



Bachelorarbeit

Untersuchungen zur Wiedergabequalität von Soundbars mithilfe der Evaluationsmethodik MS-IPM

vorgelegt von

Sebastian Wakan

Matrikelnummer: 28144

am 30. November 2017

Hochschule der Medien Stuttgart

Fakultät Electronic Media

Studiengang Audiovisuelle Medien

zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Engineering

Erstprüfer: Prof. Oliver Curdt, HdM

Zweitprüferin: Theresa Liebl, IRT



Eidesstattliche Erklärung

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

Ich habe die Bedeutung der ehrenwörtlichen Versicherung und die prüfungsrechtlichen Folgen (§24 Abs. 2 Bachelor-SPO (7 Semester) der HdM) einer unrichtigen oder unvollständigen ehrenwörtlichen Versicherung zur Kenntnis genommen.

Ort, Datum

Sebastian Wakan

Abstract

In recent years, the popularity of soundbars in home entertainment has been rising. These compact audio reproduction systems combine multiple loudspeakers in one box and are often advertised as being able to reproduce true surround sound. This leads to the question how far soundbars can optimize TV sound in comparison to conventional TV sets and if soundbars are a suitable alternative to discrete multichannel audio systems.

This paper presents a subjective comparison of eight soundbars, one TV set and one discrete multichannel audio system. Listening tests for typical 5.1- and stereo-content were carried out according to the guidelines of the new evaluation method MS-IPM. The obtained knowledge about soundbars and the MS-IPM method are presented.

Kurzfassung

Soundbars erfreuen sich seit einigen Jahren im Home-Entertainment-Bereich steigender Beliebtheit. Diese kompakten Wiedergabegeräte, die mehrere Lautsprecher in einem Gehäuse vereinen, werden häufig damit beworben, dem Konsumenten echten Surround-Sound bieten zu können. Dabei stellt sich die Frage, inwiefern Soundbars die Wiedergabe des Fernsehtons im Vergleich zu herkömmlichen TV-Geräten verbessern und ob sie eine brauchbare Alternative zu diskreten Mehrkanalton-Wiedergabesystemen darstellen.

In mehreren Hörversuchen wurde mithilfe der neuen subjektiven Evaluationsmethodik MS-IPM die Wiedergabequalität von acht Soundbars, einem TV-Gerät und einem diskreten Mehrkanalsystem anhand von typischem 5.1- und Stereo-Content verglichen. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse über Soundbars und die neue Evaluationsmethodik werden in der Untersuchung anschaulich erläutert.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	II
Abstract	III
Inhaltsverzeichnis	IV
Abbildungsverzeichnis	VI
Tabellenverzeichnis	IX
Abkürzungsverzeichnis	X
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 5.1-System – Funktionsweise	3
2.2 Soundbar Technologien	4
2.2.1 Beamforming.....	5
2.2.2 Virtual Surround (Crosstalk Cancellation).....	8
2.3 Bisherige Untersuchungen.....	9
2.3.1 Sprachverständlichkeit von Soundbars bei 3.0 Wiedergabe	9
2.3.2 Vergleich von diskretem Surround-Sound und Soundbar-Technologien	10
2.3.3 Räumliche Audioqualität mit Bezug auf 3D Video	11
3 Evaluation	13
3.1 Methodik.....	13
3.1.1 Vergleich etablierter Evaluationsmethoden	13
3.1.2 Multiple Stimulus Ideal Profile Method (MS-IPM).....	15
3.2 Versuchsplanung	18
3.2.1 Wiedergabesysteme.....	18
3.2.2 Testsequenzen	22
3.2.3 Probanden.....	25
3.2.4 Attributauswahl	26
3.2.5 Versuchsaufbau	27

3.2.6	Evaluationssoftware	35
3.2.7	Ablauf Hörversuch	35
3.3	Versuchsauswertung	39
3.3.1	Experiment A: 5.1-Wiedergabe.....	41
3.3.2	Experiment B: Stereo-Wiedergabe.....	53
3.3.3	Vergleich 5.1- und Stereo-Wiedergabe	63
3.4	Erfahrungen mit MS-IPM.....	64
3.5	Benutzerfreundlichkeit der Soundbars	65
4	Fazit.....	68
	Literaturverzeichnis.....	VIII
	Anhang	XI

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Positionierung der Referenzlautsprecher (L, R, C, L _s und R _s) eines 5.1-Systems (inklusive möglicher Positionen eines Bildschirms)	3
Abbildung 2: Soundbar (LG SJ8) und Sounddeck (Bose Solo 15 Series II)	4
Abbildung 3: Reflektion von Schallstrahlen über Wände zum Zuhörer	6
Abbildung 4: Die Chassis (1, 2, ..., N-1, N) produzieren zwei Schallstrahlen (wavefront A/B); Für die Wiedergabe von Wellenfront B erfolgt die Wiedergabe des Signals durch die Chassis N-1 bis 1 gestaffelt zeitverzögert (Delays)	7
Abbildung 5: 7.1.2-Wiedergabe mithilfe von Beamforming	7
Abbildung 6: Crosstalk Cancellation	9
Abbildung 7: Walton et al. - Mittelwerte der Präferenzbewertungen und 95%-Konfidenzintervalle für jedes Wiedergabesystem nach Genre der Testsequenzen, gemittelt über alle Probanden („ds“ = 5.0-System, „dm“ = Stereo-System, „s1“ = Soundbar 1, „s2“ = Soundbar 2)	11
Abbildung 8: Moulin et al. - Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle für das Attribut „Sound Spatialization“ (Räumlichkeit des Klangs) für drei Wiedergabesysteme und 15 Testsequenzen	12
Abbildung 9: Typisches Userinterface eines MS-IPM-Hörversuchs (A–F: Stimuli, abhängige Variable: Overall subjective quality)	16
Abbildung 10: Alter der Probanden für die 5.1- und Stereo-Untersuchung	26
Abbildung 11: Foto des Versuchsaufbaus im Raum AU23 des IRT	28
Abbildung 12: Maßstabsgetreue Skizze des Versuchsraumes (Absorber/Diffusoren beige dargestellt; SW = Subwoofer)	29
Abbildung 13: Schematische Darstellung des Signalflusses (Audio In 1 = Signal der Testsequenz, Audio In 2 = No-Standby-Signal)	30
Abbildung 14: Raumimpulsantworten der Kanäle L, R, C, L _s und R _s	32
Abbildung 15: Regal zur Aufstellung der Wiedergabesysteme	33
Abbildung 16: Ablauf eines Hörversuchs nach den Richtlinien der MS-IPM	36
Abbildung 17: Continuous quality scale (CQS)	37
Abbildung 18: Nutzeroberfläche der Versuchssoftware – Bewertung der subjektiven Gesamtqualität	38
Abbildung 19: Nutzeroberfläche der Versuchssoftware – Bewertung des Attributs Basstärke und dessen Ideal Point	39

Abbildung 20: Subjektive Gesamtqualität der Wiedergabesysteme - 5.1	42
Abbildung 21: Umhüllung - 5.1	43
Abbildung 22: Natürlichkeit - 5.1	44
Abbildung 23: Bassstärke - 5.1	46
Abbildung 24: Detailliertheit - 5.1	47
Abbildung 25: Dosiger Klang (Canny) - 5.1	48
Abbildung 26: Ideal Profile - 5.1	49
Abbildung 27: Ideal Points - 5.1	49
Abbildung 28: Vektoren der Attribute im PCA-Raum - 5.1	51
Abbildung 29: PCA der Wiedergabesysteme mit Ideal Point (Korrelationsbiplot, Schwerpunkte der Beobachtungen, 50% Konfidenzellipsen, Vektoren der Attribut-Variablen) - 5.1	52
Abbildung 30: Subjektive Gesamtqualität der Wiedergabesysteme - Stereo.....	53
Abbildung 31: Breite - Stereo	54
Abbildung 32: Natürlichkeit - Stereo	55
Abbildung 33: Bassstärke - Stereo	56
Abbildung 34: Detailliertheit - Stereo	57
Abbildung 35: Dosiger Klang (Canny) – Stereo	58
Abbildung 36: Ideal Profile – Stereo.....	59
Abbildung 37: Ideal Points – Stereo	59
Abbildung 38: Vektoren der Attribute im PCA-Raum - Stereo.....	61
Abbildung 39: PCA der Wiedergabesysteme mit Ideal Point (Korrelationsbiplot, Schwerpunkte der Beobachtungen, 50% Konfidenzellipsen, Vektoren der Attribut-Variablen) - Stereo	62
Abbildung 40: Versuchsaufbau - ohne Sichtschutz	XIV
Abbildung 41: Versuchsaufbau - Subwoofer (Klein+Hummel O 818), AV-Receiver (Denon AVR-X4100W) und Symmetrierer (Tascam LA-80 MKII)	XIV
Abbildung 42: Versuchsaufbau - mit Sichtschutz.....	XV
Abbildung 43: Versuchsaufbau - mit Sichtschutz und Proband (im Vordergrund: L _s -Speaker)	XV
Abbildung 44: Messung der Nachhallzeit im Versuchsraum AU23 (T _m = 0,41 s).....	XVI
Abbildung 45: Messung des Grundgeräuschpegels im Versuchsraum AU23	XVI
Abbildung 46: Maßstabsgetreue Skizze des Versuchsraumes – Verlauf der Schallstrahlen (rot) der Soundbars Y16 und Y56 (Beamforming) im Versuchsraum (Die zwei Absorber (beige)	

am unteren Ende des Raumes befanden sich deutlich unterhalb der Wiedergabehöhe und stellten daher keine Hindernisse dar)	XVIII
Abbildung 47: Mittelwerte der subjektiven Gesamtqualität für die Positionen (1 (oben) – 4 (unten)) der Soundbars (5.1 Untersuchung)	XXI
Abbildung 48: Mittelwerte der subjektiven Gesamtqualität für die Positionen (1 (oben) – 4 (unten)) der Soundbars (Stereo Untersuchung)	XXI
Abbildung 49: ANOVA (standardisierte Koeffizienten) der subjektiven Gesamtqualität der unabhängigen Variablen (Condition, Filename, Subject) – 5.1-Wiedergabe.....	XXII
Abbildung 50: ANOVA (standardisierte Koeffizienten) der subjektiven Gesamtqualität der unabhängigen Variablen (Condition, Filename, Subject) – Stereo-Wiedergabe	XXIII

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der evaluierten Soundbars.....	19
Tabelle 2: Kombinationen an Soundbars	22
Tabelle 3: Testsequenzen - 5.1-Hörversuch	24
Tabelle 4: Testsequenzen - Stereo-Hörversuch.....	25
Tabelle 5: Liste der Attribute mit Beschreibung und Beschriftung der Skalen	27
Tabelle 6: Technische Daten der evaluierten Soundbars	67
Tabelle 7: Wiedergabehöhen der Soundbars für die evaluierten Kombinationen (K1–K8) XVII	
Tabelle 8: ANOVA der Attributbewertung (Zusammenfassung) – Stereo-Wiedergabe	XXII
Tabelle 9: ANOVA der Attributbewertung (Zusammenfassung) – Stereo-Wiedergabe ...	XXIII
Tabelle 10: Prüfung der Daten auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests – 5.1 und Stereo.....	XXIV

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	Analysis of Variance
BBC	British Broadcasting Corporation
EBU	European Broadcasting Union
HRTF	Head-Related Transfer Function
IRT	Institut für Rundfunktechnik
ITU	International Telecommunication Union
MS-IPM	Multiple Stimulus Ideal Profile Method
MUSHRA	Multi stimulus test with hidden reference and anchor
OPQ	Open Profiling of Quality

1 Einleitung

Fernsehgeräte werden immer flacher. Der Rahmen um das Bild wird immer schmaler. Doch für gute Lautsprecher ist im TV-Gerät dann meist kein Platz mehr. Das Ergebnis: Eine mangelhafte Audiowiedergabe und damit kein mitreißendes audiovisuelles Gesamterlebnis. Eine Lösung stellen externe, diskrete Mehrkanalsysteme dar, welche die gute Bildwiedergabe der Fernsehgeräte um eine gute Audiowiedergabe ergänzen. Doch nur wenige Konsumenten sind bereit, sich ein mehrteiliges Stereo-System oder gar ein ganzes 5.1-System mit Subwoofer ins Wohnzimmer zu stellen. Gründe hierfür sind Platzmangel, unzureichende Ästhetik, fehlendes Knowhow, der große Aufwand und die Unhandlichkeit der Geräte.¹ Auf ein immersives Heimkino-Erlebnis möchten viele Konsumenten dennoch nicht verzichten.

Eine mögliche Alternative zu diskreten Mehrkanalsystemen stellen sogenannte Soundbars dar. Es handelt sich hierbei um kompakte Wiedergabesysteme, die mehrere Lautsprecher in einem Gehäuse vereinen und oft damit beworben werden, auch ohne diskrete Positionierung von Lautsprechern ein eindrucksvolles Surround-Erlebnis bieten zu können.² Solche Geräte werden direkt unter, über oder vor dem Fernseher platziert. Sie sind in der Regel platzsparender und leichter zu installieren als diskrete Mehrkanalsysteme. Neben der Nutzung als Wiedergabesystem für audiovisuelle Inhalte wie Spielfilme, TV-Shows, Dokumentationen oder Sportübertragungen können Soundbars auch als Musikanlage verwendet werden. Sie bieten häufig die Möglichkeit, Audio-Content über Bluetooth oder WLAN mithilfe eines mobilen Gerätes wie z. B. einem Smartphone oder Tablet wiederzugeben.³

Soundbars erfreuen sich seit einigen Jahren im Home-Entertainment-Bereich immer größerer Beliebtheit.⁴ Mehr und mehr Hersteller bieten entsprechende Produkte in den verschiedensten Preisklassen am Markt an. Demnach wächst auch die Zahl der Zuschauer, welche den Ton des Fernsehprogramms mittels Soundbar konsumieren. Das Institut für Rundfunktechnik (IRT) interessiert sich für die Art der Wiedergabe von TV-Content beim Konsumenten, da dies Anforderungen an die Produktion, Verarbeitung und Übertragung des TV-Contents stellt.

