in ihren Einsatzszenario, nämlich dem beschallen von weiten Strecken, zu untersuchen.

5.2 Versuchsreihe 2, STIPA Messung im Showroom auf lange Distanz

Der Showroom ist mit einem Vorhang in der Mitte des Raumes getrennt. Schiebt man diesen zur Seite, kann ein Raum mit bis zu 30m Länge zu Messzwecken genutzt werden. Dabei befindet sich jedoch eine Verjüngung der Raumbreite auf halber Strecke. Nach dieser ist der Eingangsbereich wieder offen und beide Räume weisen die selbe Breite auf. Es befindet sich der selbe Filzteppich in beiden Räumen. Der Eingangsbereich ist wiederum an der Seite mit einem weiteren Vorhang vom Lager getrennt. Im Eingangsbereich befinden sich diverse Lautsprechertypen zu Ausstellungszwecken.

Die Hörerfläche beginnt in dieser Versuchsreihe bei 5m im Showroom und endet bei 25m zum IBeam entfernt. Die Hörerfläche endet vor der Rückwand im Eingangsbereich. In der Abbildung 5.8 ist der Raum und das Beschallungsszenario in einer 3D-Ansicht zu sehen. Das IBeam (Master + 2 x Slave) und die L16j mit L8i befinden sich immer noch an der selben Position und in der selben Höhe wie in Versuchsreihe 1. Es wird lediglich der Vorhang zur Seite geschoben, welcher beide Räume voneinander trennt. Diese Versuchsreihe soll Rückschlüsse auf die Sprachübertragungsqualität des IBeam in einem langen Raum geben. Für dieses Szenario ist sowohl das IBeam als auch die L16j mit L8i geeignet.

5.2.1 Versuchsaufbau

Messpunkte und Messapparaturen

Für die Messung wird ein neues Raster von 1 Quadratmeter erstellt. Die Hörerfläche ist bei diesem Versuch 4m breit und 20m lang und befindet sich wiederum auf 1,2 m Höhe. Die Messpunkte werden diesmal für jede Messung um 2m nach hinten versetzt. Es handelt sich um 6 Messpunkte auf der Hörerfläche wie in Abbildung 5.9. Die horizontale Ausrichtung der Messpunkte wird wiederum zufällig gewählt. Alle Messpunkte befinden nach der horizontalen Abstrahlrichtung des IBeam von 50° darin. Es ist zu vermerken, dass sich Messpunkt 2 und 3 in der Verjüngung des Messraumes befinden und Messpunkt 4 bis 6 nach der Verjüngung.

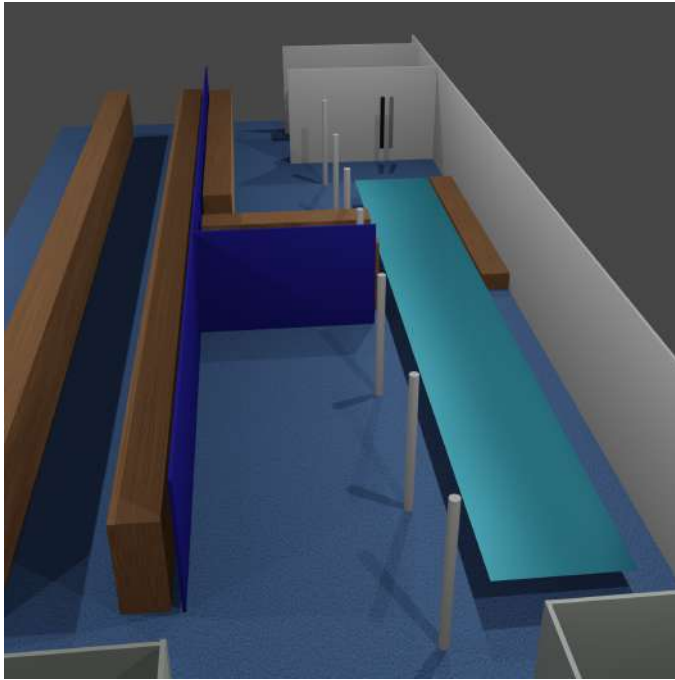


Abbildung 5.8: 3D Ansicht des Raumes der Versuchsreihe 2

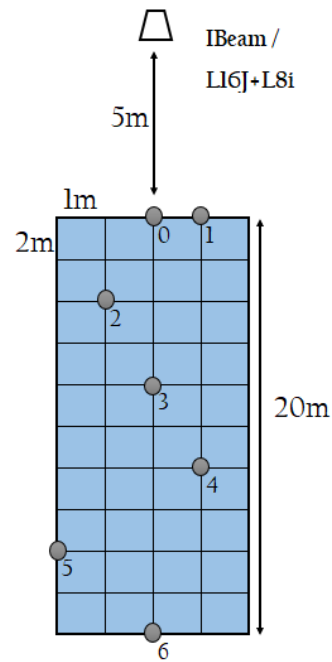


Abbildung 5.9: Messpunkte der Hörerfläche (Grau)

Der Aufbau und Anschluss der Messapparaturen entspricht dem aus Versuchsreihe 1 in Kapitel 5.1.1. Es wird lediglich das XLR-Kabel des Mikrofons durch ein weiteres 10m XLR-Kabel erweitert. Damit ist dieses insgesamt 20m lang. Da der Laptop nach der ersten Versuchsreihe einen defekt aufwies, wird die Software IBeam Controller zuvor auf dem PC installiert, auf dem auch die ARTA-Messungen durchgeführt werden. Somit wird das IBeam mit einem LAN-Kabel mit diesem PC verbunden.

IBeam- und ARTA Konfiguration

Mit Easybeam wird die Hörerfläche nach den Parametern in Tabelle 5.10 konfiguriert.

Tabelle 5.10: Versuchsreihe 2, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam

Höhe IBeam	Anfang Hörerfläche	Ende Hörerfläche	Höhe Hörerfläche
1,4m	5,0m	25,0m	1,2m

Die Einstellungen im Advanced IBeam Controller werden aus Versuchsreihe 1 übernommen. Ebenso die Einstellungen der Filter (Tabelle 5.2). Diesmal wird der Pegel mit dem SPL-Tool von ARTA unter der Verwendung von Pink-Noise auf 70dB(A) nun in 5m Entfernung an Messpunkt 0 eingestellt.

5.2.2 Messdurchführung

Die Messung beginnt an Messpunkt 0. Das Mikrofon wird nach jeder Messung auf den nächsten Messpunkt versetzt. Es wird mit der Messung des IBeam mit Beamsteering-Konfiguration begonnen. Darauf folgt die Messung des IBeam ohne Beamsteering und die der L16j und L8i. Der Vorgang wird danach erneut für einen zweiten Durchgang durchgeführt. Tabelle 5.11 zeigt die Messergebnisse aus Versuchsreihe 2.

Tabelle 5.11: Versuchsreihe 2, Messung 1, 2 und wiederholte Messung

	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6
Beamsteering 1	0.73	0.74	0.77	0.50	0.76	0.73	0.70
Beamsteering 2	0.74	0.76	0.79	0.82	0.79	0.73	0.70
IBeam, Reset 1	0.67	0.68	0.67	0.63	0.63	0.60	0.60
IBeam, Reset 2	0.67	0.68	0.67	0.65	0.64	0.61	0.65
L16j + L8i, 1	0.72	0.75	0.73	0.71	0.69	0.65	0.68
L16j + L8i, 2	0.73	0.76	0.73	0.73	0.69	0.64	0.68
Weitere Messung Beamsteering				0.82			
Weitere Messung IBeam, Reset							0.63

Bei der ersten Messung an Messpunkt 3 mit Beamsteering ist der gemessene STIPA(IR) gering mit 0,50 Punkten ausgefallen. Bei einer erneuten Messung fällt der STIPA(IR) an diesem Messpunkt mit 0,82 Punkten aus. Bei einer dritten Messung bestätigt sich das Ergebnis von 0,82 STIPA(IR). Es wird entschieden, den Messwert von 0,50 nicht zu übernehmen. Dieses Ergebnis von 0,50 STIPA(IR) an Messpunkt 3 wird nun nicht in die Mittelung im nächsten Abschnitt übernommen.

Die Ergebnisse des letzten Messpunktes der Messreihe des IBeam ohne Beamsteering liegen um mehr als 0.03 Punkte auseinander und werden erneut gemessen. In den nächsten Versuchsreihen werden mehrere Messungen pro Messpunkt in einem einzigen Durchlauf durchgeführt.

5.2.3 Ergebnisse

In Tabelle 5.12 sind ausgewerteten Ergebnisse aus Versuchsreihe 2 zu sehen. Der STIPA(IR) Mittelwert über alle Messpunkte des IBeam fällt um 0,6 Punkte höher aus als bei der L16j mit L8i. Im Gegensatz zum IBeam, Reset um sogar 0,11 Punkte.

Tabelle 5.12: Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 2, STIPA(IR) und Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung

Mittelung der Messergebnisse (STIPA):	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Mittelwert über alle Messpunkte
Beamsteering	0,735	0,750	0,780	0,820	0,775	0,730	0,700	0,76
IBeam, Reset	0,670	0,680	0,670	0,640	0,635	0,605	0,627	0,65
L16j + L8i	0,725	0,755	0,730	0,720	0,690	0,645	0,680	0,71
Differenz (STIPA):								Mittelwert der Differenzen
Beamsteering (-) IBeam, Reset	0,065	0,070	0,110	0,180	0,140	0,125	0,073	0,11
Beamsteering (-) L16j + L8i	0,010	-0,005	0,050	0,100	0,085	0,085	0,020	0,05
L16j + L8i (-) IBeam, Reset	0,055	0,075	0,060	0,080	0,055	0,040	0,053	0,06
Standardabweichung (%)								Standardabweichung, Hörerfläche
Beamsteering	0,90	1,80	1,80	0,00	2,74	0,00	0,00	5,22
IBeam, Reset	0,00	0,0	0,00	2,20	1,10	1,17	4,02	4,24
L16j + L8i	0,98	0,94	0,00	1,96	0,00	1,10	0,00	5,23

Auch lässt sich erkennen, dass durch Beamsteering der Sprachverständlichkeitswert STIPA(IR) auf weite Distanz verbessert. Dies ist auch im STIPA(IR) Verlauf in Diagramm 5.10 zu sehen. Der STIPA(IR) der L16j mit L8i nimmt ab Messpunkt 1 konstant ab. Die Beamsteering Ergebnisse erfahren darüber hinaus zunächst eine Zunahme der Sprachverständlichkeit bis auf mittlere Distanz der Hörerfläche bei Messpunkt 3 in 10m Entfernung. Zu vermerken ist, dass der STIPA(IR) mit Beamsteering an den Messpunkten 2 und Messpunkt 3 deutlich besser ausfällt. Diese befinden sich in der Verjüngung des Messraumes. Die allgemeine Differenz der Sprachverständlichkeit nimmt zum Ende der Hörerfläche ab.

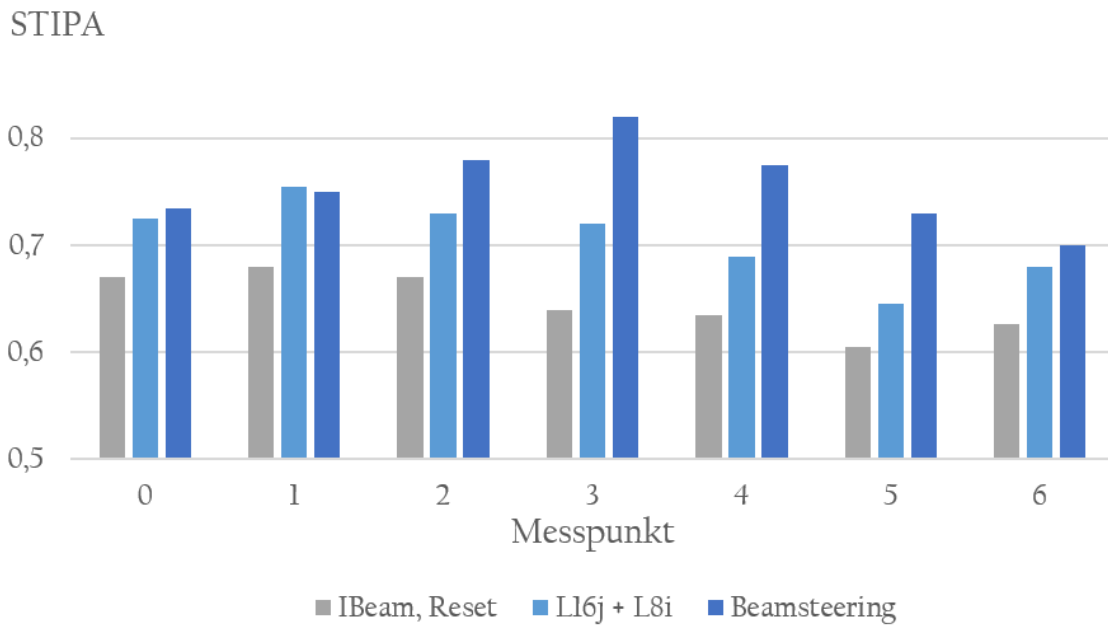


Abbildung 5.10: Versuchsreihe 2, STIPA Mittelungen am jeweiligen Messpunkt

Tabelle 5.13 zeigt die Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche sowie den gemittelten Signal-Rauschabstand aller in Versuchsreihe 2 unternommenen Messungen. Wiederum handelt es sich um einen ausreichenden Signal- Rauschabstand. Dennoch ist der durchschnittliche Signalpegel des IBeam im Reset-Zustand an allen Messpunkten etwas geringer, obwohl die eingestellten Pegel an Messpunkt 0 genau 70dB (A) betragen. Es kann davon ausgegangen werden, dass die fehlende Neigung der Hauptstrahlachse des IBeam zur Hörerfläche hin mitunter dafür verantwortlich ist. Das IBeam zielt somit genau auf die Rückwand.

Tabelle 5.13: Versuchsreihe 2, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR

Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR
Beamsteering	Beamsteering	IBeam, Reset	IBeam, Reset	L16 j mit L8i	L16j mit L8i
36,09 dB(A)	29,93 dB(A)	35,34 dB(A)	27,84 dB(A)	35,76 dB(A)	29,73 dB(A)

5.2.4 Fazit zur Versuchsreihe 2

In dieser Versuchsreihe ist die Hörerfläche mit allen Messpunkten für die Länge der Lautsprecherzeilen angemessen. Auch hier schneidet das Beamsteeringssystem an allen Messpunkten in den Ergebnissen der STIPA(IR) Messungen am besten ab. Auch wenn sich die Verjüngung des Raumes nicht optimal ist und alle Ergebnisse verschlechtern haben könnte. Auffallend ist, dass sich der STIPA(IR) des IBeam mit Beamsteering im Vergleich zu den Ergebnissen in Versuchsreihe 1 mit einer nahegelegenen Hörerfläche insgesamt verschlechtert hat.