In dieser Arbeit wird untersucht, inwiefern Soundbars eine brauchbare Alternative zu diskreten Lautsprechersystemen darstellen und inwiefern sie die Audiowiedergabe eines TV-Gerätes verbessern können. Es soll also geprüft werden, ob die Wiedergabequalität von Soundbars mit

¹ (Hooley, 2006, S. 1)

² (Focal, 2017), (Yamaha YSP-5600, 2017, S. 5), (Teufel, 2017)

³ (LG, 2017), (Samsung, 2017)

⁴ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016, S. 1)

der von diskreten Mehrkanalsystemen vergleichbar ist und ob Soundbars somit bei der Heimanwendung diskrete Stereo- und Surround-Systeme ersetzen können. Außerdem soll getestet werden, ob Soundbars eine bessere Wiedergabequalität als herkömmliche TV-Geräte bieten.

Hierfür werden Hörversuche durchgeführt, in denen die Stereo- und 5.1-Wiedergabequalität von acht Soundbars, einem diskreten Mehrkanalsystem und einem TV-Gerät verglichen werden.

Als Methodik zur Evaluation der Soundbars wird die Multiple Stimulus Ideal Profile Method (MS-IPM) verwendet, welche am besten zu den Anforderungen der Untersuchung passt. Sie ist für subjektive Bewertungen von neuartigen Audio-Systemen gedacht, bei denen keine echte Referenz vorhanden ist. Die MS-IPM befindet sich derzeit noch in der Entwicklung und soll letztendlich als Empfehlung der ITU veröffentlicht werden.

Die vorliegende Bachelorarbeit ist in vier Teile gegliedert. Nach der Einleitung werden in Kapitel 2 die technischen Grundlagen erklärt und bisherige Untersuchungen zur Wiedergabequalität von Soundbars vorgestellt. Kapitel 3 handelt von der eigentlichen Evaluation der Soundbars, den Hörversuchen, die im Rahmen dieser Bachelorarbeit am IRT durchgeführt wurden. Die verwendete Methodik wird genauer vorgestellt und die Planung, Durchführung und Auswertung des Versuchs dargestellt. Zum Schluss werden in Kapitel 4 die Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengefasst. Es wird ein Fazit gezogen und ein Ausblick auf mögliche weiterführende Untersuchungen zum Thema gegeben.

2 Grundlagen

2.1 5.1-System – Funktionsweise

Surround-Sound ist für den Heimnutzer seit den frühen 1990er Jahren verfügbar. Konsumenten lernten die Vorteile von Surround-Sound im Kino kennen und begrüßten die Möglichkeit, dieses Erlebnis auch im Home-Entertainment-Bereich nutzen zu können.⁵

Das Lautsprechersetup, welches für die Wiedergabe von Surround-Sound im 5.1-Format im Heimbereich entwickelt und standardisiert wurde, ist das 5.1-System.⁶ Das Setup besteht aus 5 Abhörmonitoren für die Kanäle L, R, C, L_s und R_s, welche im gleichen Abstand zum Zuhörer platziert werden, und einem optionalen Subwoofer. Die genaue Aufstellung der Lautsprecher ist in Abbildung 1 dargestellt. Der Center-Kanal (C) ist mittig vor dem Zuhörer und in dessen Blickrichtung positioniert. Der linke und rechte Kanal (L und R) befinden sich jeweils 30° links bzw. rechts von der Blickachse des Zuhörers. Die Positionen der Surround-Kanäle (L_s und R_s) sind um einen Winkel von 100–120° links und rechts zur Blickachse verschoben.

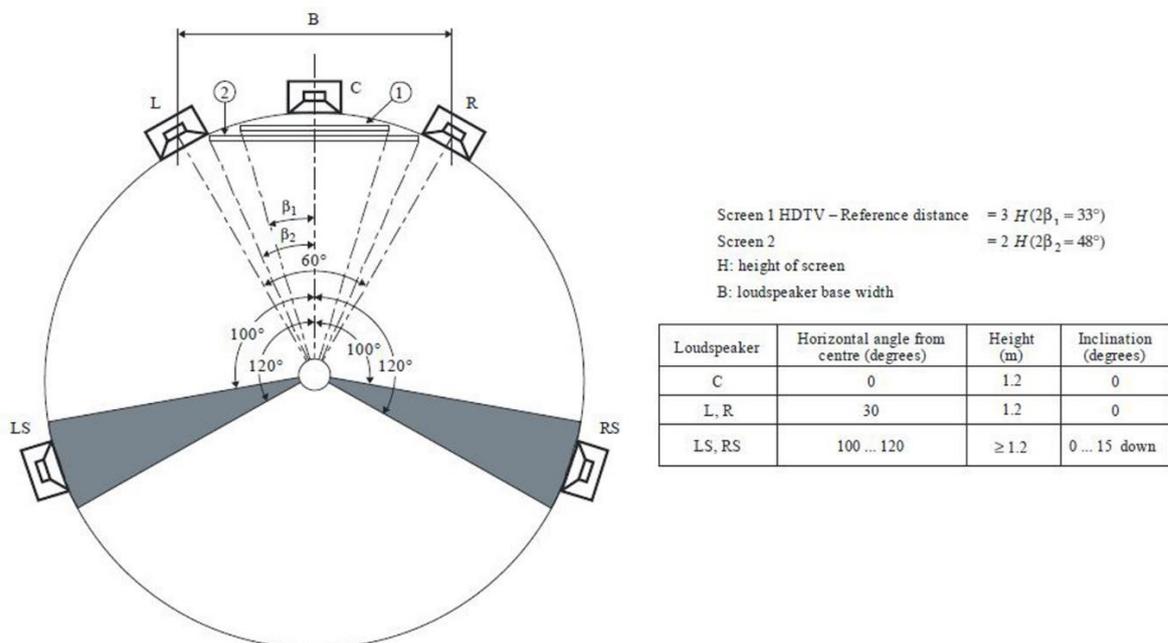


Abbildung 1: Positionierung der Referenzlautsprecher (L, R, C, L_s und R_s) eines 5.1-Systems (inklusive möglicher Positionen eines Bildschirms)⁷

Da es mithilfe von Stereophonie möglich ist, durch Lautzeit- und Pegelunterschiede zwischen den einzelnen Lautsprechern des Systems Phantomschallquellen zu erzeugen, kann ein

⁵ (Rumsey, 2001)

⁶ (ITU-R BS.775-3, 2012)

⁷ (ITU-R BS.775-3, 2012, S. 4)

Klangbild wiedergegeben werden, welches den Zuhörer umhüllt und für eine größere Immersion sorgt.

Professionelle 5.1-Systeme werden für die Mischung von Content im 5.1-Format verwendet und dienen daher als Referenzsystem für dieses Wiedergabeformat.

2.2 Soundbar Technologien

Eine Soundbar ist ein Audio-Wiedergabe-Gerät, welches vorwiegend in Kombination mit einem TV-Gerät zur Wiedergabe von audiovisuellen Inhalten dient. Bei der Bauweise der Systeme wird grob zwischen zwei Typen – Soundbars und Sounddecks – unterschieden. Soundbars sind, wie der Name bereits vermuten lässt, schmale Klangriegel, welche in einem Regal unter, an der Wand über oder direkt vor einem TV-Gerät platziert werden. Sounddecks sind dagegen voluminöser, da sie deutlich tiefer gebaut sind. (Siehe Abbildung 2) Sie benötigen mehr Platz und sind unhandlicher als die schmalen Soundbars. Allerdings bieten sie das nötige Volumen für die Wiedergabe von tiefen Frequenzen. Sounddecks kommen daher meist ohne zusätzlichen Subwoofer aus, während die schmalen Soundbars fast immer mit einem zugehörigen Subwoofer angeboten werden. Sounddecks bieten eine große Oberfläche, sodass ein TV-Gerät direkt darauf platziert werden kann. Im Folgenden werden Soundbars und Sounddecks zusammen unter dem Begriff Soundbars zusammengefasst.



Abbildung 2: Soundbar (LG SJ8) und Sounddeck (Bose Solo 15 Series II)

Viele Soundbars aus dem unteren und mittleren Preissegment sind nur fähig zwei-kanaligen Stereo-Sound zu reproduzieren.⁸ Im mittleren und höheren Preissegment finden sich allerdings auch einige Soundbars, welche damit beworben werden, Surround-Sound wiedergeben zu können.⁹ Das macht diese Geräte zu einer möglichen Alternative für diskrete Mehrkanalsysteme.

⁸ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016, S. 1)

⁹ (Focal, 2017)

Die genauen Details zu den Technologien, welche von den Soundbars verwendet werden, um Surround-Sound wiederzugeben, werden von den Herstellern meistens nicht veröffentlicht und auch nicht in wissenschaftlicher Literatur diskutiert. Grundsätzlich kann man allerdings zwischen zwei gängigen Methoden zur Surround-Wiedergabe unterscheiden: Beamforming und Virtual Surround.

In den folgenden Abschnitten 2.2.1 und 2.2.2 wird erläutert wie es mithilfe dieser beiden Soundbar-Technologien möglich ist, mit nur einer Lautsprecherbox Surround-Sound wiederzugeben.

2.2.1 Beamforming

Eine Methode, um mithilfe einer Soundbar Surround-Sound wiedergeben zu können, ist das sogenannte Beamforming. Hierfür ist in dem Gehäuse einer Soundbar ein Array aus Lautsprechern verbaut. Dieses Array kann gleichzeitig mehrere unabhängig voneinander gerichtete und fokussierte Schallstrahlen produzieren.¹⁰ Da diese Schallstrahlen unterschiedliches Audio-Material enthalten können, ist es möglich den Inhalt der verschiedenen Kanäle einer Surround-Mischung (L, R, C, L_s, R_s) gezielt in verschiedene Richtungen wiederzugeben. Schallharte Wände im Raum werden genutzt, um die Schallstrahlen zu reflektieren und so beim Zuhörer eine Wahrnehmung der verschiedenen Kanäle aus unterschiedlichen Richtungen zu erreichen. (siehe Abbildung 3) Die Kanäle L und R werden beispielsweise über die Seitenwände reflektiert, um ein breiteres Stereobild zu erzeugen. Die Kanäle L_s und R_s dagegen können über die Seiten- und Rückwände reflektiert werden, um eine Wahrnehmung des Schalls von hinten zu erzielen.

Solche Arrays funktionieren nach den Prinzipien von phasengesteuerten Antennen, die für elektromagnetische Wellen eingesetzt werden. Das dort verwendete Prinzip wurde auf die Anwendung im Audio-Bereich übertragen und angepasst, da hier ein relativ großer Frequenzbereich abgedeckt werden muss. Die Methode Beamforming wurde im Bereich Audio sowohl mit Bezug auf die Wiedergabe, als auch die Aufnahme entwickelt und umgesetzt.¹¹

¹⁰ (Hooley, 2006)

¹¹ (Adel, Souad, Alaqeeli, & Hamid, 2012)

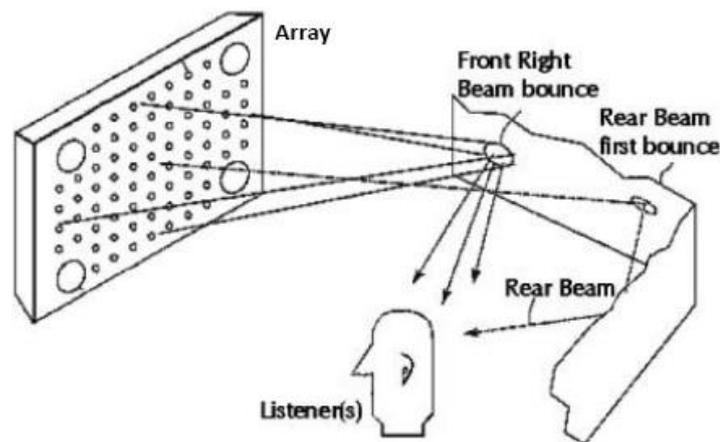


Abbildung 3: Reflexion von Schallstrahlen über Wände zum Zuhörer.¹²

Im Folgenden wird erklärt wie die gerichtete Wiedergabe von Schallstrahlen mithilfe eines Lautsprecher-Arrays funktioniert. Ein solches Array besteht aus einer Vielzahl an Lautsprechern (z. B. 200), welche jeweils einen großen Frequenzbereich (50 Hz – 20 kHz) abdecken. Ein einziges Chassis muss also den gesamten hörbaren Frequenzbereich abdecken, was mechanisch nachteilig ist. Bei anderen Lautsprechern wird dieses Problem in der Regel durch Mehrwegesysteme, also eine Aufteilung des Frequenzspektrums auf Tief-, Mittel- und Hochtöner, gelöst. Diese Aufteilung ist für die Konstruktion eines Beamforming-Arrays allerdings nicht möglich. Bei der Bauweise eines solchen Arrays gibt es außerdem folgenden Zwiespalt: Je kleiner die Chassis der einzelnen Lautsprecher, desto schlechter können tiefe Frequenzen wiedergegeben werden und desto geringer ist der Frequenzbereich, den diese abdecken. Je größer die Chassis jedoch sind, desto größer werden auch die Abstände zwischen den einzelnen Lautsprechern des Arrays. Je größer die Abstände, desto schlechter funktioniert die Beamforming-Technologie bei hohen Frequenzen.

Ein Digitaler Signalprozessor (DSP) erhält ein oder mehrere Audio-Input-Signale und berechnet für jedes Input-Signal eine eigene Version für jeden einzelnen Lautsprecher. Dabei passt er jeweils das Delay und die Amplitude des Signals um einen spezifischen Wert an. (siehe Abbildung 4) Diese Werte gehen aus einer Funktion hervor, welche die Positionen der Lautsprecher im Array berücksichtigt. Wenn von einem Lautsprecher mehrere Input-Signale wiedergegeben werden sollen, werden die zuvor speziell für den Lautsprecher berechneten Signale summiert und wiedergegeben. Wenn die Delays und Amplituden der Signale sinnvoll angepasst werden, können gerichtete Schallstrahlen erzeugt werden. Der jeweilige

¹² (Hooley, 2006, S. 2)

2.2.2 Virtual Surround (Crosstalk Cancellation)

Bei der häufig als Virtual Surround bezeichneten Methode werden die Grundlagen der Psychoakustik und die Funktionsweise des Richtungshörens des Menschen¹⁶ verwendet, um beim Zuhörer einen Surround-Eindruck zu erwecken. Im Prinzip werden dieselben Grundsätze angewandt, wie sie auch bei der binauralen Wiedergabe von Surround-Content über Kopfhörer zum Einsatz kommen.¹⁷

Normalerweise wird ein binaurales Signal per Kopfhörer direkt am Ohr des Zuhörers wiedergegeben. Die binauralen Signaldifferenzen zwischen den Kanälen L und R enthalten Richtungsinformationen wie Laufzeitdifferenzen, Beugung und Abschattung, die aus der Head-Related Transfer Function (HRTF) hervorgehen. Der Vorteil an der Wiedergabe von binauralen Signalen über Kopfhörer ist, dass es dabei nicht zum Übersprechen zwischen den beiden Kanälen kommt. Einfach gesagt wird das Signal des linken Kanals ausschließlich mit dem linken Ohr wahrgenommen und das Signal des rechten Kanals mit dem rechten Ohr. Erst durch diese Tatsache können die Richtungsinformationen, welche im binauralen Signal enthalten sind, korrekt wahrgenommen werden, was zu einem räumlichen Höreindruck führt. Bei der Wiedergabe von binauralem Content über eine Soundbar (oder ein herkömmliches Stereo-System) besteht das Problem des Übersprechens. Das Signal des linken Kanals wird mit dem rechten und dem linken Ohr wahrgenommen und das Signal des rechten Kanals wird ebenfalls mit dem rechten und dem linken Ohr wahrgenommen. Die Richtungsinformationen des Signals gehen verloren.

Ziel ist es also ein Übersprechen zwischen den beiden Kanälen zu verhindern. Die dafür angewandte Technologie nennt sich Crosstalk Cancellation¹⁸ oder Übersprechkompensation. (siehe Abbildung 6) Dabei wird das Übersprechen des linken Signals auf das rechte Ohr und das Übersprechen des rechten Signals auf das linke Ohr ausgelöscht. Das passiert durch digitale Signalbearbeitung. Ein Kompensationssignal, welches gegenphasig zum übersprechenden Signal ist, wird dem ursprünglichen Signal zugemischt. Das Kompensationssignal und das übersprechende Signal löschen sich gegenseitig aus.¹⁹

Diese Kompensationsberechnungen der Crosstalk Cancellation gelten nur für einen bestimmten Punkt im Raum, weshalb der Sweetspot und damit die Abhörzone, in der Surround-Effekte wahrgenommen werden können, sehr klein ist. Außerhalb des Sweetspots klingt der Ton durch

¹⁶ (Fastl & Zwicker, 2006)

¹⁷ (Sengpiel, 1998)

¹⁸ (Nufire)

¹⁹ (Sengpiel, 1998, S. 1)

die Kompensationssignale schnell verfährt. Zusätzlich kommen Klangverfärbungen durch die auf das Signal gerechnete HRTF hinzu.

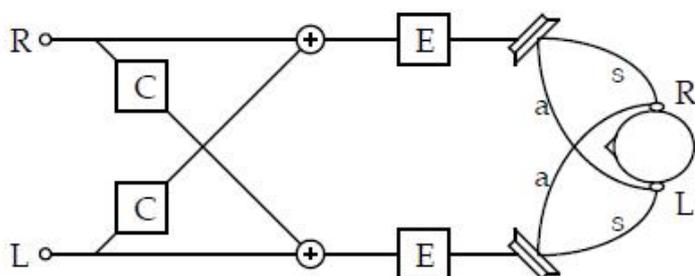


Abbildung 6: Crosstalk Cancellation²⁰

Im Gegensatz zum Beamforming kommt der Schall der einzelnen Surround-Kanäle beim Virtual Surround nicht aus verschiedenen Richtungen, sondern von vorne. Der räumliche Eindruck entsteht also nicht durch tatsächliche Laufzeitunterschiede und Beugung und Abschattung am Kopf des Zuhörers, sondern durch digitale Veränderung des Signals anhand einer HRTF-Funktion vor der Wiedergabe des Signals.

Da Virtual Surround schon mit 2 Kanälen, also mit 2 Lautsprechern, möglich ist, werden in Soundbars, die nach diesem Prinzip funktionieren, meist deutlich weniger Lautsprecher verbaut als in Soundbars, die mit Beamforming arbeiten. Der Vorteil ist daher, dass die Lautsprecher deutlich größer sein können, da mehr Platz pro Lautsprecher vorhanden ist. Außerdem müssen einzelne Lautsprecherchassis nicht das komplette Frequenzspektrum abdecken. Die Wiedergabe des Spektrums kann nach dem Mehrwege-Prinzip auf Hoch- und Tieftöner aufgeteilt werden.

2.3 Bisherige Untersuchungen

Es gibt bis dato nur wenige veröffentlichte Untersuchungen zur Wiedergabequalität von Soundbars. Die aktuell bekannten Arbeiten zu diesem Thema werden in diesem Abschnitt vorgestellt und deren Erkenntnisse zusammengefasst.

2.3.1 Sprachverständlichkeit von Soundbars bei 3.0 Wiedergabe

Im Vorfeld dieser Arbeit fanden 2017 am IRT bereits Untersuchungen zur Sprachverständlichkeit von Soundbars bei 3.0 Wiedergabe statt. Diese Untersuchungen wurden

²⁰ (Nufire, S. 2)

im Rahmen einer Bachelorarbeit durchgeführt, die sich insgesamt mit der Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Rundfunk durch das Tonkanalformat 3.0 beschäftigte.²¹

Zwei Heimkinosysteme, drei Soundbars und ein TV-Gerät wurden in Bezug auf die Sprachverständlichkeit bei 3.0 Wiedergabe miteinander verglichen. Dabei wurde keine eindeutige Präferenz zu einem der Wiedergabesysteme festgestellt. Es zeigte sich, dass die kompakten Soundbars hinsichtlich der Sprachverständlichkeit keine prinzipiellen Nachteile gegenüber diskreten 3.0 Lautsprechersystemen aufweisen.²²

2.3.2 Vergleich von diskretem Surround-Sound und Soundbar-Technologien

Walton et al.²³ führten 2016 einen subjektiven Vergleich von einem diskreten 5.0-System, einem diskreten Stereo-System und zwei Soundbars mithilfe der Versuchsmethodik Open Profiling of Quality (OPQ)²⁴ durch. Die Wiedergabesysteme wurden für 6 Testsequenzen im 5.0-Format aus den Bereichen Dokumentation, Musik (Pop), Musik (Klassik), Spielfilm, Hörspiel und Ambient Sound von insgesamt 18 Probanden evaluiert. Eine Soundbar verwendete Beamforming zur Wiedergabe von Surround-Content und die andere Virtual Surround. Evaluiert wurden Attribute, welche in der ersten Phase des Hörversuchs von den Probanden selbst für die geprüften Wiedergabesysteme formuliert und festgelegt wurden. (Siehe Abschnitt 3.1.1)

Über den Content gemittelt wurden die diskreten Mehrkanalsysteme den beiden Soundbars vorgezogen. (siehe Abbildung 7) Außerdem schnitt die Soundbar, welche Beamforming verwendet, besser ab als die Soundbar, welche Virtual Surround (Crosstalk Cancellation) verwendet. Der größte Unterschied zwischen den Systemen konnte für Testsequenzen mit einem hohen Surround-Anteil in der Mischung, also hohe Lautstärkepegel auf den Surround-Kanälen (L_s und R_s) im Vergleich zu den Frontkanälen (L, R und C), festgestellt werden. Das lässt darauf schließen, dass die beiden geprüften Soundbars vor allem bei der Wiedergabe der Surround-Kanäle schlechter abschneiden als die beiden diskreten Systeme.

Mithilfe der OPQ Methode wurde festgestellt, dass die wichtigsten Faktoren für die Präferenz für ein Wiedergabesystem die Klangfarbe und die Räumlichkeit des Klangs sind.

²¹ (Heinz, 2017)

²² (Heinz, 2017, S. 101)

²³ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016)

²⁴ (Strohmeier, 2011)

Es wurde angemerkt, dass die Ergebnisse nicht verallgemeinert werden dürften, da zu wenige Systeme geprüft wurden. Als Ausblick für zukünftige Arbeiten wurde demnach angemerkt, dass eine größere Anzahl an diskreten Systemen und Soundbars verglichen werden müsse, um die Ergebnisse der Arbeit zu prüfen.

Außerdem wurde angemerkt, dass der Abhörraum einen signifikanten Einfluss auf die Effektivität der Soundbar-Technologien haben könnte und dies ebenfalls in zukünftigen Untersuchungen geprüft werden sollte.

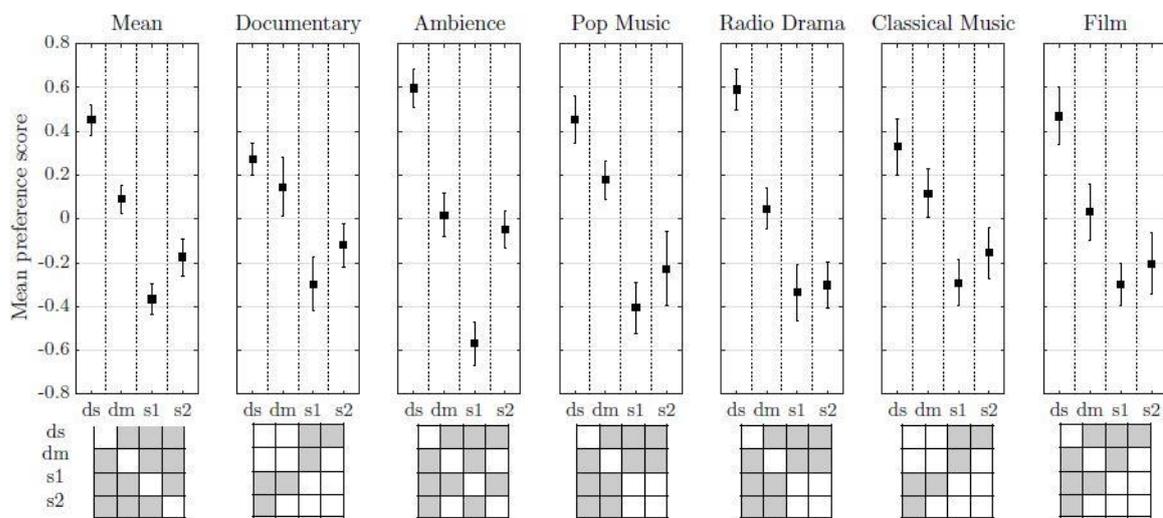


Abbildung 7: Walton et al. - Mittelwerte der Präferenzbewertungen und 95%-Konfidenzintervalle für jedes Wiedergabesystem nach Genre der Testsequenzen, gemittelt über alle Probanden („ds“ = 5.0-System, „dm“ = Stereo-System, „s1“ = Soundbar 1, „s2“ = Soundbar 2)²⁵

2.3.3 Räumliche Audioqualität mit Bezug auf 3D Video

Moulin et al.²⁶ führten 2012 Hörversuche zur räumlichen Audioqualität verschiedener Wiedergabesysteme mit Bezug auf 3D Video durch. Sie verglichen dabei ein diskretes 5.1-Mehrkanalsystem, eine Soundbar (Beamforming) und einen Kopfhörer mit Bezug auf die Wahrnehmung von audiovisuellem Content. Zur Bild-Wiedergabe wurde ein 3D-Display verwendet. Insgesamt evaluierten 30 Probanden die Systeme anhand von 15 Testsequenzen im 5.1-Format, welche allesamt aus einer 3D Dokumentation stammten.

In Sachen Räumlichkeit des Klangs schnitten die Kopfhörer gemittelt über die Testsequenzen besser ab als das 5.1-System, welches wiederum besser bewertet wurde als die Soundbar. (siehe

²⁵ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016, S. 9)

²⁶ (Moulin, Nicol, & Gros, 2012)

Abbildung 8) Was den Hörkomfort angeht, haben alle drei Systeme etwa gleich gut abgeschnitten.

Als mögliche, weiterführende Untersuchung wurde die Erforschung alternativer 3D-Audio-Technologien (z. B. Wellenfeldsynthese) vorgeschlagen.