Es wäre denkbar eine weitere Messung mit ähnlichen Bedingungen in einem großen Raum ohne Verjüngung durchzuführen. Auch eine Messung auf noch längere Distanz im Freifeld mit wenig Begrenzungsflächen wäre von Interesse.

5.3 Versuchsreihe 3, STIPA Messung im Lager mit hoher Nachhallzeit

Für die folgende Messung wird ein Raum mit höherer Nachhallzeit gewählt. Am Rand des Firmengebäudes von Seeburg acoustic line befindet sich ein Lagerraum, bei welchem alle Wände, die Decke und der Boden aus Beton bestehen. Es befinden sich lediglich gelagerte Lautsprecher am Boden des Raumes sowie Regale, welche sich direkt an den Wänden befinden. Es befindet sich eine große Betonsäule in der Mitte des Messraumes. Es befindet sich ein weiterer Raum daneben, welcher ähnliche Bedingungen besitzt und ist von dem ersten Raum mit einer großen Doppeltür aus Metall getrennt (Abb. 5.13). Der zweite Raum ist etwas kleiner. In diesem Nebenraum werden die Versuchslautsprecher aufgebaut, während sich die Hörerfläche in dem großen Raum befindet.

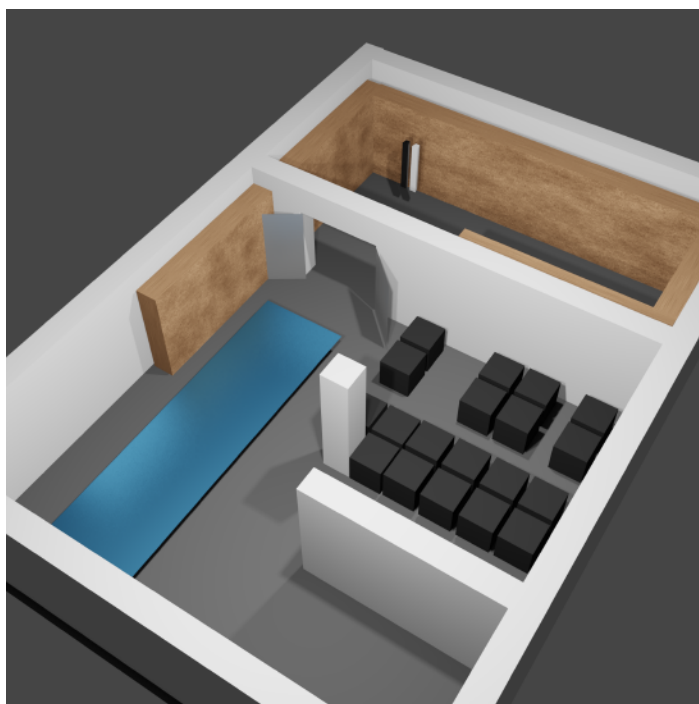


Abbildung 5.11: 3D Ansicht, Versuchsraum 3

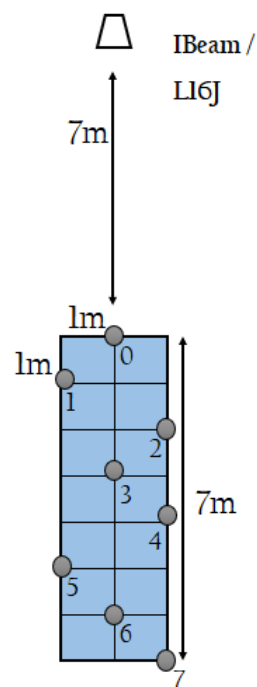


Abbildung 5.12: Messpunkte der Versuchsreihe 3 (Grau)

Die Positionierung der Lautsprecher im Nebenraum soll eine möglichst lange Hörerfläche ermöglichen. In Abbildung 5.11 sind die Räume in einer 3D Skizze und der Versuchsaufbau zur Versuchsreihe 3 zu sehen. Für diese Versuchsreihe wird das IBeam nur mit einem Slave-Modul ausgestattet, um einer Überdimensionierung der Zeile in ihrer Länge für eine Hörerfläche bis zu 14m vorzubeugen. Zur Referenz dient hier die L16j ohne die L8i. Deren Hauptstrahlachse kreuzt die Hörerfläche bei 10m Abstand zum Lautsprecher.



Abbildung 5.13: Metalltüre, Lautsprecher und Mikrofon an Messposition 0

Abbildung 5.14: Aufhängung des IBeam an einer Lagerameise und die L16j auf einem Stativ

5.3.1 Versuchsaufbau

Messpunkte und Messapparaturen

Es wurde wiederum ein Raster von 1 Quadratmeter gewählt. Dabei ist die Hörerfläche nur 3m breit, da die Metalltür die Hörerfläche in ihrer Breite Beschränkt. So befindet sich kein Hindernis zwischen den Versuchslautsprechern und den Messpunkten. Die Hörerfläche beginnt bei 7m und endet bei 14m und ist dadurch 7m lang. Sie befindet sich wiederum auf 1,2m Höhe. Wie bei der Vorbereitung in Kapitel 3.6 angeführt, wird die Hörerfläche weit genug von der Signalquelle entfernt, um der Verbesserungen des STI durch hohen Direktschallanteil zu minimieren. Es werden insgesamt 7 Messpunkte auf dem Raster wie in Abbildung 5.12 verteilt.

Das IBeam wird wie in Abbildung 5.14 an der Gabel einer Lagerameise auf 1m Höhe zur Unterkante des IBeam über dem Boden aufgehängt. Die L16j wird daneben auf der Höhe von 1,43 m auf einem Stativ montiert. Damit befinden sich die untersten Lautsprecher der jeweiligen Zeilen auf der selben Höhe, da die Lautsprecherzeile des IBeam ab 0,4m Abstand zur Unterkante beginnt. Der Abstand zwischen dem IBeam und der L16 wird auf 15cm gemessen.

Alle Messapparaturen aus Versuchsreihe 1 werden auf einem Rack-Rollwagen in das Lager transportiert. Auf einem Roll-Tisch befindet sich der PC mit der für die Messung erforderlichen Software IBeam Controller und ARTA. Das Mikrofon wird auf dem Stativ auf 1,2m Höhe der Hörerfläche angebracht.

IBeam und ARTA Konfiguration

In Easy Beam wird die Hörerfläche wie in Tabelle 5.14 eingestellt. Die Filtereinstellungen sowie der Auto EQ im Advanced IBeam Controller werden aus den vorherigen Versuchsreihen 1 und 2 übernommen (Tabelle 5.2). Auch hier sorgt eine Pegelzunahme von 0,6dB pro Oktav für den linearsten Frequenzgang des IBeam. Es wird wiederum mit Pink-Noise und dem Mischpult einen Pegel von 70dB (A) am Messpunkt 0 eingestellt.

Tabelle 5.14: Versuchsreihe 3, Einstellung der Hörerfläche in Easybeam

Höhe IBeam	Anfang Hörerfläche	Ende Hörerfläche	Höhe Hörerfläche
1,0m	7,0m	14,0m	1,2m

5.3.2 Messvorgang

Bei der Messdurchführung wird das Mikrofon wiederum nach jeder Messung auf den nächsten Messpunkt nach hinten versetzt. Diesmal wird für jede Konfiguration die Messung 2 mal hintereinander durchgeführt. Für die Messungen der L16j wird der Messpunkt um den Abstand der zwei Lautsprecher 15cm nach links versetzt. In dieser Versuchsreihe muss keine Messung wiederholt werden, da kein Ergebnis eine größere Differenz als 0,03 STIPA(IR) ergibt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.15 zu sehen. Die STIPA(IR)-Ergebnisse fallen aufgrund der höheren Nachhallzeit des Raumes wie zu erwarten ist allgemein schlechter aus als in den vorangegangenen Versuchsreihen.

Tabelle 5.15: Versuchsreihe 3, Messergebnisse

	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7
Beamsteering 1	0,72	0,69	0,65	0,67	0,64	0,64	0,62	0,60
Beamsteering 2	0,71	0,70	0,65	0,67	0,64	0,65	0,63	0,60
IBeam, Reset 1	0,61	0,59	0,55	0,59	0,57	0,60	0,61	0,62
IBeam, Reset 2	0,61	0,57	0,56	0,60	0,56	0,60	0,60	0,62
L16j 1	0,64	0,62	0,61	0,62	0,60	0,61	0,62	0,62
L16j 2	0,63	0,61	0,61	0,62	0,60	0,61	0,62	0,62

5.3.3 Ergebnisse

In ausgewerteten Ergebnisse aus Versuchsreihe 3 sind in Tabelle 5.16 zu sehen.

Tabelle 5.16: Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 3, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung

Mittelung der Messergebnisse (STIPA(IR)):	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Messpunkt 5	Messpunkt 6	Messpunkt 7	Mittelwert über alle Messpunkte
Beamsteering	0,715	0,695	0,650	0,670	0,640	0,645	0,625	0,600	0,66
IBeam, Reset	0,610	0,580	0,555	0,595	0,565	0,600	0,605	0,620	0,59
L16j	0,635	0,615	0,610	0,620	0,600	0,610	0,620	0,620	0,62
Differenz (STIPA(IR)):									Mittelwert der Differenzen
Beamsteering (-) IBeam, Reset	0,105	0,115	0,095	0,075	0,075	0,045	0,020	-0,020	0,06
Beamsteering (-) L16j	0,080	0,080	0,040	0,050	0,040	0,035	0,005	-0,020	0,04
L16j (-) IBeam, Reset	0,025	0,035	0,055	0,025	0,035	0,010	0,015	0,000	0,03
Standardabweichung (%)									Standardabweichung, Hörerfläche
Beamsteering	0,99	1,00	0,00	0,00	0,00	1,10	1,13	0,00	5,68
IBeam, Reset	0,00	2,44	1,20	1,19	1,25	0,00	1,17	0,00	3,83
L16j	1,11	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,67

Bei der Mittelung über alle Messpunkte in Tabelle 5.15 ist Beamsteering um durchschnittlich 0,06 Punkte STIPA(IR) höher als das IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration und um 0,04 Punkte höher als das die L16j. An Messpunkt 7 am Ende der zu beschallenden Fläche liegt Beamsteering etwas unter den Ergebnissen der Referenzanlagen.

Anhand des Diagramms 5.15 ist zu erkennen, dass Beamsteering besonders an den nahen Messpunkten 0 bis 4 für einen besseren STIPA(IR) sorgt. Bei weiter entfernten Messpunkten ab Messpunkt 5 nimmt die Differenz der Sprachverständlichkeit von Beamsteering zu den Referenzanlagen ab.

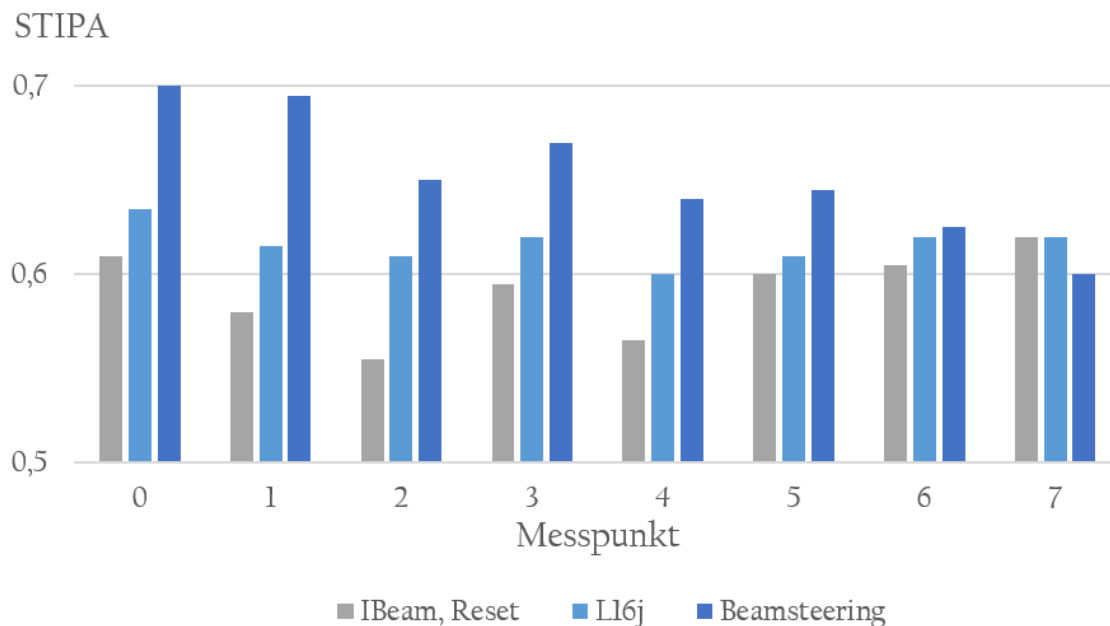


Abbildung 5.15: Versuchsreihe 3, STIPA Mittelungen am jeweiligen Messpunkt

Bei Betrachtung der Ergebnisse kann davon ausgegangen werden, dass speziell in Räumen mit hoher Nachhallzeit die Sprachverständlichkeit von Beamsteeringssystemen bei Erhöhung des Abstands konstant abnimmt, dabei aber einen besseren STIPA(IR) auf der Hörerfläche aufweist, als eine konventionelle Zeile.

In Tabelle 5.17 sind die Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche sowie den gemittelten Signal-Rauschabstände aller in Versuchsreihe 2 unternommenen Messungen zu sehen. Dabei ist der Hintergrundgeräuschpegel aller Messungen sehr konstant. Dabei weist Beamsteering trotz gleichem Ausgangspegel an Messpunkt 0 den höchsten Mittelungspegel des Messsignals an den Messpositionen auf.

Tabelle 5.17: Versuchsreihe 3, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR

Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR
Beamsteering	Beamsteering	IBeam, Reset	IBeam, Reset	L16 j mit L8i	L16j mit L8i
35,13 dB(A)	29,71 dB(A)	35,04 dB(A)	27,23 dB(A)	35,57 dB(A)	28,67 dB(A)

5.3.4 Fazit zur Versuchsreihe 3

Aus den Ergebnissen zur Versuchsreihe 3 geht hervor, dass Beamsteering den STIPA(IR) in diesem Raum mit höherer Nachhallzeit besonders zu Beginn der Hörerfläche stark verbessert. Diese Verbesserung nimmt mit zunehmender Distanz ab.

Ob diese Abnahme mit zunehmender Verringerung des Abstandes vom Messpunkt zur Rückwand zusammen hängt ist eine Vermutung und müsste in einer weiteren Messungen und Versuchsreihen bestätigt werden. Dafür wäre ein längerer Raum mit hoher Nachhallzeit geeignet. Allgemein nimmt der Diffusschallanteil bei weiterer Entfernung zur Quelle zu [Willems 2013, S. 441f]. Die STIPA(IR) Ergebnisse aller Systeme und Konfigurationen fallen insgesamt schlechter aus als in Versuchsreihe 1 und 2. Dies war aber aufgrund der höheren Nachhallzeit zu erwarten, da sich diese negativ auf die Modulationstiefe des gemessenen Testsignals auswirkt [Probst 2017].