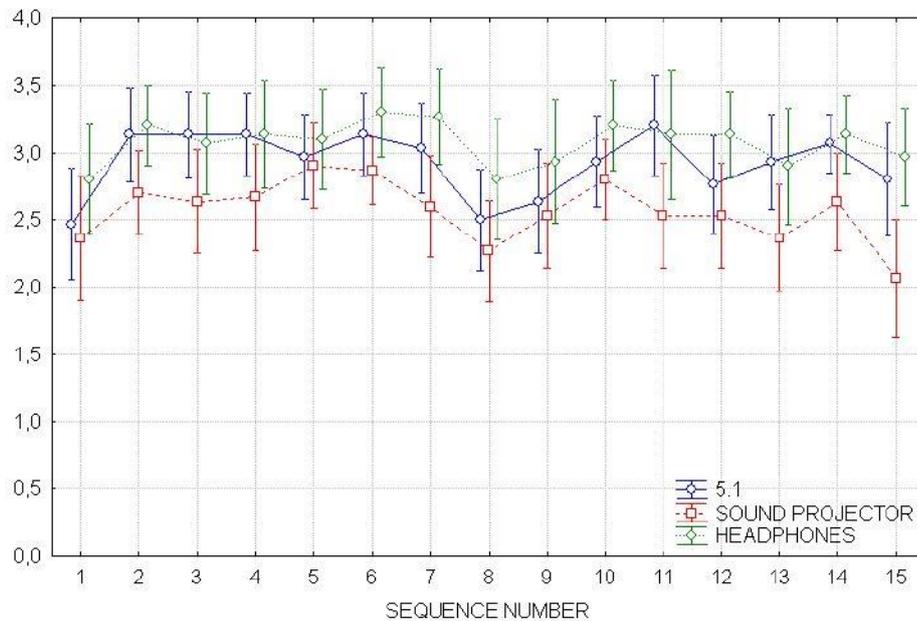


Abbildung 8: Moulin et al. - Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle für das Attribut „Sound Spatialization“ (Räumlichkeit des Klangs) für drei Wiedergabesysteme und 15 Testsequenzen²⁷

²⁷ (Moulin, Nicol, & Gros, 2012, S. 5)

3 Evaluation

Um zu evaluieren, ob Soundbars bei der Heimanwendung eine brauchbare Alternative zu diskreten Mehrkanalsystemen darstellen, wurden zwei Hörversuche durchgeführt. Verschiedene Audio-Wiedergabesysteme wurden anhand von typischem Hörmaterial miteinander verglichen. In Experiment A wurde die 5.1-Wiedergabequalität und in Experiment B die Stereo-Wiedergabequalität bewertet.

In diesem Kapitel werden die durchgeführten Hörversuche, sowie die verwendete Evaluationsmethodik beschrieben und die Versuchsergebnisse präsentiert.

3.1 Methodik

Vor Beginn der Hörversuche stand die Frage, welche Methodik zur Evaluation der verschiedenen Soundbars verwendet werden sollte. Es war wichtig sich an ein standardisiertes Verfahren zu halten, um einerseits die Vergleichbarkeit mit anderen Studien zu gewährleisten und andererseits mögliche Fehler bei der Planung und Durchführung der Versuche zu vermeiden. Um für die geplante Untersuchung die richtige Methodik zu finden, wurden verschiedene Evaluationsmethoden recherchiert und verglichen.

3.1.1 Vergleich etablierter Evaluationsmethoden

A/B-Vergleich

Bei vorherigen Hörversuchen am IRT (siehe Abschnitt 2.3.1), bei denen unter anderem die Sprachverständlichkeit von Soundbars bei 3.0 Audiowiedergabe evaluiert wurde, wurden einfache A/B-Vergleiche zur Bewertung genutzt.²⁸ Als Orientierung zur Versuchsplanung diente dabei die ITU-Empfehlung BS.1284-1²⁹. Bei dieser Untersuchung wurden fünf Wiedergabesysteme jeweils mit einem Referenzsystem verglichen. Das heißt ein direkter Vergleich der Systeme untereinander fand nicht statt. Ein direkter Vergleich der verschiedenen Soundbars ist für die Untersuchungen der vorliegenden Arbeit allerdings sehr wichtig. Um jedoch beispielsweise 10 Wiedergabesysteme mithilfe eines A/B-Vergleichs einander gegenüber zu stellen, wären allein 100 Trials pro Hörbeispiel nötig, was einen enormen Zeitaufwand für den Versuch bedeuten würde und mit der Verfügbarkeit der Probanden nicht

²⁸ (Heinz, 2017, S. 68–70)

²⁹ (ITU-R BS.1284-1, 2003)

vereinbar wäre. Deshalb kam der A/B-Vergleich als Methodik für die Untersuchungen dieser Arbeit nicht in Frage.

Open Profiling of Quality (OPQ)

Bei den Untersuchungen von Walton et al.³⁰ wurde ein Mixed Methods Ansatz, der sogenannte Open Profiling of Quality (OPQ)³¹, zur subjektiven Evaluation der Wiedergabesysteme angewandt.

Die Methode dient dazu herauszufinden, welche Aspekte der getesteten Objekte für die Probanden bei der Bewertung der Gesamtqualität wichtig sind. Es wird die wahrgenommene Gesamtqualität evaluiert und zusätzlich eine sensorische Analyse der für jeden Probanden individuellen Qualitätsfaktoren³² durchgeführt. Die Ergebnisse dieser beiden Untersuchungen werden kombiniert ausgewertet, wodurch Erkenntnisse darüber gewonnen werden können, welche Faktoren mit einer hohen wahrgenommenen Qualität in Verbindung stehen.

Im ersten Teil eines solchen Hörversuchs wird die wahrgenommene Gesamtqualität der evaluierten Systeme in Paar-Vergleichen bewertet. Außerdem definiert der Proband mit Hilfestellung des Versuchsleiters Attribute, welche für den Probanden relevant für die Bewertung der Gesamtqualität waren. Im zweiten Teil des Hörversuchs werden für die selbst definierten Attribute für alle Systeme Paar-Vergleiche durchgeführt.

Die Evaluation der untersuchten Systeme als Paar-Vergleich führt wie auch schon beim vorgestellten A/B-Vergleich zu einer langen Dauer einer Hörversuchs-Session.

Eine Durchführung der Hörversuche der vorliegenden Arbeit nach der OPQ-Methodik hätte somit zu einem sehr großen Zeitaufwand geführt, welcher aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit der Probanden und der hohen Anzahl an zu prüfenden Systemen nicht zu bewältigen war.

Multi stimulus test with hidden reference and anchor (MUSHRA)

Der „Multi stimulus test with hidden reference and anchor“ (MUSHRA) ist eine von der ITU definierte Methodik zur subjektiven Bewertung von Audio-Systemen eines mittleren Qualitätslevels.³³ Die Methodik ist in vielen Aspekten an die Empfehlung ITU-R BS.1116

³⁰ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016)

³¹ (Strohmeier, 2011)

³² Jeder Proband definiert individuelle Attribute, welche seiner Meinung nach zu einer guten Gesamtqualität beitragen, und bewertet diese für die geprüften Wiedergabesysteme

³³ (ITU-R BS.1534-3, 2015)

angelehnt. Der MUSHRA-Test wird in der Praxis vor allem zur Bewertung von Audio-Codecs verwendet.

Der Vorteil dieser Versuchsmethodik zu den bisher vorgestellten Verfahren liegt darin, dass die Bewertung der Audiosysteme in Mehrfachvergleichen stattfindet. Das bedeutet, dass mehrere Stimuli gleichzeitig jeweils auf einer eigenen Skala bewertet werden und dabei frei zwischen den Stimuli hin und her geschaltet werden kann. Dies führt vor allem bei Hörversuchen mit einer Vielzahl an zu evaluierenden Stimuli, wie es in der vorliegenden Arbeit der Fall war, zu einer großen Zeitersparnis im Vergleich zur Durchführung mit Paar-Vergleichen. Außerdem können alle Systeme direkt zueinander ins Verhältnis gesetzt werden.

Mit Hinblick auf die Dauer der Hörversuche wäre der MUSHRA-Test eine passende Evaluationsmethodik für diese Arbeit gewesen.

Allerdings wird bei dieser Methodik zum Vergleich mit den geprüften Systemen eine explizite Referenz gefordert, welche bei der vorliegenden Untersuchung einem idealen Wiedergabesystem für die gegebenen Prüfbedingungen (u. a. Versuchsraum und Testsequenzen) entsprochen hätte. Ein solches ideales Wiedergabesystem existiert für die Wiedergabe von Stereo- und 5.1-Content in einer wohnzimmerähnlichen Umgebung nicht, weshalb der MUSHRA-Test für die Untersuchungen nicht in Frage kam.

3.1.2 Multiple Stimulus Ideal Profile Method (MS-IPM)

Für die Hörversuche dieser Arbeit wurde letztendlich die Evaluationsmethodik MS-IPM verwendet, welche im Folgenden vorgestellt wird.

Die Entwicklung von immersiven, objektbasierten Audio-Systemen³⁴ schreitet derzeit schnell voran. Daher besteht großes Interesse an der Evaluation von solchen objektbasierten Systemen. Herkömmliche, standardisierte Evaluationsmethoden³⁵ verlangen häufig nach einer Referenz, die für ein ideales System steht. Mit dieser Referenz werden die anderen zu prüfenden Systeme dann verglichen. Bei der Evaluation objektbasierter Audio-Wiedergabesysteme, existiert eine solche Referenz allerdings nicht, da der objektbasierte Content mit verschiedensten Wiedergabesystemen kompatibel sein soll. Das heißt es existiert kein Referenz-Wiedergabesystem für objektbasierten Content, mit welchem man alternative Wiedergabesysteme vergleichen könnte. Die Multiple Stimulus Ideal Profile Method

³⁴ (IRT, 2017)

³⁵ (ITU-R BS.1116-3, 2015), (ITU-R BS.1534-3, 2015)

(MS-IPM) ist eine Methodik zur Bewertung von solchen neuartigen Audio-Systemen. Sie kann eingesetzt werden, wenn keine echte Referenz vorhanden ist. Mehrere Audio-Systeme können im Hinblick auf subjektive Attribute und die subjektive Gesamtqualität untersucht und verglichen werden. Außerdem wird das ideale Profil, also die idealen Werte der Attribute, eines Systems beschrieben.

Die Evaluation besteht aus drei Aspekten:

- 1) Bewertung der subjektiven Gesamtqualität
- 2) Attributbewertung
- 3) Bewertung eines idealen Profils

Zur Bewertung der Systeme wird ein Multiple Stimulus Ansatz verwendet, wie er auch in ITU-R BS.1534 beschrieben ist. Dabei werden dem Probanden mehrere Stimuli gleichzeitig präsentiert, zwischen denen er frei hin und her wechseln kann. Jeder Stimulus hat seine eigene Skala, auf der entweder die subjektive Gesamtqualität oder ein bestimmtes Attribut in Relation zu den anderen Stimuli bewertet wird. (siehe Abbildung 9)

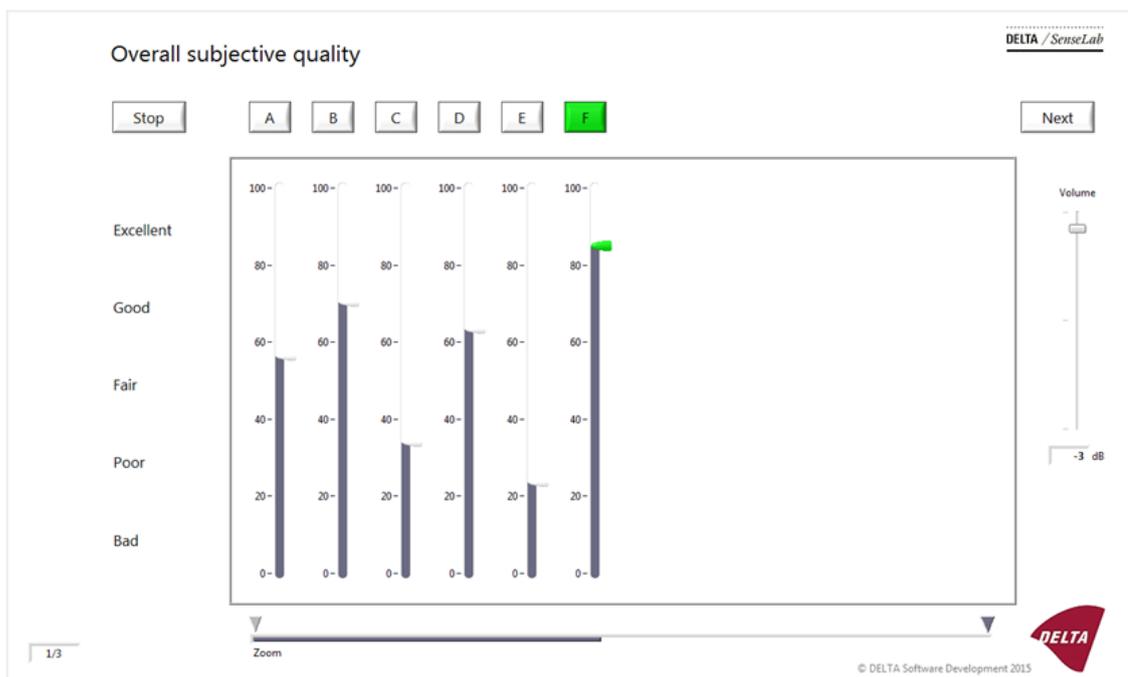


Abbildung 9: Typisches Userinterface eines MS-IPM-Hörversuchs (A–F: Stimuli, abhängige Variable: Overall subjective quality)³⁶

Ein Grund, die MS-IPM als Versuchsmethodik für die vorliegende Arbeit zu verwenden, war die Möglichkeit relativ viele Wiedergabesysteme mit einem überschaubaren Zeitaufwand evaluieren zu können, da mehrere Systeme auf einmal miteinander verglichen werden konnten.

³⁶ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 9)

Die Anzahl der Vergleiche, welche pro Proband evaluiert werden mussten, wurde also minimiert, was zu einer kürzeren Gesamtzeit des Hörversuchs führte und es ermöglichte diesen in zwei Sitzungen zu absolvieren. Außerdem war bei den Hörversuchen keine echte Referenz vorhanden. Die MS-IPM wurde speziell für Untersuchungen mit dieser Problematik entwickelt, was ein weiterer ausschlaggebender Grund für die Entscheidung für diese Methodik war.