5.4 Versuchsreihe 4, STIPA Messung im Freifeld

Um die Eigenschaften des IBeam und damit von Beamsteering auf sehr lange Distanz zu untersuchen wird eine Messung im Freifeld Vorgenommen. Dazu wird ein Platz im Hinterhof des Firmengebäudes von Seeburg acoustic line gewählt. Bei dieser Messung gibt es keine reflektierende Wand am Ende der Hörerfläche. Auf einer Seite und auf der Hinterseite der Lautsprecherposition befinden sich die Außenwände des Firmengebäudes. Der Boden der Hörerfläche ist zunächst geteert. Auf der restlichen Hörerfläche befindet sich Kießboden. Dieser beginnt nach Messpunkt 3 in 30m Abstand zum Lautsprecher.

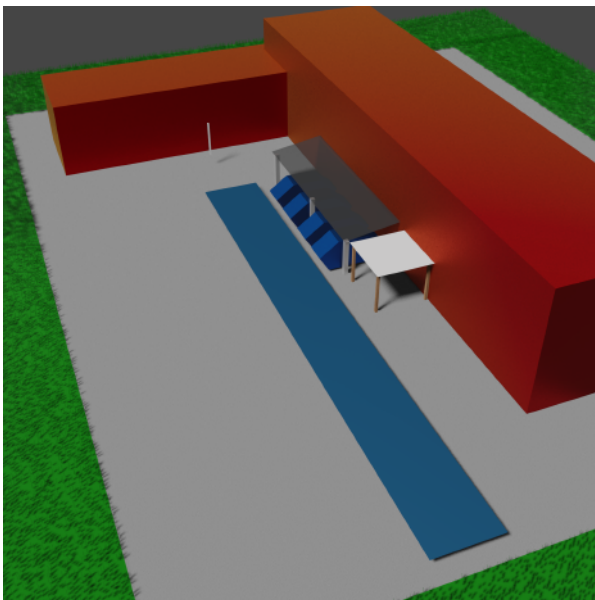


Abbildung 5.16: 3D Ansicht des Versuchsszenarios

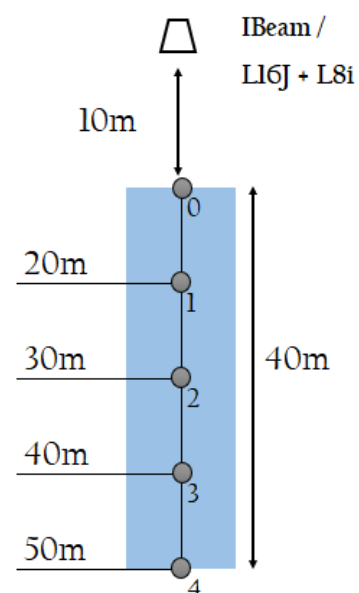


Abbildung 5.17: Messpunkte auf der Hauptstrahlachse (Grau)

5.4.1 Versuchsaufbau

Messpunkte und Messapparaturen

Diesmal werden die Messpunkte nicht horizontal versetzt. Sie befinden sich alle in einer Linie zur Hauptstrahlachse. Die Hörerfläche beginnt bei Messpunkt 0 in 10m Abstand zum IBeam und endet bei 50m an Messpunkt 4. Diese sind in Abbildung 5.17 zu sehen. Zwischen den Messpunkten befindet sich eine Distanz von 10m. Die L16j mit L8i wird mit einer 5° Neigung auf 20m an der Hörerfläche auf 1,2m ausgerichtet.

Um das IBeam auf eine Höhe von 2m zu bringen, wird es an der Gabel eines Gabelstaplers aufgehängt (Abb. 5.18). Alle Messapparaturen wurden auf Rollwägen an den Versuchsort gefahren (Abb. 5.19). Es werden insgesamt 3 XLR-Kabel für das Mikrofon mit jeweils 20m Länge verwendet. Das Messmikrofon wird außerdem mit einem Windschutz ausgestattet. Diesmal wird die L16j mit L8i nach der Messung des IBeam auf die selbe Position gestellt, an dem sich das IBeam befand. Sie befindet sich auf einem Stativ in ebenfalls 2m Höhe. An dem Aufbau und Anschluss der Apparaturen entspricht dem in Versuchsreihe 1.



Abbildung 5.18: IBeam Aufhängung an der Gabel eines Gabelstaplers



Abbildung 5.19: Mobile Messstation auf Rollwägen

IBeam und ARTA Konfiguration

In Easy Beam wurde die Hörerfläche wie in Tabelle 5.18 eingestellt. Die Filtereinstellungen sowie der Auto EQ im Advanced IBeam Controller werden aus Versuchsreihe 1 übernommen (Tabelle 5.2).

Tabelle 5.18: Versuchsreihe 3, Einstellung der Hörerfläche in Easy Beam

Höhe IBeam	Anfang Hörerfläche	Ende Hörerfläche	Höhe Hörerfläche
2,0m	10,0m	50,0m	1,2m

Mit Pink-Noise wird diesmal ein Pegel von 75dB (A) am Messpunkt 0 eingestellt, um einen möglichst hohen Signal-Rauschabstand an Messpunkt 4 in 50m Entfernung zu erzielen, ohne dass der Hörverdeckungseffekt bei zu lauten Pegeln zu tragen kommt. Dabei übersteuert das IBeam nicht. Jedoch befindet sich dieses kurz vor dem Limit und sollte nicht lauter eingestellt werden. Der Limiter würde die Modulationstiefe des Testsignals verringern und das Ergebnis verschlechtern.

5.4.2 Messvorgang

Da die gemessenen STIPA(IR) Werte aufgrund der lauten Hintergrundgeräusche stark schwanken, müssen alle Messungen 3 mal durchgeführt werden. Der Wind sorgt für einen erhöhten Pegel in den zwei tiefsten Frequenzbändern. Auch streuen Störgeräusche wie Vogel zwitschern und nahegelegene Bauarbeitern stark in das Testsignal mit ein. Es ist zu vermerken dass der Signal-Rauschabstand bei zunehmender Distanz geringer wird, was weiterhin zu einer Abnahme der Messgenauigkeit beiträgt. Die Ergebnisse der Messung befinden sich in Tabelle 5.19. Hierbei liegen schwankende Ergebnisse vor.

Tabelle 5.19: Versuchsreihe 4, Messung 1, 2 und 3

	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4
Beamsteering 1	0,74	0,83	0,88	0,82	0,76
Beamsteering 2	0,77	0,88	0,83	0,79	0,73
Beamsteering 3	0,75	0,82	0,84	0,81	0,75
IBeam, Reset 1	0,72	0,62	0,69	0,66	0,60
IBeam, Reset 2	0,71	0,66	0,66	0,70	0,64
IBeam, Reset 3	0,75	0,62	0,64	0,61	0,64
L16j + L8i 1	0,76	0,71	0,76	0,68	0,69
L16j + L8i 2	0,79	0,79	0,83	0,63	0,61
L16j + L8i 3	0,79	0,76	0,77	0,62	0,63

5.4.3 Ergebnisse

In Tabelle 5.20 sind die Auswertungen der Messergebnisse zu Versuchsreihe 4 zu sehen. Dabei liegt das IBeam durchschnittlich um 0,08 STIPA(IR) höher als die L16j mit L8i. Ab Messpunkt 3 nimmt die Sprachverständlichkeit der L16j und L8i deutlich ab. Das ist aufgrund der Ausrichtung der L16j mit L8i auf 20,56m zu erwarten. Obwohl sich Messpunkt 0 in 10m Entfernung also am Beginn der definierten Beamsteering Hörerfläche befindet, sind die STIPA(IR) Ergebnisse der L16j mit L8i um 0.03 Punkte besser.

Tabelle 5.20: Auswertung der Messergebnisse von Versuchsreihe 4, Mittelwertbildung STIPA(IR), Differenz von Beamsteering (-) ohne Beamsteering, Standardabweichung

Mittelung der Messergebnisse (STIPA(IR))	Messpunkt 0	Messpunkt 1	Messpunkt 2	Messpunkt 3	Messpunkt 4	Mittelwert über alle Messpunkte
Beamsteering	0,753	0,843	0,850	0,807	0,747	0,80
IBeam, Reset	0,727	0,633	0,663	0,657	0,627	0,66
L16j	0,780	0,753	0,787	0,643	0,643	0,72
Differenz (STIPA(IR))						Mittelwert der Differenzen
Beamsteering (-) IBeam, Reset	0,027	0,210	0,187	0,150	0,120	0,14
Beamsteering (-) L16j	-0,027	0,090	0,063	0,163	0,103	0,08
L16j (-) IBeam, Reset	0,053	0,120	0,123	-0,013	0,017	0,06
Standardabweichung (%)						Standardabweichung, Hörerfläche
Beamsteering	2,00	3,81	3,11	1,89	2,05	6,07
IBeam, Reset	2,86	3,65	3,70	6,80	3,69	5,99
L16j	2,22	5,30	4,81	5,00	6,47	10,02

In Diagramm 5.20 sind die durchschnittlichen STIPA(IR)-Ergebnisse grafisch dargestellt. Gerade auf lange Distanz weisen die Beamsteering Ergebnisse eine höhere Sprachverständlichkeit als die L16j mit L8i auf. An Messpunkt 1 und 2 in der Mitte der Hörerfläche ist die Sprachverständlichkeit des IBeam deutlich am höchsten ausgefallen. Am Messpunkt 3 ist nochmals die deutliche Abnahme des STIPA(IR) bei der L16j mit L8i zu sehen.

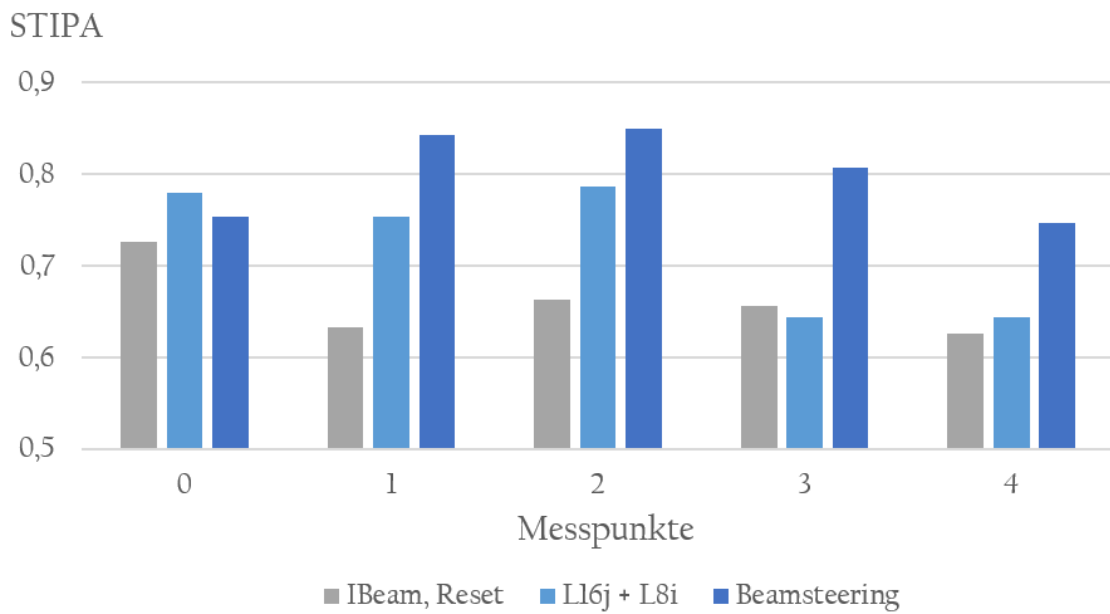


Abbildung 5.20: Versuchsreihe 4, STIPA(IR) Mittelungen am jeweiligen Messpunkt

Tabelle 5.21 zeigt die Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche sowie den gemittelten Signal-Rauschabstand aller in Versuchsreihe 4 unternommenen Messungen. Dabei sind starke Schwankungen des Hintergrundgeräuschpegels zu vernehmen. Gerade bei den Beamsteeringmessungen traten viele laute Hintergrundgeräusche auf. Dennoch scheint dies noch kaum Auswirkungen auf den gemessenen STIPA(IR) zu haben, da gerade die Ergebnisse von Beamsteering im Vergleich zu den anderen Konfigurationen die besten Resultate aufweisen. Der Signal- Rauschabstand zwischen Durchschnittlich 24,27dB (A) und 28,13 dB (A) ist dazu für eine STIPA(IR) Beurteilung ausreichend hoch.

Tabelle 5.21: Versuchsreihe 4, Mittelungspegel der Hintergrundgeräusche und SNR

Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR	Noise lvl.	SNR
Beamsteering	Beamsteering	IBeam, Reset	IBeam, Reset	L16 j mit L8i	L16j mit L8i
47,07 dB(A)	24,27 dB(A)	43,28 dB(A)	28,13 dB(A)	42,33 dB(A)	27,45 dB(A)

In Diagramm 5.21 werden die gemessenen A- bewerteten Schalldruckpegel an den Messpunkten dargestellt. Hier ist der Pegelverlust bei Erhöhung des Abstandes zu sehen. In 50m Entfernung weist Beamsteering einen um 4dB höheren SPL (A) als die L16j auf. Obwohl das IBeam, Reset annähernd den selben Pegel wie Beamsteering besitzt, fällt der STIPA(IR) etwas schlechter aus als bei der L16j mit L8i. So ist anzunehmen, dass der SPL nach diesem Resultat keinen wesentlichen Einfluss auf die Sprachverständlichkeit hat.

Da eine stark zunehmende Differenz der Schalldruckpegel von Beamsteering zur L16j mit L8i von Messpunkt 0 zu Messpunkt 1 auffällt, scheint die SPL-Distribution Optimierung des IBeam in diesem Bereich zu wirken.

Tabelle 5.22: Versuchsreihe 4, Mittelungspegel des Testsignals an jeder Messposition

	10m	20m	30m	40m	50m
Beamsteering [dB(A)]	72,85	71,18	68,49	67,47	65,22
IBeam, Reset [dB(A)]	72,71	69,27	67,51	66,17	64,63
L16j + L8i [dB(A)]	71,94	68,26	65,61	64,60	61,40

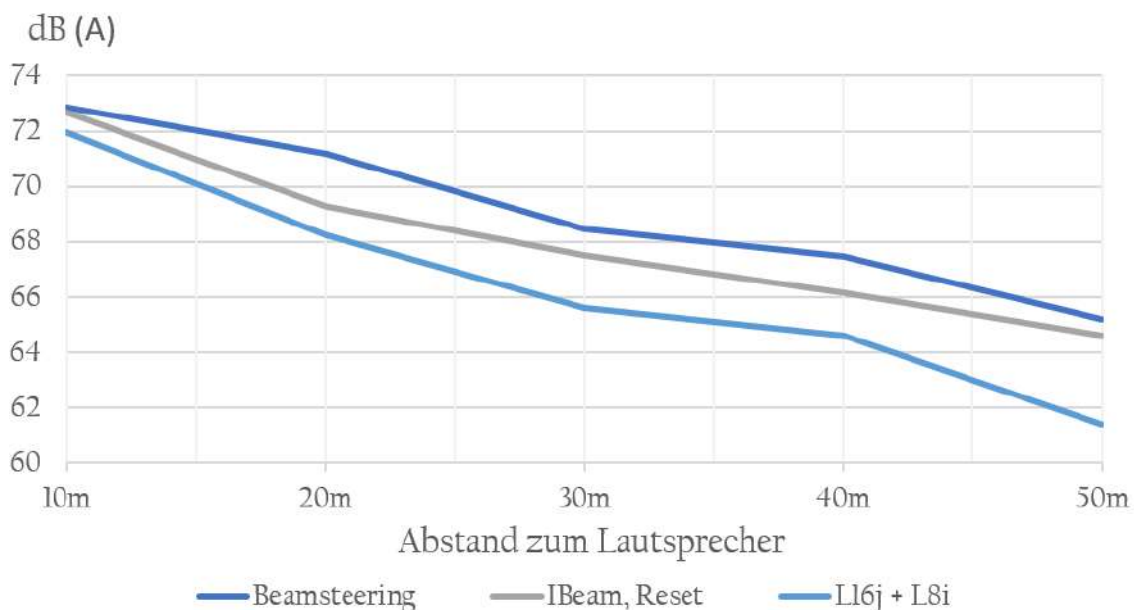


Abbildung 5.21: Versuchsreihe 4, Mittelungspegel des Signals je Messpunkt im Vergleich

5.4.4 Fazit zu Versuchsreihe 4

Gerade bei einer langen Distanz sind die STIPA(IR) Ergebnisse von Beamsteering besser ausgefallen als die der konventionellen Zeilen. Jedoch ist das die L16j mit L8i nicht optimal für diese Entfernung ausgerichtet. Die Optimierungsoptionen des IBeam scheinen für einen konstanteres SPL auf der Hörerfläche zu sorgen.

Hierzu sollten mehr Versuche durchgeführt werden. Jedoch hat ein konstanterer SPL auf der Hörerfläche nicht direkt eine Auswirkung auf die STIPA(IR) Ergebnisse, wie der Vergleich des IBeam, Reset mit der L16j mit L8i gezeigt hat.

5.5 Zusammenfassung der Versuchsreihen

Nach der Ausführung der Versuchsreihen fällt auf, dass das IBeam mit Beamsteering gerade im mittleren Bereich der Hörerfläche für die beste Sprachverständlichkeit sorgt. Gegen Ende der Hörerfläche nehmen die Differenzen der STIPA(IR) Ergebnisse aller Lautsprecher und Konfigurationen in Räumen tendenziell ab.

- Versuchsreihe 1 zeigt auf, dass das IBeam sehr flexibel einsetzbar ist, da trotz der überzogenen Länge der Zeile bei geringem Abstand zum Lautsprecher eine sehr gute Sprachverständlichkeit erzielt werden kann. Speziell Konferenzräumen oder Hörsäle sind oft nur zur Hälfte besetzt. In Szenarios in denen Flexibilität gefragt ist, könnte das IBeam Einsatz finden.
- In Versuchsreihe 2 zeigt sich, dass das IBeam in einem optimalen Szenario für einen Linienstrahler nur bedingt für eine bessere Sprachverständlichkeit sorgt. Dabei ist jedoch zu vermerken das die STIPA(IR) Ergebnisse gerade in der Mitte der Hörerfläche besser ausfallen als zu Beginn und Ende.
- Im Raum mit hoher Nachhallzeit in Versuchsreihe 3 kann vor allem eine Verbesserung der Sprachverständlichkeit im zu Beginn der Hörerfläche erzielt werden, welche bei weiterer Entfernung konstant abnimmt. Dazu sollten für weiteres Vorgehen mehr Versuche unternommen werden. Diese waren leider im Rahmen dieser Bachelorarbeit nicht möglich.
- In Versuchsreihe 4 im Freifeld zeigt sich die hohe Reichweite des IBeam sowie ein geringer Pegelverlust bei Abstandsverdopplung im Gegensatz zur L16j mit L8i. Die SPL-Distribution Optimierung scheint nach der Auswertung der SPL Einfluss zu haben. Weitere Versuche müssten durchgeführt werden.

Bis weitere Versuche gefahren werden, sollten zuvor die Ergebnisse der bisherigen Versuchsreihen tiefer untersucht werden.

6 Diskussion der MTI Ergebnisse

6.1 Einfluss der Bewertungsfaktoren auf den STI

Der Modulationsübertragungsindex MTI_k ist das Ergebnis der gemittelte TI_k, f_m eines Oktavbands. Die Mittelung der TI_k, f_m wird nach Gleichung 3.7 ausgeführt. Der MTI_k unterliegt noch nicht der Oktavbandbewertung α und den Redundanzfaktoren zwischen den Oktavbändern β aus Gleichung 3.8. Im Diagramm 6.1 sind die Gewichtungsfaktor α und Redundanzfaktoren β dargestellt. Aus dem Diagramm ist zu lesen, dass die MTI_k Ergebnisse der Oktavbänder mit den Mittenfrequenzen von 500Hz bis 8000Hz am meisten Einfluss auf das endgültige STI-Ergebnis besitzen. Das 2000Hz Band wirkt sich dabei am stärksten auf das STIPA(IR) Ergebnis aus.

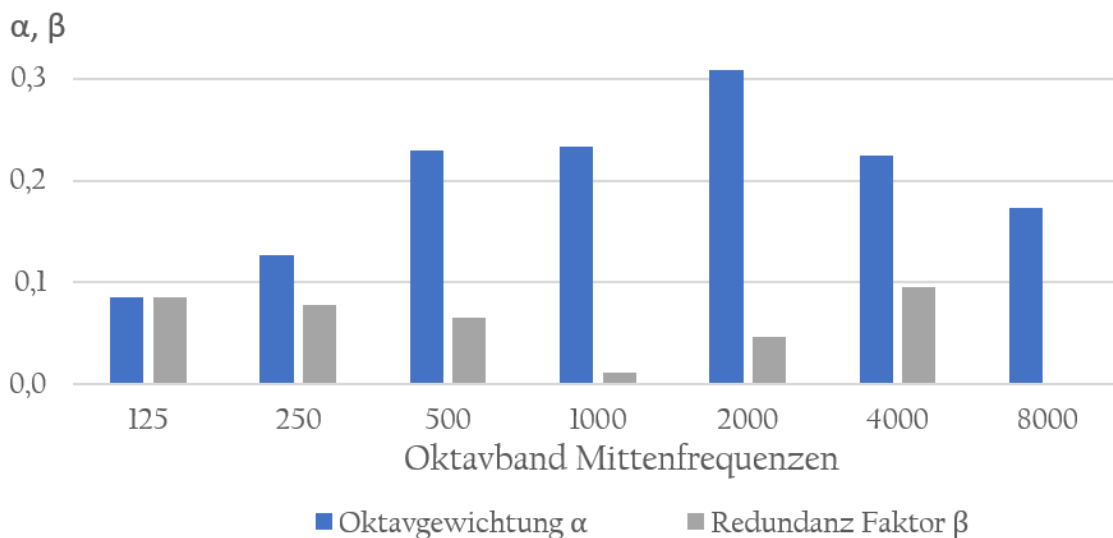


Abbildung 6.1: Auswirkungen der Oktavbewertung α und Redundanzfaktor β auf den STI

Der Redundanzfaktor β wirkt sich mit einer Verringerung des STI-Ergebnisses aus, wenn im benachbarten Frequenzband MTI_{k+1} eine hoher MTI_k vorhanden ist. Dabei ist der Anteil an redundanter Information in den Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen 1000Hz und 2000Hz am geringsten.

6.2 MTI- Auswertung der Versuchsreihen

MTI-Werte aus Versuchsreihe 1

In Hinblick auf die gemittelten MTI-Ergebnisse für jedes Oktavband in Diagramm 6.2 geht hervor, dass Beamsteering vor allem in den für den STI stark gewichteten Oktavbändern mit den Mittenfrequenzen von 1000Hz bis 4000Hz eine Höheren Modulationsübertragungsindex aufweisen kann als die L16j mit L8i.

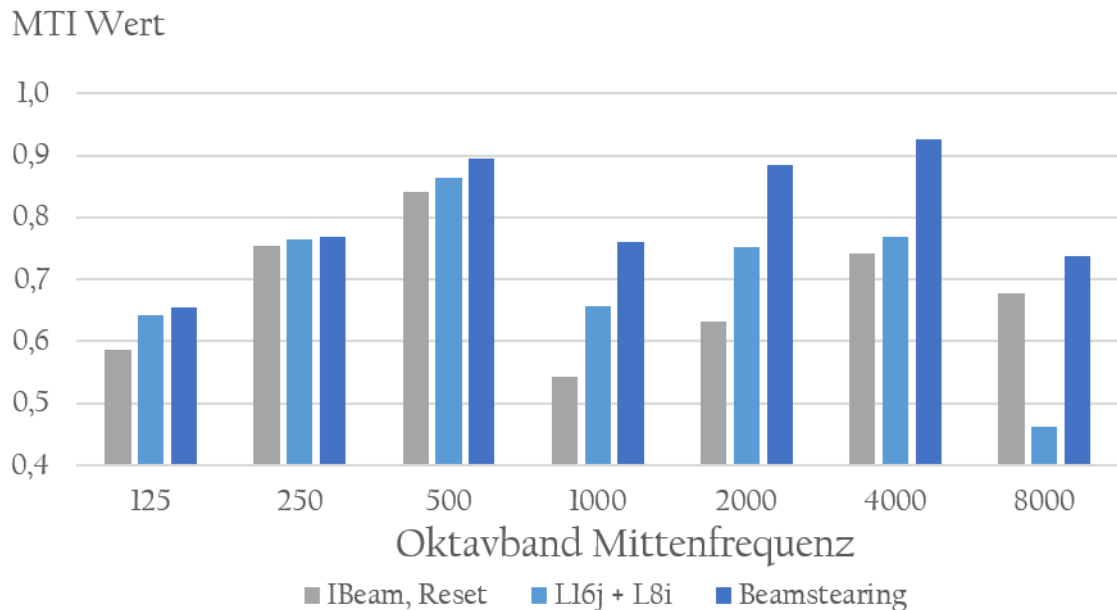


Abbildung 6.2: Versuchsreihe 1, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband

Das IBeam ohne Beamsteeringkonfiguration zeigt Annähernd guten MTI im Bereich der tieferen Frequenzen. Trotz fehlender Ausrichtung ist die Bündelung tiefer Frequenzen bei Linienstrahlern nicht sehr stark. In Versuchsreihe 1 ist die L16 mit L8i mit der Neigung von 5° und Montagehöhe von 1,6m mit ihrer Hauptstrahlachse auf 16m ausgerichtet. Die Neigung und das Kurving könnte für eine stärkere Bündelung in den mittleren und hohen Frequenzen der L16j + L8i könnte für höheren Direktschall gesorgt haben [Wühle 2015, S. 3]. Dennoch ist anzunehmen das Die überlange Zeile in dieser Versuchsreihe für einen stärkeren reflektierenden Schallanteil an der Messposition sorgt, welcher sich negativ auf den STIPA(IR) auswirkt [Probst 2017].

Auffallend ist der starke MTI-Verlust im 8000Hz Band der L16j mit L8i. Dieser Verlust wird in Abbildungen 6.3 und 6.4 deutlich. Diese zeigen die Oktavpegel des Messsignals und der Hintergrundgeräusche an Messpunkt 6 in 9m Abstand in der Hauptstrahlachse der Lautsprecher in einer Messung. Vergleicht man die Pegel im Oktavband bei 8000Hz, so ist bei der L16j mit L8i ein stark abfallender Pegel ab 4000Hz erkennbar.

Der verminderte MTI bei 8000Hz könnte auf den niedrigen Signal-Rauschabstand sowie Hörverdeckungseffekte für ein nachfolgendes Oktavband $k + 1$ zurückzuführen sein. Durch den hohen Redundanzfaktor β im Oktavband von 4000Hz, fällt dieser Verlust bei der endgültigen Berechnung des STI nicht mehr sehr stark ins Gewicht. Die Ergebnisse im 2000Hz Band sind hierbei immer noch am stärksten Ausschlaggebend.

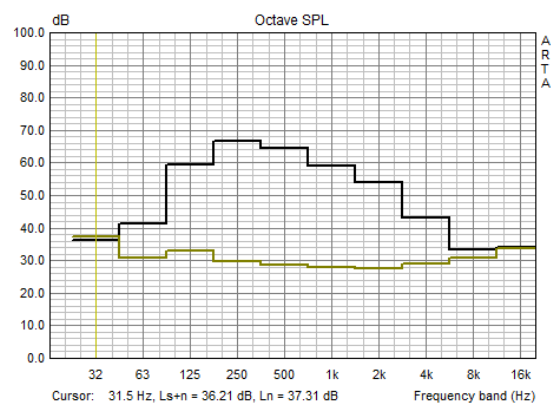
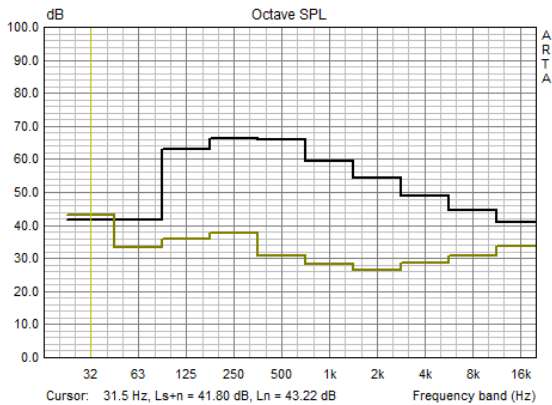


Abbildung 6.3: Versuchsreihe 1, Oktavpegel mit Beamsteering an Messpunkt 6

Abbildung 6.4: Versuchsreihe 1, Oktavpegel der L16j mit L8i an Messpunkt 6

MTI-Werte aus Versuchsreihe 2

In Betracht auf Diagramm 6.5 sind die gemittelten MTI_k Ergebnisse über alle Messpunkte des IBeam mit Beamsteering und der L16j mit L8i stark identisch.