Innerhalb eines Experiments gibt es zwei verschiedene Arten von Variablen. Die unabhängigen (bzw. kontrollierten) Variablen und die abhängigen Variablen. Diese Begrifflichkeiten werden in der Versuchsplanung und -auswertung (siehe Abschnitt 3.2 und 3.3) verwendet und sind deshalb im Folgenden kurz beschrieben. Die unabhängigen Variablen werden vom Leiter der Untersuchung kontrolliert bzw. deren Zustand vorgegeben. Beispiele hierfür sind *Wiedergabesystem*, *Testsequenz*, *Proband* und *Abhörlautstärke*. Unabhängige Variablen können entweder qualitativ (Wiedergabesystem) oder quantitativ (Abhörlautstärke) sein. Die abhängigen Variablen sind die Variablen, auf die der Proband Rückmeldung geben muss. Beispiele hierfür sind *subjektive Gesamtqualität*, *Umhüllung*, *Natürlichkeit* und *Ideal Point*.³⁷

Mithilfe einer statistischen Analyse werden erhobene Daten veranschaulicht, um eine Interpretation zu ermöglichen. Im Vergleich zu anderen Evaluationsmethoden können bei der MS-IPM, außer den wahrgenommenen Charakteristiken (Attribute) und der subjektiven Gesamtqualität der Systeme, auch Zusammenhänge zwischen den abhängigen Variablen untersucht werden und die evaluierten Wiedergabesysteme mit einem hypothetischen Ideal (Ideal Profile) verglichen werden. Beispielsweise kann analysiert werden wie stark zwei Attribute miteinander korrelieren und was die idealen Werte der geprüften Attribute sind.

Auf genauere Spezifikationen der MS-IPM wird während der Beschreibung des Versuchs in Abschnitt 3.2 und 3.3 eingegangen.

Die MS-IPM befindet sich momentan noch in der Entwicklung und soll schlussendlich als Empfehlung der ITU veröffentlicht werden. Bisher gibt es nur wenige Studien, welche diese neue Methodik anwenden. Ein interessanter Aspekt dieser Arbeit ist damit auch die Erfahrung, welche mit der MS-IPM gemacht wird. Diese Erfahrung kann Aufschluss über das Entwicklungspotential der Methodik geben und Verbesserungsvorschläge hervorbringen. In Abschnitt 3.4 werden die Erfahrungen mit der MS-IPM näher beschrieben.

³⁷ (Bech & Zacharov, 2006, S. 145)

3.2 Versuchsplanung

3.2.1 Wiedergabesysteme

Ein Ziel der Untersuchung war es, eine große Anzahl an Soundbars von relevanten Herstellern aus verschiedenen Preisbereichen zu evaluieren. Das sollte gewährleisten, dass die Ergebnisse der Untersuchung den aktuellen Markt und dessen Vielfalt gut repräsentieren.

Insgesamt wurden acht Soundbars, ein diskretes Mehrkanalsystem (5.1 bzw. 2.1) und ein TV-Gerät miteinander verglichen. Das Mehrkanalsystem wurde für die Untersuchung als High-Anker definiert, da neutrale, hochqualitative Studiolautsprecher verwendet wurden und ein diskretes Mehrkanalsystem das Wiedergabesystem ist, mit welchem Mischungen im geprüften Wiedergabeformat (5.1 und Stereo) in der Regel auch produziert und abgehört werden. Die durchgeführten Messungen der Raumimpulsantworten der einzelnen Kanäle des 5.1-Systems (siehe Abbildung 14) bestätigen dieses als High-Anker. Beim evaluierten TV-Gerät handelte es sich im Vergleich zu anderen TV-Geräten auf dem Markt um ein qualitativ mittelmäßiges System, welches in dieser Untersuchung als Low-Anker definiert wurde. Die Qualität dieser beiden Anker-Systeme kann von den meisten Laien durch Hörerfahrungen grob abgeschätzt werden, wodurch eine Einordnung der Bewertungen der Soundbars im Kontext zu den Anker-Systemen möglich wird. Ein solches Vorgehen wird auch in der MS-IPM empfohlen.³⁸

Soundbars

Durch die vorangegangenen Untersuchungen am IRT (siehe Abschnitt 2.3.1) waren zu Beginn dieser Arbeit bereits fünf Soundbars von verschiedenen Herstellern vorhanden. Diese Auswahl wurde analysiert und um drei weitere Soundbars von anderen Herstellern bzw. aus anderen Preisbereichen ergänzt. Wichtig für die Entscheidung war außerdem, dass die Soundbars laut Hersteller fähig sind Surround-Sound wiederzugeben. In Tabelle 1 sind die evaluierten Soundbars aufgelistet.

³⁸ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 6)

Tabelle 1: Übersicht der evaluierten Soundbars

Soundbar	Abkürzung	Surround-Technologie	Preis (€)
Bose Solo 15 Series II	BO	Virtual Surround	499,00
Canton DM 90.3	CA	Virtual Surround	819,00
LG SJ8	LG	Virtual Surround	299,00
Philips HTL3160B	PH	Virtual Surround	219,23
Samsung HW-J6500	SA	Virtual Surround	369,00
Teufel Cinebar 52 THX	TE	Virtual Surround	849,00
Yamaha YSP-1600	Y16	Beamforming	523,27
Yamaha YSP-5600	Y56	Beamforming	1699,00

Die Soundbars werden im Folgenden mit ihrer Abkürzung benannt (siehe Tabelle 1). Der Preis der Soundbars variiert zwischen 219 € und 1699 €. Beide gängigen Soundbar-Technologien zur Surround-Wiedergabe (siehe Abschnitt 2.2) waren im Versuchsfeld vertreten.

Um die Soundbars an die Prüfbedingungen bestmöglich anzupassen, wurden jeweils bestimmte Einstellungen vorgenommen. Der Wiedergabemodus der Soundbars wurde – sofern vorhanden – bei der 5.1-Wiedergabe auf Surround und bei der Stereo-Wiedergabe auf Stereo eingestellt. Optionen, welche die Klangfarbe der Soundbars betreffen (z. B. Bass und Treble), wurden im Default-Zustand belassen. Informationen zu den genauen Einstellungen der Soundbars während der Hörversuche sind im Anhang A zu finden. Weiteres zur Benutzerfreundlichkeit und den Eigenschaften der Soundbars folgen in Abschnitt 3.5.

Diskretes Mehrkanalsystem (5.1 bzw. 2.1)

Als Mehrkanalsystem wurde in der 5.1-Untersuchung ein 5.1-System verwendet. Für die Stereo-Untersuchung wurde das gleiche System verwendet. Die Lautsprecher Center, Left-Surround und Right-Surround wurden lediglich nicht angesteuert. Es handelte sich bei der Stereo-Untersuchung also um ein 2.1-System. Als Abhörmonitore dienten fünf Neumann KH 120 A und als Subwoofer ein Klein+Hummel O 818. Die Lautsprecher wurden über einen Denon AVR-X4100W AV-Receiver angesteuert, der die Laufzeitanpassung, die Pegelanpassung und das Bass-Management übernahm. Hinter den Receiver war außerdem ein Tascam LA-80 MKII geschaltet, der das Signal symmetrierte, bevor es an die Lautsprecher weitergegeben wurde. (siehe Abbildung 13)

Genauere Informationen zur Aufstellung des Systems und zur Wiedergabekette sind in Abschnitt 3.2.5 zu finden. Die genauen Einstellungen, welche am AV-Receiver vorgenommen wurden, um das Mehrkanalsystem an die Bedingungen der beiden Hörversuche anzupassen, sind im Anhang A aufgeführt.

TV-Gerät

Als TV-Gerät wurde ein LG Cinema 3D Smart TV mit 80 cm Bildschirmdiagonale verwendet. (Modell Nr.: 32LA6208) Die Tonwiedergabe erfolgte mittels des eingebauten Stereo-Systems. Die Lautsprecher funktionierten jeweils als Ein-Wege-System. D.h. sie sollten möglichst den kompletten Frequenzbereich abdecken.

Der Fernseher hatte keinen separaten Audio-Eingang. Deshalb wurde im Versuch ein Ligawo Audio Embedder SPDIF + R/L to HDMI (Modell Nr.: 6518772) vorgeschaltet. Dieser integrierte das SPDIF Audio-Signal in ein HDMI-Signal, welches dann an das TV-Gerät weitergegeben wurde. Als visuelles Signal wurde ein Testbild übermittelt, da ein HDMI-Signal für die Wiedergabe mit dem verwendeten TV-System immer auch ein Bild-Signal enthalten muss. Die Bildschirmhelligkeit des TV-Gerätes wurde so stark reduziert, bis das Bild nicht mehr visuell wahrgenommen wurde. So konnte der Fernseher zur Wiedergabe von Audio-Inhalten genutzt werden, wie es für die vorliegenden Untersuchungen nötig war.

Aufteilung der Wiedergabesysteme auf Probandengruppen

Die hohe Anzahl an zu untersuchenden Wiedergabesystemen stellte für die Durchführung der Hörversuche ein Problem dar. Wären acht Soundbars übereinander in einem Regal installiert worden, hätte der Proband das wiedergegebene Tonsignal je nach Gerät entweder eher von oben oder von unten wahrgenommen. Das hätte voraussichtlich Einfluss auf die Bewertung der Systeme durch den Probanden gehabt und so die Ergebnisse verzerrt. Ziel war es also den Unterschied der Wiedergabehöhe zwischen den Systemen möglichst gering zu halten. (Siehe Abschnitt 3.2.5) Außerdem gibt die MS-IPM vor, dass die Anzahl der gleichzeitig evaluierten Systeme zwischen 5 und 9 liegen sollte. Die Methodik bietet allerdings auch Lösungen an, falls eine größere Anzahl an Audio-Systemen evaluiert werden soll. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde der Ansatz „Between-Subjects Design“³⁹ verwendet. Between-Subjects Design bedeutet, dass bei einer hohen Anzahl zu prüfender Conditions⁴⁰ eine Aufteilung dieser

³⁹ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 11)

⁴⁰ Eine Condition ist beispielsweise ein Wiedergabesystem, das für eine Testsequenz und eine unabhängige Variable geprüft wird. Die Anzahl der Conditions entspricht also: Wiedergabesysteme * Testsequenzen * unabhängige Variablen.

Conditions auf verschiedene Probanden oder Probandengruppen, also eine Aufteilung „zwischen den Subjekten“, erfolgt, um die Versuchsdauer für einen Probanden zu minimieren.

Mithilfe dieser Methode konnten die zu prüfenden Wiedergabesysteme blockweise auf kleinere Probandengruppen aufgeteilt werden. Somit evaluierte der einzelne Proband nur einen Teil der getesteten Systeme. Wichtig war hierbei die Art der Aufteilung der Systeme auf die Gruppen, um Bias-Effekte⁴¹ zu vermeiden.

Jeder Proband evaluierte 4 der 8 Soundbars plus das Mehrkanalsystem und das TV-Gerät. Somit wurde pro Proband eine Gesamtzahl von 6 Wiedergabesystemen bewertet. Das TV-Gerät und das Mehrkanalsystem hatten feste Positionen im Raum. Die Aufstellung der Soundbars wurde je nach Probandengruppe geändert, um eine Verfälschung der Versuchsergebnisse mithilfe von Variation der Gruppe der evaluierten Soundbars und der Wiedergabehöhen der Soundbars zu verhindern. Für eine Soundbar gab es im für die Untersuchung angefertigten Regal (siehe Abbildung 15) vier mögliche Positionen: Oben (1), Mitte-Oben (2), Mitte-Unten (3), Unten (4). Genauere Informationen zur Aufstellung der Wiedergabesysteme im Versuchsraum können Abschnitt 3.2.5 entnommen werden. Folgende Bedingungen wurden an die Aufteilung der Soundbars auf die Probandengruppen gestellt:

- 1) Gleich häufige Evaluation jeder Soundbar
- 2) Direkter Vergleich jeder Soundbar mit jeder anderen Soundbar (mindestens einmal)
- 3) Evaluation jeder Soundbar in allen 4 möglichen Positionen

Im Folgenden wird eine Auswahl an Soundbars, die von einer Probandengruppe evaluiert wurde, als *Kombination* bezeichnet.

Ziel in der Vorbereitung der Hörversuche war es, die Anzahl der Kombinationen möglichst gering zu halten. Dadurch sollte häufiges Umbauen der Soundbars während der Versuchsdurchführung vermieden werden. Um Bedingung 3 zu erfüllen, sind 8 Kombinationen nötig. In Tabelle 2 ist eine Zusammenstellung an Kombinationen dargestellt, die auch Bedingung 1 und 2 erfüllen. Diese Zusammenstellung wurde für die vorliegende Evaluation verwendet. Jede der Kombinationen (K1–K8) wurde von einer Probandengruppe mit je 3 Probanden evaluiert. Anschließend wurden die Ergebnisse der einzelnen Gruppen in einer gemeinsamen statistischen Analyse ausgewertet. (siehe Abschnitt 3.3)

⁴¹ eine ungewollte Verfälschung von Evaluationsergebnissen durch nicht kontrollierte unabhängige Variablen

Tabelle 2: Kombinationen an Soundbars

Kombination	Position 1	Position 2	Position 3	Position 4
K1	Y56	Y16	BO	TE
K2	Y16	BO	PH	SA
K3	BO	PH	TE	LG
K4	PH	TE	SA	CA
K5	TE	SA	LG	Y56
K6	SA	LG	CA	Y16
K7	LG	CA	Y56	BO
K8	CA	Y56	Y16	PH

3.2.2 Testsequenzen

In der MS-IPM ist beschrieben, dass typischer Content für die Anwendung der getesteten Systeme verwendet werden soll, der Unterschiede zwischen den Systemen aufzeigt.⁴² Bei der Auswahl sollten zudem Attribute, die evaluiert werden könnten, berücksichtigt werden. Es wird außerdem empfohlen, nicht weniger als 3 Testsequenzen zu verwenden. Die Anzahl der Testsequenzen sollte je nach Vielfalt des typischen Contents und Dauer des Experiments gewählt werden. Die Dauer der Testsequenzen sollte zwischen 10s und 30s liegen.