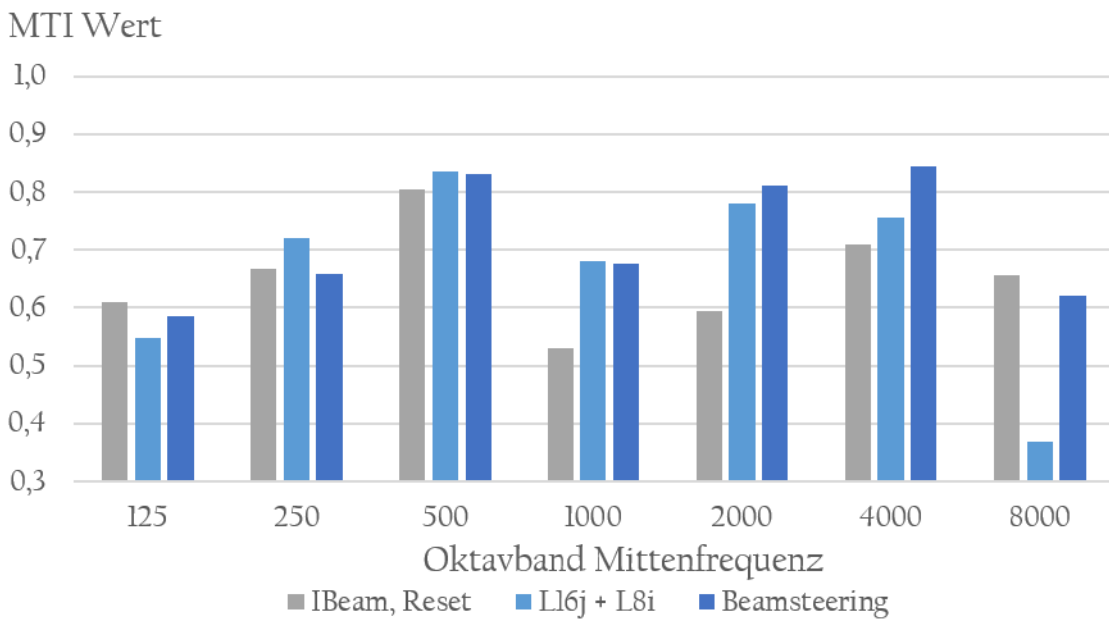


Abbildung 6.5: Versuchsreihe 2, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband

Dennoch ist die starke Abweichung bei 8000Hz wiederum vorhanden. Diese sind wiederum auf den fehlenden Signal-Rauschabstand der L16j mit L8i zurückzuführen. Da der Showroom einen sehr geringen Nachhall besitzt und die akustischen Bedingungen dieses Raumes sehr gut für die Sprachverständlichkeit sind, ist zu erwarten, dass die Ergebnisse kaum voneinander abweichen. Es ergeben sich sogar etwas bessere MTI der L16 mit L8i im 250Hz Oktavband.

Die Ausrichtung der L16j mit L8i Zeile ist wie in Versuchsreihe 1 auf 16m Abstand ausgerichtet. Damit zielt die L16j mit L8i in die Mitte der Hörerfläche. Nach den Untersuchungen der Ergebnissen dieser Versuchsreihe bietet Beamsteering nur einen geringeren Vorteil gegenüber einer konventionellen Zeile. Dennoch macht sich ein leichter Unterschied bei 2000Hz und 4000Hz bemerkbar.

MTI-Werte aus Versuchsreihe 3

Diagramm 6.6 zeigt die gemittelten MTI_k im Raum von Versuchsreihe 3. Dieser Raum besitzt eine höhere Nachhallzeit als der Showroom. Hierbei zeigt sich, dass Beamsteering den MTI im Oktavband von 4000Hz im Vergleich zur L16j verbessert hat. Dabei ist anzuführen, dass Die L16j auf eine Entfernung von 10m optimal ausgerichtet ist.

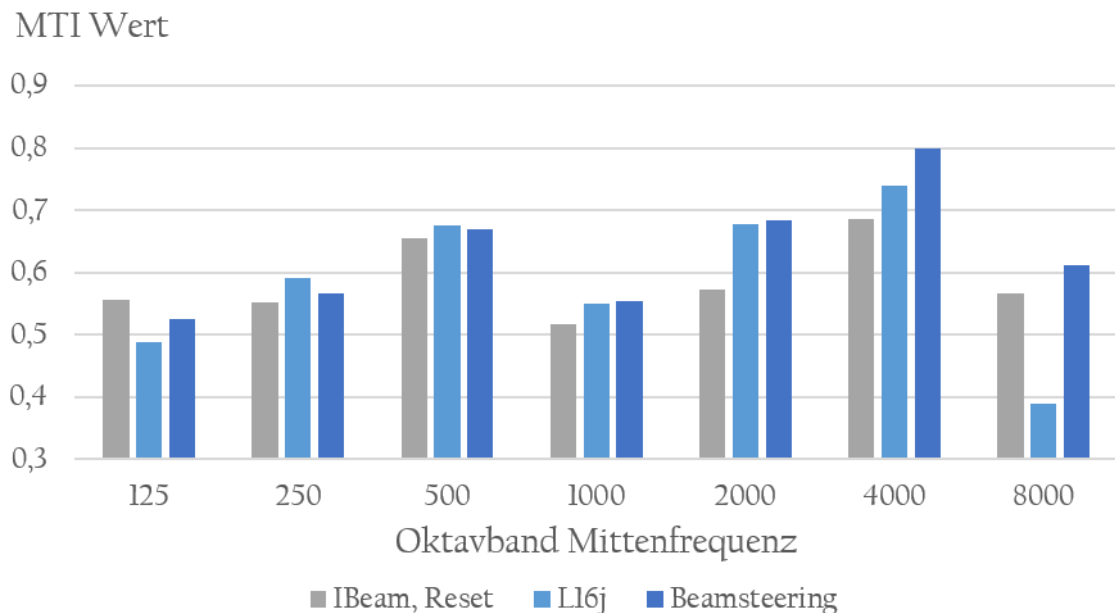


Abbildung 6.6: Versuchsreihe 3, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband

In den Abbildungen 6.7 und 6.8 sind die Oktavbandpegel des Signals und des Hintergrundgeräusches zu sehen. Diese beziehen sich auf eine Messung an Messpunkt 3 in 10m Abstand auf der horizontalen Hauptstrahlachse der Lautsprecher. Aus den Messergebnissen geht hervor, dass der Schalldruckpegel des IBeam mit Beamsteering, sowie die L16j im 4000Hz Band in etwa 45dB betragen. Dabei ist der Signal- Rauschabstand etwas über 15dB. Speziell in diesem Oktavband konnte durch Beamsteering ein höherer MTI beobachtet werden.

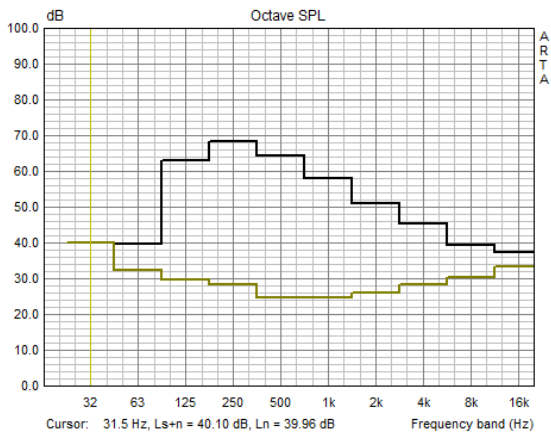


Abbildung 6.7: Versuchsreihe 3, Oktavpegel von Beamsteering an Messpunkt 3

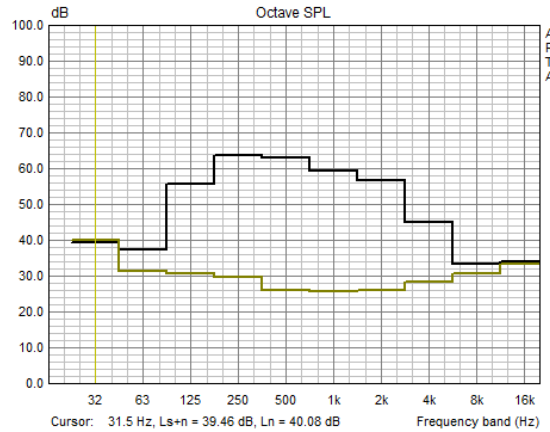


Abbildung 6.8: Versuchsreihe 3, Oktavpegel der L16j an Messpunkt 3

In Abbildung 6.9 und 6.10 werden die gemittelten MTI_k je Messpunkt in einem Flächendiagramm dargestellt. Hier sind Speziell beim Beamsteering zunächst höhere MTI-Werte an den Messpunkten mit geringerem Abstand zum Lautsprecher festzustellen. Auffallend hierbei ist die Gleichmäßigkeit der Sprachübertragung auf der Hörerfläche des IBeam mit Beamsteeringkonfiguration in den Bändern von 250Hz bis 8000Hz. Diese ist weniger starken Schwankungen des MTI ausgesetzt.

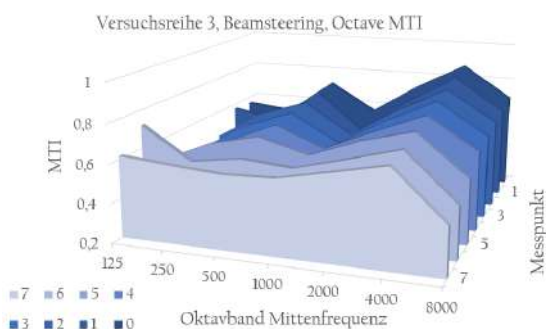


Abbildung 6.9: Versuchsreihe 3, MTI von Beamsteering je Oktavband und Messpunkt

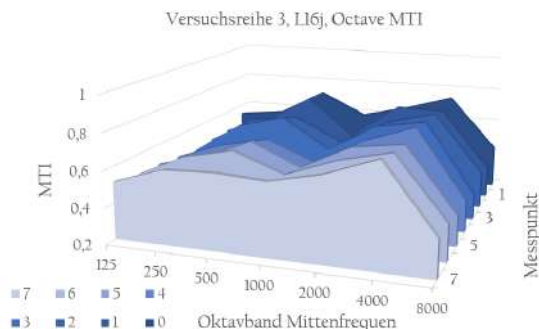


Abbildung 6.10: Versuchsreihe 3, MTI der L16j je Oktavband und Messpunkt

MTI-Werte aus Versuchsreihe 4

In der Freifeldmessung zeigen die Ergebnisse der gemittelten MTI_k zunächst bessere Qualität der Sprachübertragungskanals von Beamsteering in den Oktavbändern von 1000Hz bis 8000Hz (Abb. 6.11).

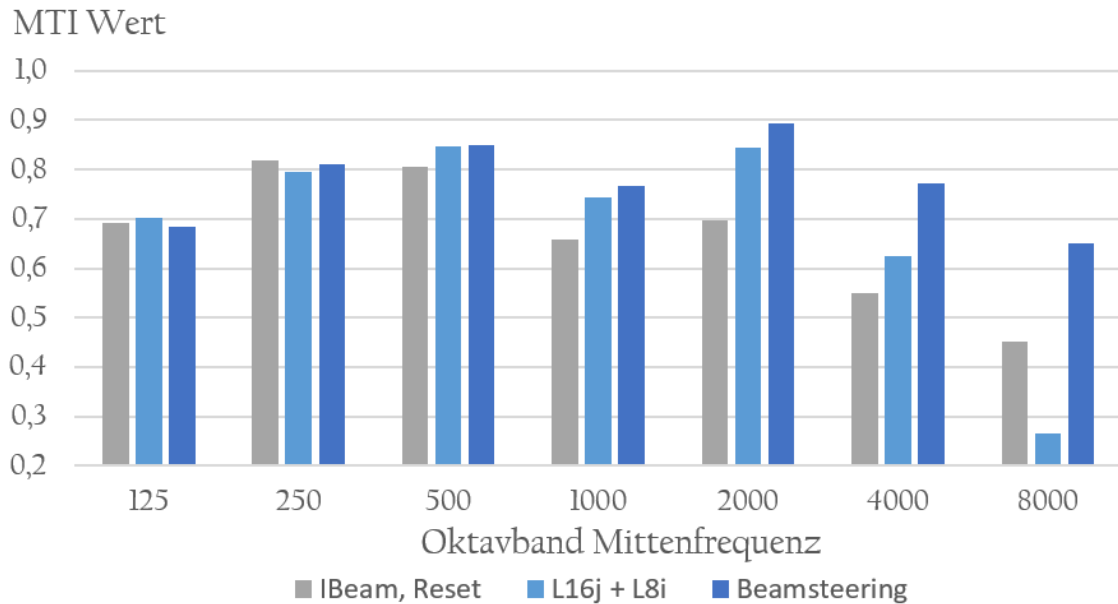


Abbildung 6.11: Versuchsreihe 4, Mittelung der MTI Werte für jedes Oktavband

In Hinblick auf die Oktavbänder 4000Hz und 8000Hz lassen sich Verluste des MTI der L16j mit L8i vermutlich auf den fehlenden Signal-Rauschabstand zurückführen (Abb.6.12 und 6.13).

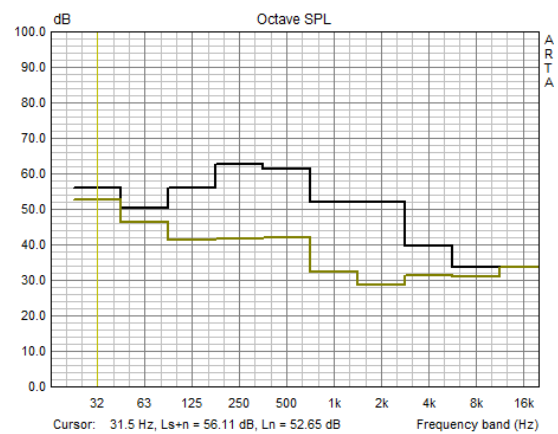
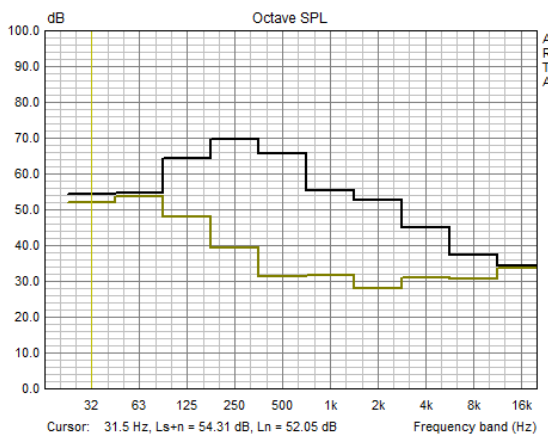


Abbildung 6.12: Versuchsreihe 4, Oktavpegel von Beamsteering an Messpunkt 4

Abbildung 6.13: Versuchsreihe 4, Oktavpegel der L16j mit L8i an Messpunkt 4

Dennoch ist der MTI im 1000Hz und 2000Hz bei Beamsteering erhöht. Dabei wird bei der STI- Berechnung das 2000Hz am stärksten gewichtet. Um Rückschlüsse auf den MTI_k bei der jeweiligen Entfernung zum Lautsprecher zu bekommen, können die Flächendiagramme 6.14 und 6.15 herangezogen werden.