Für die Auswahl der Testsequenzen war es also wichtig zu berücksichtigen, welchen Audio-Content der durchschnittliche Konsument zuhause mit seiner Soundbar wiedergibt. Content dieser Art sollte auch für die Evaluation der Soundbars verwendet werden. Typische Anwendungsfälle sind die Wiedergabe von TV-Content, Musik, Video-on-Demand und Videospielen. Für die am IRT durchgeführten Untersuchungen spielte die Wiedergabe von TV-Content eine vorrangige Rolle. Es wurden insgesamt 6 Testsequenzen pro Experiment evaluiert. Diese stammten aus den Genres Spielfilm, Dokumentation, Sport, TV-Show, Musik (Klassik) und Musik (Pop). Bei den Genres Spielfilm, Dokumentation, Sport und TV-Show handelte es sich ausschließlich um TV-Content der öffentlich-rechtlichen Rundfunkanstalten. Dieser wurde mithilfe der Recording-Software DVBCViewer im Zeitraum vom 29.10.2016 bis 17.11.2016 als Transportstrom (.ts) aufgezeichnet.⁴³ Es handelte sich dabei ausschließlich um Sendungen im

⁴² (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 6)

⁴³ (Heinz, 2017, S. 43)

5.1-Format. Mithilfe von FFmpeg wurden die gewünschten Testsequenzen aus dem Material herausgeschnitten. Anschließend fand eine Konvertierung ebenfalls mit FFmpeg zu H264 im MOV-Container statt. Fade-In und Fade-Out wurden dem Audio-Stream hinzugefügt, um Störgeräusche beim Start und Stopp der Wiedergabe und beim Abspielen in Dauerschleife zu vermeiden. Der 6-kanalige Audio-Stream lag im PCM-Format vor und wurde vom Video-Stream getrennt. Für die Untersuchung wurden letztendlich Wave-Dateien (.wav) im PCM-Format mit einer Auflösung von 16 Bit und einer Abtastfrequenz von 48 kHz verwendet.

Die Testsequenzen der Genres Musik (Klassik) und Musik (Pop) stammten von verschiedenen Blu-ray Discs und SACDs. Hier wurde ebenfalls ausschließlich Hörmaterial im 5.1-Format verwendet. Das Editing der Testsequenzen, also das Kürzen und das Hinzufügen von Fade-In und Fade-Out, fand in Nuendo statt. Für die Untersuchungen lagen die Musik-Testsequenzen letztlich auch als Wave-Dateien (.wav) im PCM-Format mit einer Bit-Tiefe von 16 Bit und einer Abtastfrequenz von 48 kHz vor. Die Dateien wurden mit FFmpeg konvertiert.

Für die Untersuchung der Stereo-Wiedergabequalität wurde ein ITU-Downmix⁴⁴ der Testsequenzen von 5.1 zu Stereo durchgeführt. Dieser fand mithilfe des Plugins Mix6To2 der Steinberg-Software Nuendo 6 statt. Dabei wurde dem linken Kanal der Centerkanal und der linke Surroundkanal mit -3dB zugemischt. Dem rechten Kanal wurde dementsprechend der Centerkanal und der rechte Surroundkanal mit -3dB zugemischt. Bis auf die Anzahl der Kanäle hat sich am Format der Testsequenzen bei der Stereo-Untersuchung im Vergleich zur 5.1-Untersuchung nichts geändert.

Die Normalisierung der Lautheit aller Testsequenzen fand mithilfe der am IRT entwickelten Software RTW Continuous Loudness Control (CLC) statt. Die Lautheit wurde nach der Richtlinie EBU R128 angepasst. Somit lag die integrierte bzw. durchschnittliche Lautheit jeder Testsequenz bei -23 LUFS.

Bei der Auswahl der einzelnen Testsequenzen wurde auf folgende Aspekte geachtet:

- 1) In sich geschlossene Handlung einer Testsequenz
- 2) Dauer der Testsequenz zwischen 10s und 30s
- 3) Anteil an Surround-Information (Frontal-Surround-Ratio)
- 4) Abwechslung verschiedener wichtiger Klangquellen: Sprache, Geräusche, Musik
- 5) Qualitativ hochwertiges Audio-Material

⁴⁴ (ITU-R BS.775-3, 2012)

6) Genretypischer Inhalt des Materials

Um den Anteil der Surround-Information der verwendeten Testsequenzen objektiv einschätzen zu können, wurde nach dem Beispiel der Untersuchung der BBC (siehe Abschnitt 2.3.2) für jede Testsequenz eine Frontal-Surround-Ratio berechnet.⁴⁵ Dafür wurde der Mittelwert der Peak-Werte der Kanäle L, R und C durch den Mittelwert der Peak-Werte der Kanäle L_s und R_s geteilt und davon wiederum die Wurzel gezogen. Ein Ergebnis gleich 1 entspricht einer ausgeglichenen Wiedergabe zwischen Front- und Surround-Kanälen. Ein Ergebnis größer als 1 entspricht einer front-lastigen Wiedergabe. Ein Ergebnis kleiner als 1 entspricht einer surround-lastigen Wiedergabe. Die Frontal-Surround-Ratio dient lediglich dem besseren Verständnis der Surround-Information einer Testsequenz und ist keine psychoakustisch fundierte Größe. Sie hat daher auch keinen direkten, erwiesenen Bezug zum subjektiv wahrgenommenen Surround-Effekt.

Die letztlich verwendeten Testsequenzen sind in Tabelle 3 (5.1) und Tabelle 4 (Stereo) aufgelistet.

Tabelle 3: Testsequenzen - 5.1-Hörversuch

Genre	Titel	Dauer (s)	LRA (LU)	Fr.-Surr.	Beschreibung
Dokumentation	Terra X – Die Welt der Ritter	14	3,9	9,5	ZDF-Dokumentation, L+R: Musik & Atmo, C: Sprecher + Soundeffekte, Ls+Rs: ein wenig Musik und Atmo
Musik (Klassik)	Hoff Ensemble – Dronning Fjellrose	13	5,7	1,3	Klassik-Aufnahme, L+R: Klavier & Flächen, C: Gesang & Kontrabass, Ls+Rs: Percussion & Drums & Hall
Musik (Pop)	The Polyphonic Spree – Section 11	13	1,4	1,0	Pop-Musik, L+R: Klavier & Background Gesang (flächig), C: Gesang & Bass, Ls+Rs: Background Gesang & Gitarre
Spielfilm	Tatort Echolot	21	5,4	4,1	Dialog in Wohnwagen, L+R: Musik (elektr. Drums, Synth, Klavier), C: Dialog & Soundeffekte, Ls+Rs: Musik (s.o.)
Sport	BVB - Sporting Lissabon	15	5,2	1,8	Fußball, L+R: Atmo (Fans: nah), C: Sprecher, Ls+Rs: Atmo (Fans: fern), Atmo schön im Surround verteilt
TV-Show	Verstehen Sie Spaß	18	3,8	1,8	TV-Show, L+R: Musik & Atmo (Klatschen, Lachen), C: Sprecher & Soundeffekte (O-Ton), Ls+Rs: Atmo

⁴⁵ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016, S. 3–4)

Tabelle 4: Testsequenzen - Stereo-Hörversuch

Genre	Titel	Dauer (s)	LRA (LU)	Beschreibung
Dokumentation	Arte – Amerikas Flüsse	20	3,4	Dokumentation, Sprecher (mittig), flächige Klänge (breit), Atmo: Windrauschen, Autos (sehr breit), am Ende elektr. Gitarre (mittig)
Musik (Klassik)	Hoff Ensemble – Redd Mamma	13	6,2	Klassik-Aufnahme, Klavier (leicht links), Kontrabass (leicht rechts), Percussion & Trommel (sehr breit), ruhiges Klavierstück
Musik (Pop)	Steven Wilson – No Part Of Me	11	3,8	Pop-Musik, elektr. Drums: Bassdrum (mittig), treibende Perc./Hi-Hat (sehr breit), Klavier mit Delay (mittig), Bass (mittig), Flächen (breit)
Spielfilm	Wir sind die Rosinskis	11	2,9	Szene im Gefängnis, elektr. Gitarre & Streicher (breit), Bass (mittig), Sounddesign: Türe wird aufgeschlossen & Schritte (links & rechts)
Sport	Deutschland - Italien	10	2,3	Fußball, Sprecher (mittig), Atmo: Fans klatschen und singen & Tröten (sehr breit), Ballgeräusche (mittig)
TV-Show	Verstehen Sie Spaß	14	2,6	TV-Show, erst Moderator (mittig), dann Musik: Bläser & Drums -> sehr poppig, Atmo: Klatschen und Rufe (sehr breit)

3.2.3 Probanden

Die MS-IPM gibt vor, dass an einem Experiment mindestens 20 erfahrene Probanden teilnehmen sollen, um die Qualität der erhobenen Daten sicher zu stellen.⁴⁶

Insgesamt waren 31 Probanden im Alter von 24 bis 60 Jahren an den Untersuchungen beteiligt. (siehe Abbildung 10) Der Altersdurchschnitt lag bei 38 Jahren. An der 5.1-Untersuchung nahmen 24 Probanden teil und an der Stereo-Untersuchung ebenfalls 24. Diese wurden pro Experiment gleichmäßig auf die 8 Probandengruppen aufgeteilt, welche jeweils eine der 8 Kombinationen an Soundbars evaluierten. (siehe Tabelle 2) Somit wurde pro Experiment jede Kombination von 3 Probanden evaluiert. Es wurden ausschließlich erfahrene Probanden für die Hörversuche ausgewählt. Bei diesen handelte es sich um Mitarbeiter des IRT mit einem medientechnischen Berufshintergrund, die schon an vorigen Hörversuchen am IRT als Probanden teilgenommen hatten. Insgesamt dauerten die Untersuchungen 3 ½ Wochen.

⁴⁶ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 7)

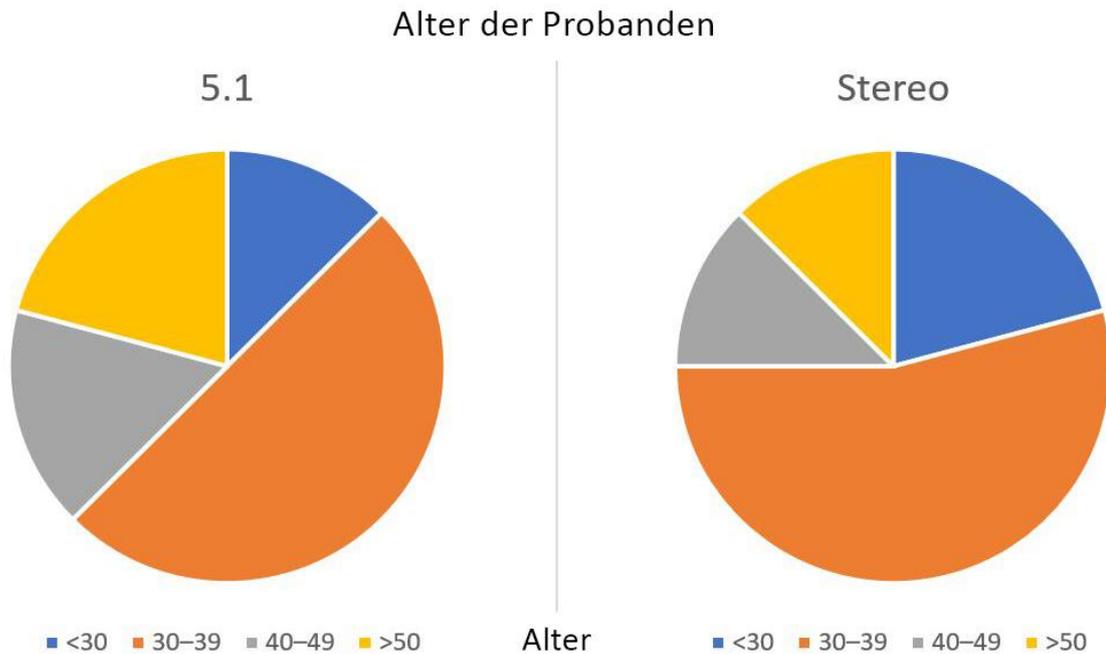


Abbildung 10: Alter der Probanden für die 5.1- und Stereo-Untersuchung

3.2.4 Attributauswahl

Die Attributauswahl wurde nach den Empfehlungen der MS-IPM durchgeführt.⁴⁷ Vier Experten trafen sich zu einem Probehören der Wiedergabesysteme anhand kritischer Testsequenzen im Versuchsraum. Aus etablierten Lexika⁴⁸, welche eine Auswahl an möglichen Attributen boten, wurden für die Untersuchung relevante Attribute ausgewählt. Dabei wurde darauf geachtet, Attribute auszuwählen, welche die auffälligsten Unterschiede der Wiedergabesysteme beschrieben. Anschließend wurde die Auswahl diskutiert und 5 zu evaluierende Attribute ausgewählt. Es waren Beschreibungen der Attribute nötig, um unterschiedliche Interpretationen der Attribute durch die Probanden und damit unterschiedliche Auslegungen der Attribute bei der Evaluierung zu vermeiden. Diese Beschreibungen wurden den verwendeten Lexika entnommen und in die deutsche Sprache übersetzt. Die für die Hörversuche ausgewählten Attribute inklusive ihrer Beschreibung und den Skalenbeschriftungen sind in Tabelle 5 aufgeführt.

⁴⁷ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 21)

⁴⁸ (Pedersen & Zacharov, 2015, S. 7–8), (Lindau, et al., 2014, S. 5–7)

Tabelle 5: Liste der Attribute mit Beschreibung und Beschriftung der Skalen

Attribut	Beschreibung	Maximum / Minimum
Umhüllung (<i>nur 5.1</i>)	Bist du vom wiedergegebenen Klang umgeben und gibt er dir ein Gefühl von Räumlichkeit?	komplett umhüllt / nicht umhüllt
Breite (<i>nur Stereo</i>)	Die Breite des Klangbildes (der wahrgenommene Winkel). Die Breite eines raumbezogenen Nachhalls soll nicht in die Bewertung miteinfließen.	breit / schmal
Natürlichkeit	Geräusche, die mit einer hohen Klangtreue wiedergegeben werden. Akustische Instrumente, Stimmen und Geräusche klingen wie in der Realität. Das Geräusch entspricht der Erwartung des originalen Geräusches ohne Klangfärbung, räumliche Färbung oder Verzerrung. „nichts hinzugefügt – nichts fehlt.“ Die Klangquelle ist klar im Raum einzuordnen. Der Klang kommt nahe an die Erfahrung der Wahrnehmung des originalen Klangs heran.	natürlich / unnatürlich
Bassstärke	Der relative Pegel des Bassbereichs, d.h. der tiefen Frequenzen. Beispiele: männliche Stimmen, Bassgitarre, Bassdrum, Timpani und Tuba. Sollte nicht mit Basstiefe verwechselt werden, welche die Ausdehnung der tiefen Bassfrequenzen bezeichnet.	stark / schwach
Detailliertheit	Ein hochaufgelöster Klang, reich an Details. Instrumente, Stimmen, usw. können einfach auseinandergehalten werden. Die Musik hat viele Details. Details, die nicht gemessen werden können. Details, die der Musik „Seele“ geben. Es kann sich um kleine hörbare Feinheiten handeln: Das Atmen eines Sängers, Finger wandern über Gitarrensaiten, die Klappen einer Klarinette, das Geräusch von Klavierhämmern bei Saitenanschlag.	detailliert / nicht detailliert
Dosiger Klang (Canny)	Das Hörbeispiel klingt als würde es in einer Dose oder einer Röhre abgespielt werden. Der Klang ist charakterisiert durch hervorstechende und schmalbandige Resonanzen im Mittenbereich.	dosig / nicht dosig

3.2.5 Versuchsaufbau

In diesem Abschnitt wird der Versuchsaufbau, also der Versuchsraum, die Aufstellung der Wiedergabesysteme, die akustischen Bedingungen und der Signalverlauf beschrieben.

Ziel war es, für die Untersuchung eine Wiedergabesituation zu schaffen, die in etwa den Gegebenheiten im Wohnzimmer der Konsumenten entspricht, um die Soundbars in ihrer tatsächlichen Anwendungsumgebung zu testen. Gleichzeitig sollten die Vorgaben der MS-IPM an den Versuchsraum bestmöglich eingehalten werden. Es war außerdem wichtig, die Anforderungen aller geprüften Wiedergabesysteme an die Umgebung zu erfüllen, um für faire Bedingungen zu sorgen.

In Abbildung 11 ist der Versuchsaufbau im Raum AU23 des IRT zu sehen. Weitere Fotografien des Versuchsraumes sind im Anhang B zu finden.



Abbildung 11: Foto des Versuchsaufbaus im Raum AU23 des IRT

Versuchsraum

Bei der Wahl des Versuchsraumes wurde bewusst darauf verzichtet, die Empfehlungen der ITU-R BS.1116⁴⁹ einzuhalten, da ein darin beschriebener Referenz-Abhörraum den akustischen Anforderungen der Soundbars und der gewünschten Wohnzimmer-Wiedergabesituation nicht gerecht wurde.

Als Versuchsraum für die Experimente diente der Raum AU23 des IRT in München. Der Raum hat eine Fläche von 22 m² und ein Volumen von 61 m³. (siehe Abbildung 12) Die Wände sind reflektierend, was eine Grundvoraussetzung für die Soundbars ist, welche Beamforming zur Wiedergabe von Surround-Sound verwenden. Um die Nachhallzeit zu senken und Flatterechos zu vermeiden, wurden Absorber und Regale, welche als Diffusoren fungierten, aufgestellt. Diese wurden an Stellen platziert, an welchen sie die Reflexion der Schallstrahlen über die Wände nicht beeinflussten. (siehe Anhang E) Anschließend wurde eine Messung durchgeführt, welche eine Nachhallzeit T_m von 0,41 s ergab. (siehe Abbildung 44 in Anhang C) Das

⁴⁹ (ITU-R BS.1116-3, 2015, S. 13)

eine Wandlung von ADAT auf AES/EBU stattfand. Dahinter war ein Dolby DP569 geschaltet, der eine AC3-Codierung vornahm. Diese Konvertierung des Signals war nötig, da einige der Wiedergabegeräte PCM-Mehrkanalsignale nicht richtig verarbeiten konnten. Anschließend wurde das Signal per Koaxialkabel an eine digitale Kreuzschiene (Friendchip DMX 16) weitergegeben, die per Midi mit dem Macbook verbunden war und so von der Evaluationssoftware Befehle zum Umschalten zwischen den Wiedergabesystemen entgegennehmen konnte.

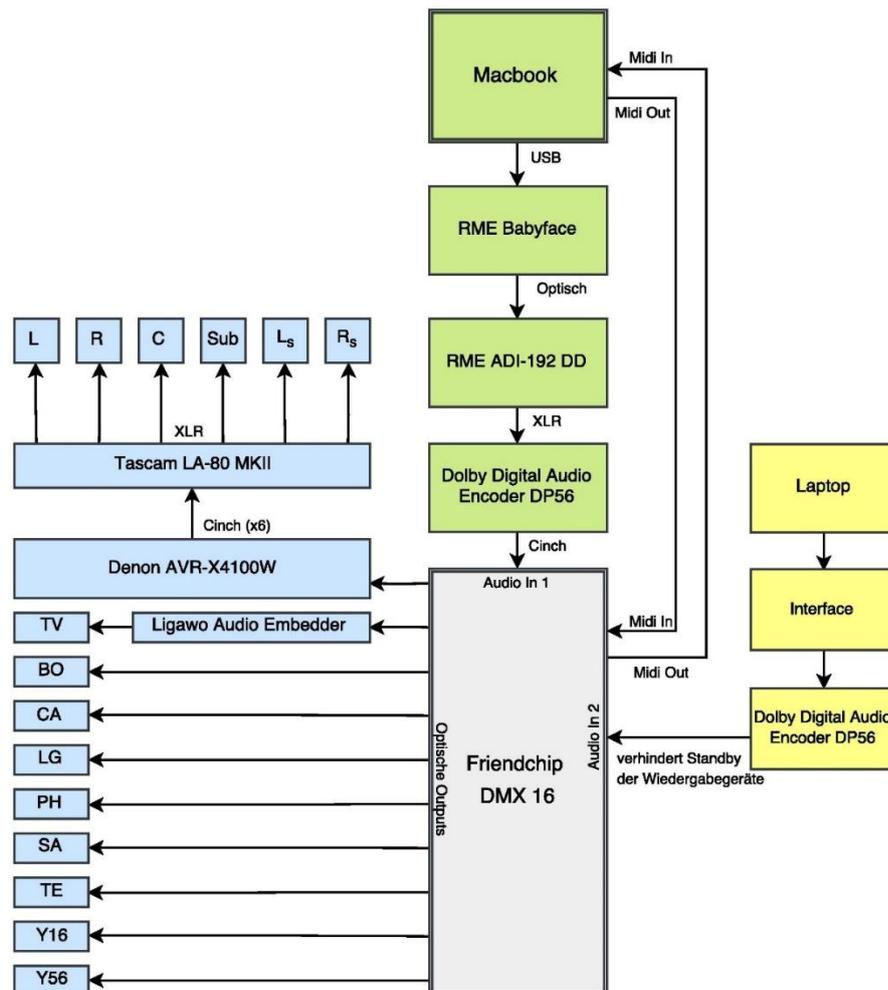


Abbildung 13: Schematische Darstellung des Signalflusses (Audio In 1 = Signal der Testsequenz, Audio In 2 = No-Standby-Signal)

Die Aufgabe der Kreuzschiene war es also die Testsequenz an das vom Probanden gewählte System weiterzugeben. Dazu war die Kreuzschiene mittels optischer Kabel mit allen zu evaluierenden Wiedergabegeräten verbunden. Außer dem Signal der Testsequenz erhielt die Kreuzschiene ein weiteres Audio-Signal, welches von einem Laptop generiert wurde und nicht hörbar war. Dieses Signal wurde von einem zweiten Dolby Digital Audio Encoder DP56 in das AC3-Format konvertiert und anschließend an die digitale Kreuzschiene übermittelt. Alle

angeschlossenen Wiedergabegeräte, auf denen die Testsequenz gerade nicht abgespielt wurde, erhielten das zweite Audio-Signal zur Wiedergabe. So sollte verhindert werden, dass die Soundbars nach einer gewissen Dauer ohne anliegendes Audio-Signal in den Standby-Modus wechselten.

Um das Signal an die verschiedenen Soundbars zu übermitteln, wurde jeweils der optische Eingang der Geräte genutzt. Die Wiedergabe über das TV-Gerät und das Mehrkanalsystem ist in Abschnitt 3.2.1 beschrieben.

Aufstellung und Einmessung des 5.1-Systems

Für die Planung der Aufstellung der Wiedergabesysteme war der gewählte Abhörabstand ausschlaggebend. Der Abhörabstand wurde auf 2 m festgelegt, da dies den Anforderungen der ITU-R BS.1116⁵⁰ und den Anforderungen der Soundbars⁵¹ entspricht. Das 5.1-System wurde weitgehend nach den Anforderungen der ITU-R BS.775⁵² aufgestellt. (siehe Abbildung 12) Die Wiedergabehöhe der Abhörmonitore lag bei 1,15 m und der Abhörabstand der Kanäle L, R und C wie oben angegeben bei 2 m. Der Abhörabstand der Kanäle L_s und R_s wurde aufgrund der schmalen Breite des Raumes auf 1,4 m verringert. Das Signal der Surround-Kanäle (L_s und R_s) wurde zum Ausgleich verzögert und mit einem geringeren Pegel wiedergegeben. Laufzeit- und Pegelanpassungen der Kanäle wurden mittels des AV-Receiver vorgenommen, um eine korrekte Wiedergabe durch das 5.1-System zu gewährleisten. (siehe Anhang A) Die Pegel der Lautsprecher wurden mithilfe von 1/f-Rauschen, sogenanntem „rosa Rauschen“, mit einer Toleranz von +/- 0,2 dB zueinander angepasst. Gemessen wurde am Abhörpunkt mit einem tragbaren Audio- und Akustik-Analysator des Modells „NTi Audio XL2“ mit einer A-Bewertung und einer Integrationszeit von 10 s. Der Subwoofer war hinter den Front-Kanälen mit einem Abhörabstand von 3,35 m platziert. Laufzeit- und Pegelanpassungen des Subwoofers wurden ebenfalls mithilfe des AV-Receiver vorgenommen. Es wurde eine Grenzfrequenz (Crossover-Frequenz) von 60 Hz gewählt. Das Einpegeln des Subwoofers geschah mithilfe des Real-Time-Analyzers (1/3 Oktaavband) des NTi Audio XL2. Dabei wurde darauf geachtet, einen möglichst linearen Frequenzgang im Bereich der Grenzfrequenz zu erreichen.

Nachdem das 5.1-System eingepegelt war, wurden Raumimpulsantworten der Kanäle L, R, C, L_s und R_s an der Abhörposition aufgenommen. Gemessen wurde die komplette Wiedergabekette und damit auch der AV-Receiver, welcher das Bassmanagement übernahm.

⁵⁰ (ITU-R BS.1116-3, 2015, S. 20)

⁵¹ Vgl. (Yamaha YSP-1600, 2017), (Yamaha YSP-5600, 2017, S. 13)

⁵² (ITU-R BS.775-3, 2012, S. 4)

Dementsprechend wurde das Testsignal je Kanal vom entsprechenden Abhörmonitor und dem Subwoofer anteilig wiedergegeben (Grenzfrequenz $f_g = 60$ Hz). Die Raumimpulsantworten der einzelnen Kanäle sind in Abbildung 14 dargestellt. Es ist zu sehen, dass die Kanäle R und C ab 8 kHz im Gegensatz zu den anderen Kanälen um ca. 2 dB abfallen. Im Bereich von 0,4 bis 4 kHz sind die Kanäle weitgehend deckungsgleich. In den unteren Mitten und Tiefen kommt es teilweise zu deutlichen Unterschieden im Frequenzgang. Z. B. hat der Centerkanal im Bereich zwischen 150 und 300 Hz eine Anhebung um etwa 5 dB im Vergleich zu den anderen Kanälen. Die gegebenen Unterschiede im Frequenzgang unterhalb von 400 Hz waren aufgrund der Eigenschaften des Versuchsraumes zu erwarten, da die Dimensionen des Raumes in Kombination mit den stark reflektierenden Wänden für Moden (stehende Wellen) unterhalb von 400 Hz sorgten. Diese Schwankungen im Frequenzgang konnten toleriert werden, da es sich bei dem getesteten 5.1-System nicht um eine explizite Referenz handelte. Den Messungen kann dennoch entnommen werden, dass sich das 5.1-System als High-Anker eignete.