Anhand der Flächendiagramme wird deutlich, dass der gemittelte MTI_k der L16j mit L8i in den Oktavbändern von 4000Hz und 8000Hz durch die Messergebnisse bei 40m und 50m maßgeblich verschlechtert wurde.

Der Signal- Rauschabstand war auf dieser Entfernung zu gering oder nicht vorhanden. Beamsteering zeigt in Abbildung 6.14 jedoch einen konstanten MTI-Verlauf bei zunehmendem Abstand zum Lautsprecher.

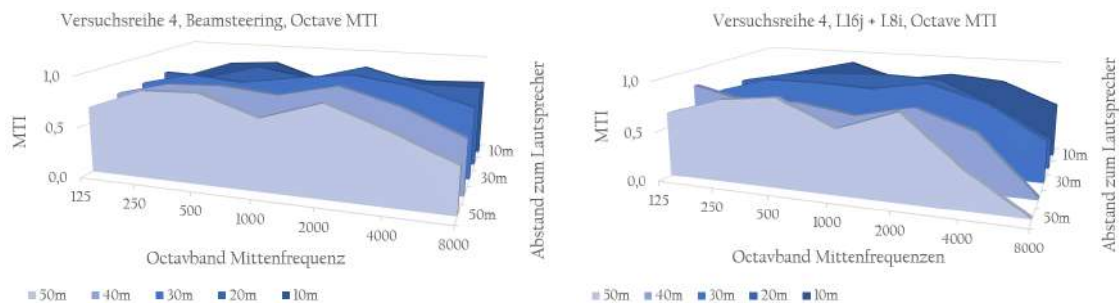


Abbildung 6.14: Versuchsreihe 4, MTI von Beamsteering je Oktavband und Messpunkt

Abbildung 6.15: Versuchsreihe 4, MTI der L16j mit L8i je Oktavband und Messpunkt

6.3 Zusammenfassung der MTI-Auswertung

In der MTI-Auswertungen zeigt sich, dass das Beamsteering in bestimmten Szenarien für die Verbesserung der Sprachübertragungsqualität sorgen kann. Gerade in Versuchsreihe 1 und 3 waren deutliche Verbesserungen gegenüber der L16j und der L8i zu vernehmen. Dies gilt vor allem für die Oktavbänder 2000Hz und 4000Hz.

Die Flächendiagramme zeigen den vergleichsweise gleichmäßigeren MTI je Hörerposition. (Abb. 6.14 und 6.9)

Die MTI- Ergebnisse des IBeam im Reset Zustand waren dabei in allen Versuchsreihen vergleichsweise schlecht.

In allen Versuchsreihen konnte festgestellt werden, dass der Signal- Rauschabstand der L16j mit L8i im Bereich von 8000Hz deutlich zu niedrig ist. Für weitere Versuche könnte der Signalpegel des passiven Linienstrahlers in den hohen Frequenzen mit einem Equalizer angepasst werden. Dies könnte jedoch für lineare zeitliche Verzerrungen bei der Messung von hohen Modulationsfrequenzen f_m sorgen, welche sich wiederum schlecht auf den STI auswirken kann. So sollte dafür bei Möglichkeit ein Linearer Phase Equalizer benutzt werden.

7 Fazit

Die Ergebnisse der Forschung haben gezeigt, dass die Sprachverständlichkeit durch den Übertragungskanal eines Beamsteering-Systems in allen untersuchten Szenarios zu einem besseren Ergebnis gegenüber eines konventionellen Linienstrahlers geführt haben.

Hierbei waren die gewählten Beschallungsszenarios stark unterschiedlich ausgelegt. Die Ergebnisse zeigen also eine hohe Flexibilität und dadurch ein breites Einsatzspektrum für Beamsteering-Systeme.

Betrachtet man die Ergebnisse aus Versuchsreihe 1 und 2 so zeigt sich, dass gerade in Situationen, in denen ein festinstallierter Zeilenlautsprecher einen großen Raum beschallen muss, problemlos auf eine kleinere Hörerfläche umgestellt werden kann. Dabei sorgt Beamsteering für eine deutliche Verbesserung der Sprachqualität, wenn nur ein geringer Teil zu Beginn des Raumes beschallt werden muss.

In Versuchsreihe 3 zeigt sich eine Verbesserung durch Beamsteering in Räumen mit starken Reflexionen. Insbesondere zu Beginn der Hörerfläche ist die Verbesserung stark ausgefallen. In Betracht der oktavabhängigen Modulationsübertragungswerte je Messpunkt zeigt das IBeam sehr geringe Schwankungen der Sprachübertragungsqualität auf der Hörerfläche. So ist das IBeam in der Lage, Probleme die bei der Sprachübertragung durch Reflexionen im Schallfeld entstehen, zu optimieren.

Gerade auf weite Entfernungen erzielt das IBeam auffallend gute Ergebnisse im Vergleich zu den Referenzsystemen. Es behält auch noch gute Sprachverständlichkeit in 50m Entfernung. Konstante, kaum schwankende MTI Ergebnisse sind dabei auch unerwartet im tieffrequenten Bereich bei zunehmender Entfernung zu vermerken. Daraus kann abgeleitet werden, dass sich eine Beamsteeringzeile auch im Freifeld als ein hervorragendes Sprachübertragungssystem eignet.

Weitere Vorgehensweise

Die Ergebnisse dieser Arbeit bieten Erkenntnisse für die weitere Vorgehensweise hinsichtlich der empirischen Untersuchung der Wirkung von Beamsteering auf die Sprachverständlichkeit. Somit müssen mehr Daten über die Auswirkungen von Beamsteering in reflexionsstarken Umgebungen gesammelt werden. Insbesondere dort zeichneten sich deutliche Verbesserungen ab. Speziell sollte die Hörerfläche bei weiterer Datenerhebungen tiefer auf die Modulationsübertragungsindizes untersucht werden. Diese waren beim IBeam in Bezug auf die verschiedenen Hörerpositionen nur geringen Schwankungen unterlegen. Die Optimierungsoptionen des IBeam könnten weiterführend deaktiviert werden, um explizit nur diese zu untersuchen.

Zusammengefasst konnten in dieser Arbeit durch die Durchführung der verschiedenen Versuchsreihen und dem Vergleich der Lautsprecher Erkenntnisse über die Auswirkungen von Beamsteering auf die Sprachübertragungsqualität erzielt werden.

Literaturverzeichnis

- [Müller 2013] Müller, G., Möser, M. (Eds.). (2013). Taschenbuch der technischen Akustik. Springer-Verlag.
- [Puente 2015] Puente León, F. Jäkel, H. (2015). Signale und Systeme. Berlin, München, Boston: De Gruyter Oldenbourg.
- [Heuermann 2020] Heuermann, H. (2020). Mikrowellentechnik: Feldsimulation, nichtlineare Schaltungstechnik, Komponenten und Subsysteme, Plasmatechnik, Antennen und Ausbreitung. Springer-Verlag.
- [Müller 1999] Müller, S., Hill, B., Vorländer, M. (1999). Digitale Signalverarbeitung für Lautsprecher. Lehrstuhl und Institut für Technische Akustik.
- [DIN 2019] DIN, E. (2019). 60268-16: Elektroakustische Geräte—Teil 16: Objektive Bewertung der Sprachverständlichkeit durch den Sprachübertragungsindex. Beuth, Berlin.
- [Probst 2017] Probst, W., Böhm, M. (2017). Die Anwendung des Speech Transmission Index (STI) zur Beurteilung von Sprachgeräuschen. Lärmbekämpfung Bd, 12.
- [Willems 2013, S. 441f] Willems, W. M., Fischer, H. M., Freymuth, H., Häupl, P., Hermann, M., Jenisch, R. (2013). Lehrbuch der Bauphysik. Auflage, Wiesbaden.
- [Wühle 2015, S. 3] Wühle, T., Merchel, S., Altinsoy, S. (2015). Vergleich verschiedener Lautsprecherzeilen im Nahfeld. TU Dresden, Lehrstuhl Kommunikationsakustik.

Anhang A: IBeam Daten

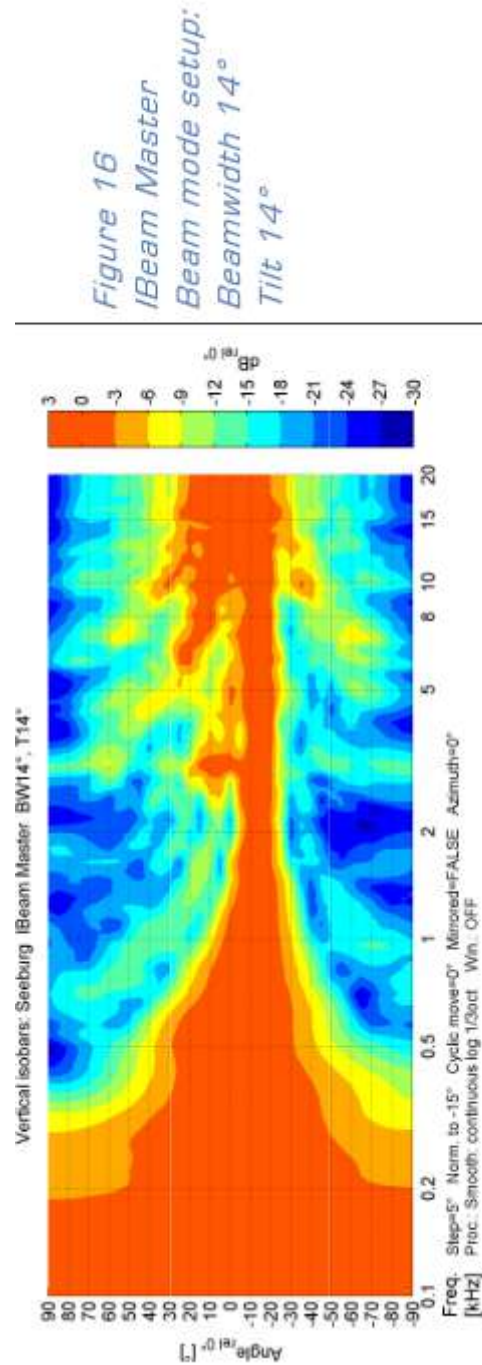


Abbildung A.1: Sidelobs des IBeam- Master bei einer 14° Beamkonfiguration zur Hauptstrahlachse

Anhang B: MTI Ergebnisse und Mittelung

MTI Auswertung, Versuchsreihe 1

Showroom 1 Beam	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,6702	0,8475	0,8816	0,7504	0,8558	0,8952	0,6957
	1	0,6028	0,8124	0,8855	0,7320	0,8720	0,9006	0,6890
	2	0,5973	0,8085	0,9043	0,7323	0,8669	0,9171	0,7494
	3	0,6503	0,7613	0,9031	0,7662	0,8767	0,9121	0,6899
	4	0,5835	0,8570	0,8629	0,7837	0,8890	0,9417	0,7606
	5	0,6644	0,7253	0,9215	0,7859	0,9166	0,9956	0,8306
	6	0,6022	0,7363	0,9068	0,7698	0,9208	0,9617	0,7958
	7	0,5938	0,7038	0,9039	0,7620	0,8890	0,8541	0,6731
Showroom 3 Beam	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,8074	0,8148	0,8784	0,7487	0,8522	0,9147	0,714
	1	0,6649	0,8395	0,9178	0,7457	0,8927	0,9235	0,7316
	2	0,5808	0,8315	0,9033	0,7858	0,8899	0,9354	0,7761
	3	0,7562	0,7148	0,9038	0,8153	0,9231	0,9458	0,6957
	4	0,7185	0,8132	0,8614	0,7965	0,9259	0,9637	0,7655
	5	0,7317	0,6878	0,8931	0,7559	0,9193	0,9743	0,7877
	6	0,6988	0,6742	0,8926	0,7035	0,8559	0,9475	0,7815
	7	0,5705	0,674	0,9048	0,7384	0,8026	0,8273	0,6789
Beamsteering	Beamsteering	0,6558	0,7689	0,8953	0,7608	0,8843	0,9256	0,7384
STI	0,84	-0,0046	0,0329	0,1523	0,1682	0,2307	0,1288	0,1278
Showroom 1 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,576	0,7837	0,8285	0,5678	0,6442	0,8017	0,7724
	1	0,5562	0,7601	0,8304	0,5394	0,6438	0,7987	0,7304
	2	0,5728	0,7769	0,8399	0,5194	0,6206	0,7742	0,7883
	3	0,5848	0,7273	0,8461	0,5957	0,6431	0,7204	0,6518
	4	0,4794	0,8445	0,8434	0,5387	0,6414	0,729	0,6423
	5	0,5194	0,7107	0,87	0,602	0,6437	0,758	0,6535
	6	0,5007	0,7753	0,8503	0,5728	0,6407	0,7343	0,597
	7	0,3271	0,6824	0,8426	0,5387	0,6275	0,7018	0,5855
Showroom 3 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,7158	0,7409	0,8256	0,4968	0,629	0,7552	0,7686
	1	0,5955	0,7538	0,841	0,4642	0,6416	0,7864	0,7504
	2	0,7007	0,7342	0,8424	0,4595	0,6041	0,715	0,7496
	3	0,7641	0,8961	0,8205	0,5203	0,6349	0,743	0,6513
	4	0,5395	0,8224	0,8446	0,5516	0,6217	0,7403	0,6671
	5	0,6238	0,646	0,866	0,5866	0,6431	0,7099	0,6463
	6	0,7281	0,7651	0,816	0,5646	0,6266	0,7129	0,607
	7	0,6014	0,6559	0,8558	0,5841	0,597	0,6887	0,5761
STI	Ibeam, Reset	0,5866	0,7547	0,8414	0,5439	0,6314	0,7418	0,6774
	0,68	-0,0067	0,0337	0,1496	0,1203	0,1629	0,0988	0,1172
Showroom 1 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,6578	0,8388	0,8283	0,6614	0,7499	0,7784	0,578
	1	0,6367	0,788	0,8699	0,6342	0,7543	0,7742	0,5336
	2	0,8276	0,7694	0,8501	0,6316	0,7319	0,7741	0,5042
	3	0,5944	0,7972	0,8768	0,6904	0,7582	0,7455	0,3336
	4	0,6043	0,7314	0,8451	0,6381	0,7644	0,7333	0,396
	5	0,6612	0,7243	0,9084	0,6749	0,7575	0,6676	0,3348
	6	0,5577	0,7586	0,8572	0,6472	0,7294	0,7132	0,3567
	7	0,5846	0,6893	0,8534	0,7145	0,7742	0,7653	0,3794
Showroom 2 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,69	0,8411	0,8277	0,6258	0,7464	0,801	0,6227
	1	0,621	0,7954	0,8708	0,6281	0,7497	0,8152	0,5998
	2	0,6448	0,7822	0,8636	0,6426	0,7269	0,7975	0,5734
	3	0,6154	0,7904	0,8917	0,7109	0,7745	0,7653	0,4101
	4	0,5452	0,7449	0,8531	0,6001	0,744	0,7964	0,4532
	5	0,635	0,7335	0,8965	0,687	0,7891	0,796	0,4272
	6	0,8357	0,7593	0,861	0,6223	0,7387	0,7836	0,4453
	7	0,562	0,6971	0,8669	0,6985	0,7538	0,7825	0,4547
STI	L16j + L8i	0,6421	0,7651	0,8638	0,6567	0,7527	0,7681	0,4627
	0,72	-0,0050	0,0338	0,1497	0,1453	0,1968	0,1154	0,0800

MIT Auswertung Versuchsreihe 2

Showroom 4 Beam	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,6473	0,7196	0,8628	0,5947	0,7751	0,8236	0,5981
	1	0,5763	0,7271	0,8873	0,61	0,7971	0,7947	0,6087
	2	0,7113	0,6806	0,8456	0,7252	0,8067	0,837	0,6045
	3	0,501	0,7135	0,8237	0,7425	0,9042	0,927	0,7283
	4	0,6852	0,5188	0,8098	0,7015	0,8348	0,8007	0,6354
	5	0,527	0,5162	0,7758	0,6476	0,7701	0,8645	0,6608
	6	0,4943	0,6768	0,8172	0,7146	0,7608	0,7447	0,4073

Showroom 5 Beam	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,6133	0,7343	0,8617	0,6035	0,7652	0,8394	0,6346
	1	0,5418	0,7155	0,8895	0,6198	0,8155	0,8505	0,6284
	2	0,6155	0,7272	0,8513	0,7295	0,8387	0,8875	0,6491
	3	0,5745	0,7384	0,8198	0,7447	0,9016	0,9245	0,6992
	4	0,565	0,6123	0,8245	0,7053	0,8764	0,8866	0,7024
	5	0,5499	0,4869	0,7648	0,6341	0,7642	0,8805	0,693
	6	0,5873	0,637	0,812	0,7053	0,7513	0,766	0,4305

	Beamsteering	0,5850	0,6574	0,8318	0,6770	0,8116	0,8448	0,6200
STI	0,75	-0,0030	0,0258	0,1425	0,1496	0,2119	0,1205	0,1073

Showroom 4 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,6358	0,7476	0,8536	0,4426	0,6044	0,7411	0,8109
	1	0,5906	0,7507	0,8813	0,4828	0,6395	0,7006	0,8036
	2	0,8302	0,7269	0,813	0,5008	0,612	0,7002	0,7249
	3	0,737	0,6375	0,7812	0,5824	0,5351	0,6809	0,6528
	4	0,3384	0,6728	0,816	0,5929	0,5361	0,7351	0,6011
	5	0,6739	0,5677	0,6958	0,5025	0,5911	0,7076	0,5138
	6	0,692	0,5835	0,6841	0,5024	0,5931	0,7122	0,517

Showroom 5 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,5938	0,7752	0,8499	0,461	0,6115	0,7265	0,8287
	1	0,5853	0,7448	0,8828	0,4872	0,6414	0,6916	0,7921
	2	0,6423	0,708	0,8344	0,5521	0,6082	0,6914	0,7129
	3	0,5734	0,6852	0,7984	0,6013	0,5699	0,6895	0,6397
	4	0,5157	0,6305	0,8153	0,599	0,5396	0,7568	0,5908
	5	0,5049	0,5271	0,7517	0,5214	0,5946	0,7139	0,5125
	6	0,6142	0,5788	0,8098	0,6047	0,6527	0,6913	0,4771

	IBeam, Reset	0,6091	0,6669	0,8048	0,5309	0,5949	0,7099	0,6556
STI	0,65	-0,0024	0,0276	0,1426	0,1175	0,1533	0,0942	0,1134

Shormoom 4 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	Oct. TI	0,6454	0,7837	0,8679	0,6229	0,7531	0,7864	0,5177
	Oct. TI	0,5749	0,7713	0,9058	0,6749	0,8091	0,8159	0,5024
	Oct. TI	0,6299	0,7568	0,8515	0,697	0,7937	0,8031	0,3771
	Oct. TI	0,5689	0,7046	0,8141	0,7221	0,7937	0,7425	0,3575
	Oct. TI	0,4287	0,7656	0,8093	0,7163	0,7936	0,6722	0,2769
	Oct. TI	0,4957	0,5602	0,7799	0,6145	0,7866	0,6976	0,2392
	Oct. TI	0,4456	0,7451	0,8162	0,6875	0,7479	0,7363	0,2456

Showroom 5 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	Oct. TI	0,6509	0,7986	0,8689	0,6244	0,756	0,8007	0,5416
	Oct. TI	0,5875	0,7703	0,903	0,6652	0,8203	0,8238	0,5309
	Oct. TI	0,5649	0,7426	0,8732	0,6954	0,7854	0,8197	0,3782
	Oct. TI	0,5741	0,7378	0,8219	0,7546	0,8247	0,7582	0,3881
	Oct. TI	0,5217	0,7272	0,8091	0,724	0,7422	0,7246	0,3058
	Oct. TI	0,5175	0,5233	0,7625	0,6378	0,782	0,6663	0,1965
	Oct. TI	0,4503	0,7059	0,7971	0,7006	0,7459	0,7199	0,2987

	L16j + L8i	0,5469	0,7209	0,8343	0,6812	0,7810	0,7548	0,3683
STI	0,71	-0,0069	0,0311	0,1429	0,1507	0,2052	0,1190	0,0637

MIT Auswertung Versuchsreihe 3

Hall 1 Beam	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,5297	0,5452	0,7134	0,6036	0,7403	0,8914	0,7381
	1	0,5408	0,5535	0,7369	0,5233	0,7274	0,859	0,6696
	2	0,4803	0,5956	0,6834	0,5005	0,6683	0,8163	0,6854
	3	0,3661	0,6017	0,7098	0,5356	0,7071	0,822	0,6308
	4	0,4121	0,5319	0,6564	0,5277	0,653	0,7901	0,6582
	5	0,4125	0,5789	0,655	0,5818	0,6787	0,7715	0,5699
	6	0,7975	0,5248	0,6048	0,5662	0,656	0,7281	0,5023
	7	0,6195	0,5965	0,5766	0,5849	0,6403	0,6967	0,449

Hall 2 Beam	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,506	0,551	0,7133	0,6031	0,7336	0,9015	0,7409
	1	0,5959	0,5237	0,7359	0,5415	0,7392	0,864	0,6729
	2	0,6044	0,4946	0,6727	0,4714	0,6571	0,8342	0,6844
	3	0,4279	0,6198	0,7004	0,5536	0,7069	0,8275	0,6358
	4	0,5061	0,57	0,6493	0,5294	0,6525	0,7843	0,6433
	5	0,4051	0,5782	0,6682	0,5879	0,69	0,7664	0,5653
	6	0,5541	0,6116	0,648	0,5774	0,6757	0,7197	0,5015
	7	0,6451	0,586	0,5813	0,5773	0,6248	0,6991	0,4397

STIPA	Beamsteering 0,65	0,5252	0,5664	0,6691	0,5541	0,6844	0,7982	0,6117
-------	----------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Hall 1 Reset	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,4823	0,5455	0,6989	0,5583	0,5468	0,7047	0,6806
	1	0,7901	0,627	0,7164	0,4605	0,5237	0,6821	0,579
	2	0,6438	0,3848	0,6573	0,4165	0,5164	0,6687	0,549
	3	0,4153	0,5918	0,6958	0,5225	0,5767	0,6943	0,5025
	4	0,3627	0,5609	0,6164	0,4947	0,5575	0,6778	0,5596
	5	0,4958	0,5456	0,6569	0,5606	0,5958	0,6912	0,5353
	6	0,5722	0,612	0,6514	0,5538	0,618	0,6645	0,5468
	7	0,6465	0,57	0,5842	0,5532	0,6568	0,687	0,5957

Hall 2 Reset	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,5136	0,5638	0,6921	0,5622	0,5378	0,7046	0,6777
	1	0,3543	0,5537	0,7135	0,4961	0,5274	0,6773	0,5667
	2	0,5967	0,4609	0,6697	0,4531	0,5202	0,6806	0,5396
	3	0,4697	0,6226	0,6954	0,5327	0,5803	0,7011	0,496
	4	0,385	0,5649	0,617	0,4907	0,5492	0,6725	0,5514
	5	0,7588	0,5403	0,6289	0,5363	0,5943	0,693	0,5427
	6	0,7678	0,5312	0,6101	0,5288	0,6179	0,6507	0,5509
	7	0,6364	0,5602	0,5821	0,5522	0,6529	0,7063	0,5852

	IBeam, Reset 0,59	0,5557	0,5522	0,6554	0,5170	0,5732	0,6848	0,5662
--	----------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Hall 1 Array	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,5354	0,5825	0,7347	0,6114	0,6556	0,7575	0,4409
	1	0,5041	0,5661	0,7294	0,5051	0,7186	0,7178	0,3691
	2	0,4758	0,6192	0,6537	0,5221	0,6578	0,7399	0,4112
	3	0,4616	0,6312	0,7015	0,5313	0,6947	0,7403	0,3265
	4	0,4758	0,5699	0,6281	0,5198	0,6583	0,7605	0,3633
	5	0,417	0,5671	0,6682	0,5484	0,69	0,7301	0,366
	6	0,4139	0,6279	0,6741	0,5739	0,6825	0,7347	0,3954
	7	0,501	0,6027	0,6296	0,6082	0,6593	0,7677	0,4123

Hall 2 Array	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,5519	0,5678	0,7174	0,5777	0,6673	0,7312	0,4399
	1	0,446	0,561	0,7288	0,5099	0,7056	0,6957	0,3759
	2	0,4645	0,6213	0,6538	0,5218	0,6729	0,7376	0,3982
	3	0,4494	0,6343	0,7027	0,535	0,6941	0,7399	0,362
	4	0,4679	0,5618	0,6216	0,5121	0,6694	0,7667	0,3885
	5	0,5564	0,5368	0,6706	0,5454	0,6824	0,7155	0,369
	6	0,5656	0,6035	0,6751	0,5687	0,6633	0,7423	0,4047
	7	0,5317	0,6102	0,6056	0,5946	0,6666	0,7665	0,4001

	L16j	0,4886	0,5915	0,6747	0,5491	0,6774	0,7402	0,3889
--	------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

MIT Auswertung Versuchsreihe 4

Frei 1 Beam	Messpunkt/ Oktavband	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	0	0,659	0,8078	0,8433	0,6648	0,7687	0,6174	0,7949
	1	0,8121	0,801	0,8873	0,7898	0,9408	0,7207	0,7488
	2	0,7226	0,854	0,7957	0,8757	0,9537	0,9745	0,7916
	3	0,7353	0,8747	0,8643	0,8753	0,9265	0,7663	0,5304
	4	0,6914	0,8709	0,877	0,7116	0,8801	0,6852	0,5169

Frei 2 Beam	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,6721	0,8104	0,8469	0,666	0,7886	0,8155	0,7683
	1	0,7128	0,7745	0,8816	0,7883	0,9376	0,9817	0,8427
	2	0,7301	0,8486	0,7937	0,8819	0,9519	0,78	0,6299
	3	0,6602	0,7446	0,8207	0,75	0,9437	0,7999	0,5393
	4	0,783	0,8707	0,8827	0,7137	0,8506	0,6057	0,397

Frei 3 Beam	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,5131	0,786	0,8417	0,6627	0,7725	0,7802	0,7238
	1	0,7037	0,606	0,855	0,7814	0,9388	0,7035	0,8177
	2	0,676	0,8115	0,7871	0,8823	0,9241	0,8508	0,7021
	3	0,6876	0,8739	0,8741	0,7862	0,9218	0,7615	0,5483
	4	0,4957	0,8363	0,8739	0,6557	0,902	0,7376	0,3951

STI	Beamsteering 0,80							
		0,6836	0,8114	0,8483	0,7657	0,8934	0,7720	0,6498
Frei 1 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,7026	0,8197	0,8086	0,6285	0,7189	0,6792	0,7797
	1	0,7772	0,8047	0,8415	0,6401	0,6531	0,3867	0,3838
	2	0,7	0,7591	0,7039	0,65	0,6982	0,774	0,5375
	3	0,7824	0,8913	0,8415	0,7055	0,688	0,4403	0,4115
	4	0,4614	0,8019	0,8144	0,647	0,6844	0,3994	0,2166

Frei 2 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,6948	0,8279	0,798	0,62	0,7298	0,5899	0,7702
	1	0,762	0,8116	0,8383	0,6358	0,6859	0,5907	0,4167
	2	0,7517	0,8823	0,7798	0,676	0,6752	0,6368	0,3873
	3	0,7547	0,8912	0,8367	0,7018	0,7035	0,6825	0,4571
	4	0,4686	0,782	0,796	0,6454	0,7426	0,5059	0,3511

Frei 3 Reset	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,7045	0,8275	0,8069	0,6207	0,7129	0,8134	0,8553
	1	0,7219	0,7777	0,8629	0,7009	0,647	0,4181	0,2628
	2	0,7477	0,6887	0,6686	0,637	0,7061	0,4627	0,4502
	3	0,6832	0,8612	0,8193	0,7033	0,7098	0,3101	0,2083
	4	0,6517	0,8662	0,8668	0,6467	0,6797	0,5364	0,2771

STI	IBeam, Reset 0,66							
		0,6910	0,8195	0,8055	0,6572	0,6957	0,5484	0,4510

Frei 1 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,5974	0,7919	0,919	0,7408	0,8026	0,76	0,5281
	1	0,7689	0,8313	0,8747	0,8276	0,7698	0,6152	0,2292
	2	0,6528	0,8847	0,8607	0,7518	0,9011	0,7134	0,3575
	3	0,7837	0,6562	0,7987	0,6852	0,8461	0,6087	0,0572
	4	0,6517	0,874	0,9137	0,6663	0,886	0,4854	0,0001

Frei 2 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,724	0,7522	0,9018	0,7279	0,8337	0,8528	0,6028
	1	0,753	0,8549	0,8648	0,9231	0,9519	0,5451	0,4008
	2	0,688	0,8816	0,8458	0,8706	0,9427	0,8197	0,4961
	3	0,8477	0,6424	0,7252	0,7029	0,7035	0,5735	0
	4	0,5776	0,7215	0,8327	0,5996	0,8388	0,3109	0

Frei 3 Array	Messpunkt/ Oktavband							
	0	0,5997	0,8029	0,9171	0,7504	0,8649	0,7545	0,5735
	1	0,5964	0,7603	0,8517	0,8791	0,8541	0,7253	0,321
	2	0,7081	0,7529	0,8187	0,8325	0,8918	0,7249	0,4234
	3	0,8626	0,832	0,6891	0,5479	0,771	0,5742	0,0028
	4	0,7051	0,8736	0,9058	0,6449	0,7956	0,3096	0

STI	L16j + L8i 0,71							
		0,7011	0,7942	0,8480	0,7434	0,8436	0,6249	0,2662

Anhang C: Signalpegel und Noise- Pegel in dB(A) und Messbedingungen

Versuchsreihe 1	Messpunkt		0	1	2	3	4	5	6	7
STIPA_Showroom_1_BEAM	Beamsteering	STIPA	0,82	0,82	0,83	0,83	0,84	0,87	0,86	0,81
		Sig lvl	68,5	67,44	67,74	67,41	67,19	66,97	65,74	64,21
		Noise lvl	35,18	35,48	35,62	37,63	37,94	36,81	36,91	35,01
		SNR	33,32	31,96	32,12	29,78	29,25	30,16	28,83	29,2
STIPA_Showroom_2_Beam	Beamsteering	STIPA	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86	0,86	0,82	0,78
		Sig lvl	67,79	67,67	67,63	66,56	66,6	65,88	64,74	63,17
		Noise lvl	35,02	34,98	36,77	35,41	35,17	35,43	36,02	36,49
		SNR	32,77	32,69	30,86	31,15	31,43	30,45	28,72	26,68
STIPA_Showroom_1_Reset	Reset	STIPA	0,7	0,69	0,69	0,68	0,67	0,69	0,67	0,64
		Sig lvl	62,38	62,26	61,7	61,93	61,88	61,86	60,84	60,45
		Noise lvl	36,23	35,99	35,38	42,12	40,19	35,55	36,49	36,3
		SNR	26,15	26,27	26,32	19,81	21,69	26,31	24,35	24,15
STIPA_Showroom_2_Reset	Reset	STIPA	0,68	0,68	0,66	0,68	0,68	0,68	0,67	0,65
		Sig lvl	62,51	62,69	62,12	61,61	62,22	62,89	61,76	61,29
		Noise lvl	36,44	35,34	39,58	35,4	36,84	37,67	37,51	36,44
		SNR	26,07	27,35	22,54	26,21	25,38	25,22	24,25	24,85
STIPA_Showroom_1_Array	L 16j + L8i	STIPA	0,73	0,72	0,72	0,71	0,7	0,7	0,68	0,72
		Sig lvl	66,86	66,67	66,65	66,54	65,94	66,6	65,01	64,8
		Noise lvl	35,11	37,26	36,48	37,23	37,02	41,42	36,29	36,65
		SNR	31,75	29,41	30,17	29,31	28,92	25,18	28,72	28,15
STIPA_Showroom_2_Array	L 16j + L8i	STIPA	0,73	0,74	0,72	0,73	0,7	0,74	0,71	0,72
		Sig lvl	68,71	69,07	69,11	68,82	67,54	68,09	67,42	66,48
		Noise lvl	36,89	38,78	35,63	37	43,67	38,7	36,46	39,89
		SNR	31,82	30,29	33,48	31,82	23,87	29,39	30,96	26,59
Wiederholungsmessungen		STIPA						0,72	0,82	
		Sig lvl						64,42	63,44	
		Noise lvl						35,7	35,37	
		SNR						28,72	28,07	

Versuchsreihe 2	Messpunkte		0	1	2	3	4	5	6	
STIPA_Showroom_4_Beam	Beamsteering 1	STIPA	0,73	0,74	0,77	0,50	0,76	0,73	0,70	
		Sig	66,38	66,75	65,65	63,96	62,43	59,72	60,64	
		Noise	35,89	35,68	35,76	36,88	36,97	37,68	35,33	
		SNR	30,49	31,07	29,89	27,08	25,46	22,04	25,31	
STIPA_Showroom_5_Beam	Beamsteering 2	STIPA	0,74	0,76	0,79	0,82	0,79	0,73	0,70	
		Sig	68,07	68,91	68,04	66,08	64,57	61,78	63,06	
		Noise	34,88	34,97	35,49	35,01	37,36	35,85	36,21	
		SNR	33,19	33,94	32,55	31,07	27,21	25,93	26,85	
STIPA_Showroom_4_Reset	IBeam, Reset 1	STIPA	0,67	0,68	0,67	0,63	0,63	0,60	0,60	
		Sig	65,67	65,97	64,10	62,93	62,19	59,86	59,94	
		Noise	35,30	35,25	36,37	35,07	35,79	35,19	35,46	
		SNR	30,37	30,72	27,73	27,86	26,40	24,67	24,48	
STIPA_Showroom_5_Reset	IBeam, Reset 2	STIPA	0,67	0,68	0,67	0,65	0,64	0,61	0,65	
		Sig	64,85	65,59	63,34	62,48	62,08	59,43	60,88	
		Noise	35,19	35,02	35,08	35,45	35,14	35,14	35,18	
		SNR	29,66	30,57	28,26	27,03	26,94	24,29	25,70	
STIPA_Showroom_4_Array	L16j + L8i 1	STIPA	0,72	0,75	0,73	0,71	0,69	0,65	0,68	
		Sig	67,44	68,12	65,94	64,05	62,98	60,00	61,10	
		Noise	37,06	37,37	36,00	35,17	35,14	34,97	35,46	
		SNR	30,38	30,75	29,94	28,88	27,84	25,03	25,64	
STIPA_Showroom_5_Array	L16j + L8i 2	STIPA	0,73	0,76	0,73	0,73	0,69	0,64	0,68	
		Sig	68,20	68,69	66,29	65,49	63,98	60,24	61,63	
		Noise	35,21	35,24	35,36	35,60	35,34	36,49	35,27	
		SNR	32,99	33,45	30,93	29,89	28,64	23,75	26,36	
	WDH	STIPA				0,82		0,63		
Sig					66,24		59,26			
Noise					36,09		35,19			
SNR					30,15		24,07			
Versuchsreihe 3	Messpunkte		0	1	2	3	4	5	6	7
STIPA_Hall_1_BEAM	Beamsteering 1	STIPA	0,72	0,69	0,65	0,67	0,64	0,64	0,62	0,6
		SIG	66,28	65,96	64,62	64,8	63,64	64,59	64,26	63,9
		NOISE	34,96	34,99	35,07	34,97	35	35,64	35	35,11
		SNR	31,32	30,97	29,55	29,83	28,64	28,95	29,26	28,79
STIPA_Hall_2_BEAM	Beamsteering 2	STIPA	0,71	0,7	0,65	0,67	0,64	0,65	0,63	0,6
		SIG	66,13	65,72	64,61	64,88	63,63	64,71	64,39	63,63
		NOISE	34,97	35,04	35,09	35,09	35,06	35,54	35,45	35,09
		SNR	31,16	30,68	29,52	29,79	28,57	29,17	28,94	28,54
STIPA_Hall_1_Reset	IBeam, Reset 1	STIPA	0,61	0,59	0,55	0,59	0,57	0,6	0,61	0,62
		SIG	63,25	62,85	61,51	62,36	61,03	62,33	62,25	62,21
		NOISE	34,98	35	35,27	35,1	34,95	35,08	34,99	35,01
		SNR	28,27	27,85	26,24	27,26	26,08	27,25	27,26	27,2
STIPA_Hall_2_Reset	IBeam, Reset 2	STIPA	0,61	0,57	0,56	0,6	0,56	0,6	0,6	0,62
		SIG	63,35	62,62	61,96	62,33	61,03	62,38	62,13	61,93
		NOISE	34,96	35	35,32	35,07	34,93	35,02	34,98	35,02
		SNR	28,39	27,62	26,64	27,26	26,1	27,36	27,15	26,91
STIPA_Hall_1_Array	L16j 1	STIPA	0,64	0,62	0,61	0,62	0,6	0,61	0,62	0,62
		SIG	66,02	65,25	63,52	64,42	63	63,83	64,09	63,37
		NOISE	35,76	36,1	35,93	35,4	35,23	35,33	35,27	35,5
		SNR	30,26	29,15	27,59	29,02	27,77	28,5	28,82	27,87
STIPA_Hall_2_Array	L16j 2	STIPA	0,63	0,61	0,61	0,62	0,6	0,61	0,62	0,62
		SIG	65,71	65,11	63,61	64,52	62,84	63,59	64,17	63,54
		NOISE	36,48	35,65	35,53	35,34	35,36	35,38	35,25	35,36
		SNR	29,23	29,46	28,08	29,18	27,48	28,21	28,92	28,18

Veruchsreihe 4		Messpunkt	Messpunkt	Messpunkt	Messpunkt	Messpunkt
		10m	20m	30m	40m	50m
Beamsteering 1						
	STIPA	0,74	0,83	0,88	0,82	0,76
	Beamsteering 1	72,93	71,09	68,42	67,1	65,12
	NOISE	51,67	49,32	40,61	45,26	42,17
	SNR	21,26	21,77	27,81	21,84	22,95
Beamsteering 2						
	STIPA	0,77	0,88	0,83	0,79	0,73
	Beamsteering 2	72,9	71,2	68,34	67,45	65,04
	NOISE	51,97	48,76	44,26	40,42	42,87
	SNR	20,93	22,44	24,08	27,03	22,17
Beamsteering 3						
	STIPA	0,75	0,82	0,84	0,81	0,75
	Beamsteering 3	72,73	71,26	68,69	67,84	65,48
	NOISE	49,07	46,73	43,82	42,85	39,37
	SNR	23,66	24,53	24,87	24,99	26,11
IBeam, Reset 1						
	STIPA	0,72	0,62	0,69	0,66	0,6
	IBeam, Reset 1	72,55	69,29	67,52	65,8	64,73
	NOISE	42,09	48,76	44,85	37,1	44,41
	SNR	30,46	20,53	22,67	28,7	20,32
IBeam, Reset 2						
	STIPA	0,71	0,66	0,66	0,7	0,64
	IBeam, Reset 2	72,89	69,4	67,68	66,11	64,37
	NOISE	48,53	41,62	40,15	37,61	37,25
	SNR	24,36	27,78	27,53	28,5	27,12
IBeam, Reset 3						
	STIPA	0,75	0,62	0,64	0,61	0,64
	IBeam, Reset 3	72,68	69,11	67,33	66,56	64,79
	NOISE	37,6	41,86	41,93	39,95	40,39
	SNR	35,08	27,25	25,4	26,61	24,4
L16j + L8i 1						
	STIPA	0,76	0,71	0,76	0,68	0,69
	L16j + L8i 1	72,05	68,17	65,87	64,78	61,03
	NOISE	40,31	42,86	41,7	41,92	41,65
	SNR	31,74	25,31	24,17	22,86	19,38
L16j + L8i 2						
	STIPA	0,79	0,79	0,83	0,63	0,61
	L16j + L8i 2	71,94	68,09	65,56	64,54	61,35
	NOISE	38,11	43,92	39,35	47,99	41,41
	SNR	33,83	24,17	26,21	16,55	19,94
L16j + L8i 3						
	STIPA	0,79	0,76	0,77	0,62	0,63
	L16j + L8i 3	71,83	68,5	65,4	64,48	61,8
	NOISE	40,34	40,67	38,73	42,36	42,56
	SNR	31,49	27,83	26,67	22,12	19,24

Datum	Messung	Easy Beam Configuration					Beam Configuration					Auto EQ					Testsignal				
		Type	Speaker Height	Speaker Gain	Begin	End	Ear Height	SPL Distribution	Mute Ceiling	Mute Floor	Mute Wall	HP Freq	HP Character	HP Order	LP Freq	LP Character	LP Order	Slope	Type	Cutoff	Sig LV_L, MP 0
10.03.2021	STIPA_Showroom_1_Beam	Master+2*Slave	1,4m	20dB	4m	10m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,96dBV(A)
10.03.2021	STIPA_Showroom_1_Reset	Master+2*Slave	1,4m	20dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,57dBV(A)
10.03.2021	STIPA_Showroom_1_Array	L16j + L8i	1,6m					[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	(-69,72dBV(A)
18.03.2021	STIPA_Showroom_2_Beam	Master+2*Slave	1,4m	0dB	4m	10m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,27dBV(A)
18.03.2021	STIPA_Showroom_2_Reset	Master+2*Slave	1,4m									150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,56dBV(A)
11.03.2021	STIPA_Showroom_2_Array	L16j + L8i	1,6m					[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	(-70,20dBV(A)
18.03.2021	STIPA_Showroom_4_Beam	Master+2*Slave	1,4m	0dB	5m	25m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,83dBV(A)
18.03.2021	STIPA_Showroom_4_Reset	Master+2*Slave	1,4m	0dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,49dBV(A)
18.03.2021	STIPA_Showroom_4_Array	L16j + L8i	1,6m																Male Speech	20Hz	(-70,26dBV(A)
19.03.2021	STIPA_Showroom_5_Beam	Master+2*Slave	1,4m	0dB	5m	25m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,34dBV(A)
19.03.2021	STIPA_Showroom_5_Reset	Master+2*Slave	1,4m	0dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,68dBV(A)
19.03.2021	STIPA_Showroom_5_Array	L16j + L8i	1,6m																Male Speech	20Hz	(-71,08dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Beam	Master+Slave	1,03m	10dB	7m	14m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,00dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Reset	Master+Slave	1,03m	10dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,14dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Array	L16j	1,43m					[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	(-70,40dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Beam	Master+Slave	1,03m	10dB	7m	14m	1,2m	[0]dB	X	X	X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,03dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Reset	Master+Slave	1,03m	10dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	(-70,06dBV(A)
22.03.2021	STIPA_Hall_1_Array	L16j	1,43m					[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	(-70,34dBV(A)
25.03.2021	STIPA_Frei_1_Beam	Master+2*Slave	2m	20dB	10m	50m	1,2m	[0]dB		X		150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,75dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_1_Reset	Master+2*Slave	2m	20dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	(-12,3dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,51dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_1_Array	L16j + L8i						[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	75,27dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_2_Beam	Master+2*Slave	2m	20dB	10m	50m	1,2m	[0]dB			X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,75dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_2_Reset	Master+2*Slave	2m	20dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	(-12,3dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,51dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_2_Array	L16j + L8i						[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	75,27dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_3_Beam	Master+2*Slave	2m	20dB	10m	50m	1,2m	[0]dB			X	150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	0.6dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,75dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_3_Reset	Master+2*Slave	2m	20dB								150Hz	Butterworth	24dB/Oct	18kHz	Butterworth	24dB/Oct	(-12,3dB/Oct	Male Speech	20Hz	75,51dBA
25.03.2021	STIPA_Frei_3_Array	L16j + L8i						[3]dB(Array)											Male Speech	20Hz	75,27dBA

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich meine Arbeit selbstständig verfasst, keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die Arbeit noch nicht anderweitig für Prüfungszwecke vorgelegt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Mittweida, 23. April 2021