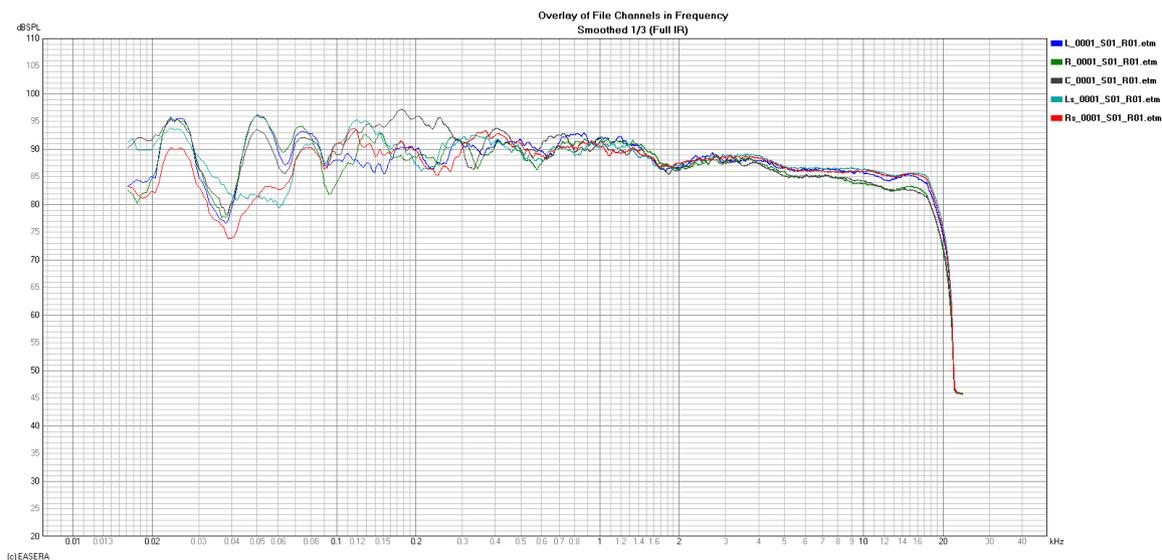


Abbildung 14: Raumimpulsantworten der Kanäle L, R, C, L_s und R_s

Aufstellung der Soundbars und des TV-Gerätes

Für die Aufstellung der Soundbars, des TV-Gerätes und des Center-Lautsprechers des 5.1-Systems wurde ein Regal mit höhenverstellbaren Böden konstruiert (siehe Abbildung 15). Das Regal war 1,46 m breit, 1,58 m hoch und 0,35 m tief. Auf Rück- und Seitenwände wurde verzichtet, um Veränderungen in der Klangfarbe der Wiedergabegeräte durch Reflexionen des Schalls an den Regalflächen zu vermeiden. Für die Positionierung des Center-Lautsprechers

wurde ein fester Boden auf einer Höhe von 0,98 m verschraubt, was einer Wiedergabehöhe von 1,15 m entspricht.

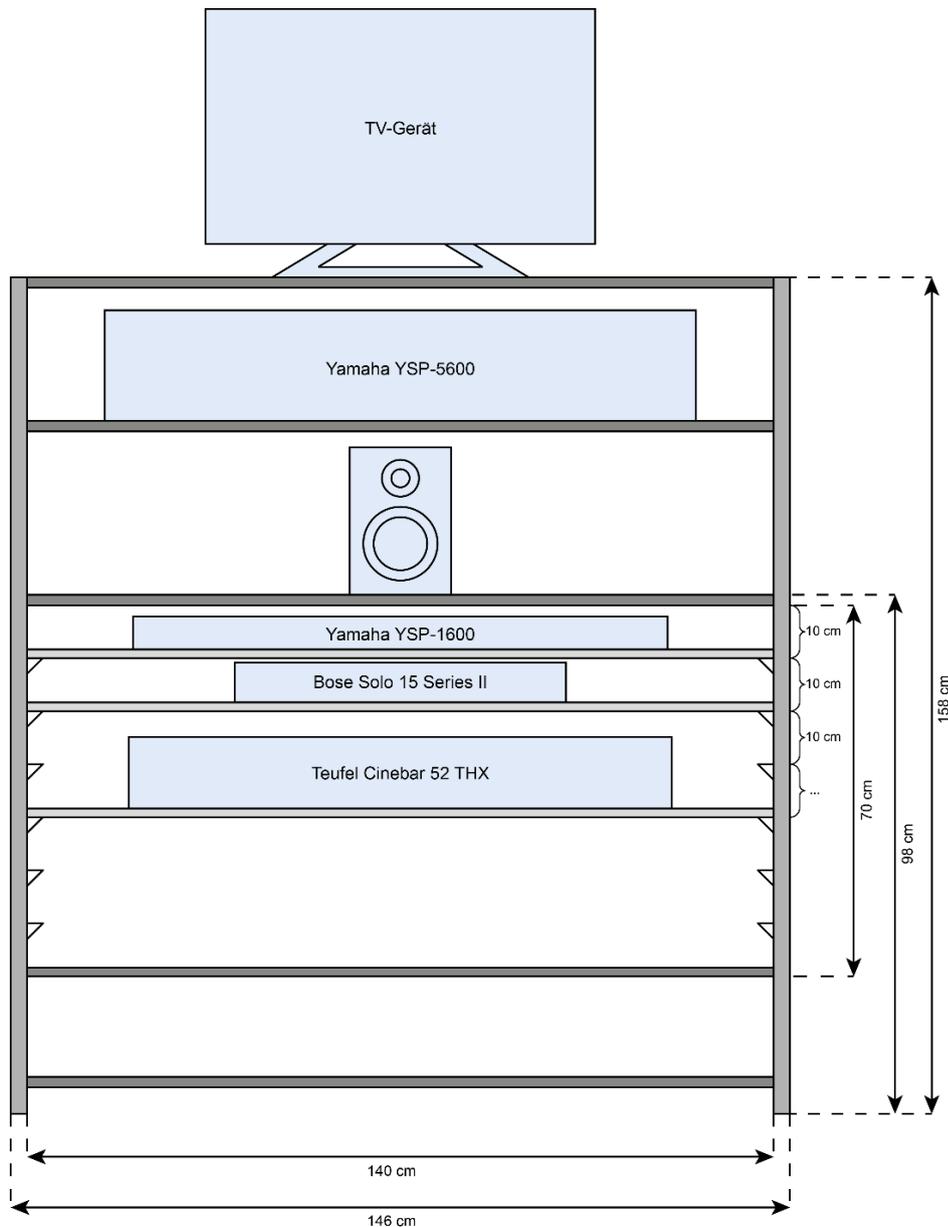


Abbildung 15: Regal zur Aufstellung der Wiedergabesysteme

Es wurden 4 Soundbars an den Positionen 1–4 im Regal aufgestellt. (siehe Abschnitt 3.2.1) Position 1 befindet sich direkt über dem Center-Lautsprecher auf einer festen Höhe von 1,31 m. Die Positionen 2, 3 und 4 befinden sich in absteigender Reihenfolge unterhalb des Center-Lautsprechers und variierten in der Höhe je nach aufgestellter Soundbar. Die verstellbaren Böden wurden während des Versuchs entsprechend den Maßen der Soundbars auf unterschiedlichen Höhen (0,1 m Intervalle) in das Regal geschoben. Durch das Verstellen der Böden wurde bei jeder Kombination an Soundbars eine möglichst geringe Varianz der Wiedergabehöhen ermöglicht. Die genauen Wiedergabehöhen der Soundbars innerhalb der

geprüften Kombinationen sind im Anhang D zu finden. Die Positionierung der Soundbars wird in Abschnitt 3.3 ausgewertet und somit bei der Evaluation berücksichtigt. Das TV-Gerät wurde oben auf dem Regal auf einer Höhe von 1,58 m aufgestellt, was einer Wiedergabehöhe von 1,83 m entspricht.

Die Subwoofer der Soundbars LG, PH, SA und TE wurden nach den Beschreibungen der jeweiligen Bedienungsanleitung⁵³ im Raum positioniert. Die Subwoofer LG und PH wurden links und rechts des Regals, die Subwoofer SA und TE hinter dem Regal aufgestellt. Die genauen Positionen sind in Abbildung 12 zu sehen. Der Subwoofer TE wurde auf dieselbe Weise eingepegelt wie der Klein+Hummel O 818.

Vor dem Regal und den Front-Lautsprechern des 5.1-Systems wurde während der Hörversuche ein akustisch durchlässiger Stoff gespannt, um eine optische Beeinflussung der Probanden zu vermeiden. (siehe Abbildung 42 und Abbildung 43 in Anhang B)

Abhörlautstärke

Kriterien für die Festlegung der Abhörlautstärke waren die möglichst genaue Beurteilung der wiedergegebenen Stimuli für die evaluierten Attribute durch den Zuhörer und das Vermeiden eines schnellen Ermüdens des Zuhörers. Die Abhörlautstärke sollte hoch genug sein, um beispielsweise kleine Details aus den Testsequenzen heraushören zu können. Um eine aussagekräftige Evaluation der Bassstärke zu ermöglichen, durfte die Abhörlautstärke nicht zu niedrig gewählt werden, da hohe und tiefe Frequenzen bei niedrigen Lautstärken leiser wahrgenommen werden als Mittenfrequenzen. Andererseits durfte die Abhörlautstärke nicht zu hoch gewählt werden, um ein schnelles Ermüden der Probanden während des Hörversuchs zu vermeiden. Außerdem sollte die Abhörlautstärke möglichst einem realistischen Abhörpegel im Wohnzimmer der Konsumenten entsprechen.

Eine Abhörlautstärke von 64,0 dBA wurde subjektiv vom Leiter der Untersuchungen vorgeschlagen und von einer Gruppe an Experten in einer Voruntersuchung verifiziert.

Nach jedem Umbau der Soundbars wurden diese mittels 1/f-Rauschen auf den gewählten Abhörpegel ($\pm 0,2$ dB) eingestellt. Die gewählte Abhörlautstärke war zufällig ähnlich der Lautstärke, wie sie bei der Untersuchung von Walton et al. (siehe Abschnitt 2.3.2) gewählt wurde (64,8 dBA).⁵⁴ Diese Tatsache bestätigt den gewählten Abhörpegel von 64,0 dBA.

⁵³ (LG SJ8, 2017, S. 13), (Philips HTL3180B, 2017, S. 7), (Samsung HW-J6500, 2017, S. 16), (Teufel Cinebar 52 THX, 2017, S. 11)

⁵⁴ (Walton, Evans, Kirk, & Melchior, 2016, S. 6)

3.2.6 Evaluationssoftware

Zur Erhebung der Daten wurde eine Nutzeroberfläche benötigt, auf der die Probanden die untersuchten Systeme evaluieren konnten. Es wurde eine speziell für diese Untersuchungen am IRT entwickelte Evaluationssoftware verwendet. Diese wurde von Mitarbeitern des IRT geschrieben und entsprechend den Anforderungen der MS-IPM angepasst.⁵⁵ Funktionsweise und Aufbau der Software sind im folgenden Abschnitt 3.2.7 zusammen mit dem Ablauf des Hörversuchs beschrieben. Die Nutzeroberfläche der Software ist in Abbildung 18 und Abbildung 19 zu sehen.

3.2.7 Ablauf Hörversuch

In diesem Abschnitt wird der Ablauf des Hörversuchs beschrieben, welcher in Abbildung 16 grafisch dargestellt ist. Den Probanden wurde zunächst eine Einführung gegeben, in der erklärt wurde, worum es bei der Untersuchung geht und wie diese abläuft. Zudem gab es eine schriftliche Anleitung zum Hörversuch (siehe Anhang D). Vor Beginn des eigentlichen Hörversuchs absolvierten die Probanden eine Trainingssession, während der die Nutzeroberfläche der Software und das Vorgehen bei der Evaluierung vom Versuchsleiter erklärt wurde. Diese Trainingssession diente zur Gewöhnung an die Versuchsumgebung, die zu evaluierenden Systeme und die präsentierten Testsequenzen. Es wurde dabei ein Trial⁵⁶ für die Bewertung der Gesamtqualität und ein Trial für die Bewertung eines Attributs inklusive Ideal-Point durchgeführt. Anschließend konnten noch einmal Fragen zum Hörversuch an den Versuchsleiter gestellt werden. Danach begann der Hauptteil und damit der eigentliche Hörversuch.

Der Hauptteil des Hörversuchs bestand aus zwei verschiedenen Teilen:

- 1) Bewertung der subjektiven Gesamtqualität
- 2) Bewertung der Attribute und der Ideal-Points

Die Einführung dauerte ca. 15 min, Teil 1 ebenfalls ca. 15 min und Teil 2 ca. 60 min. In der MS-IPM ist vorgegeben, dass eine Session eine Länge von 120 min nicht überschreiten darf und alle 20–30 min eine Pause eingelegt werden sollte. Um eine zu lange Dauer einer Session zu vermeiden, wurde der Hörversuch in zwei getrennten Sessions absolviert. Vormittags wurde in Session A die Einführung, Teil 1 und die ersten 6 Trials von Teil 2 durchgeführt. Danach

⁵⁵ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 7–10)

⁵⁶ Ein Vergleich der evaluierten Wiedergabesysteme für eine Testsequenz und eine abhängige Variable, welchen ein Proband absolviert, wird als Trial bezeichnet.

hatten die Probanden etwa 3-4 Stunden Pause. Nachmittags wurden dann in Session B die restlichen 24 Trials von Teil 2 durchgeführt. Session A und Session B hatten somit jeweils etwa eine Dauer von ca. 45 min.

Im Folgenden werden Teil 1 und 2 des Hörversuchs genauer beschrieben.

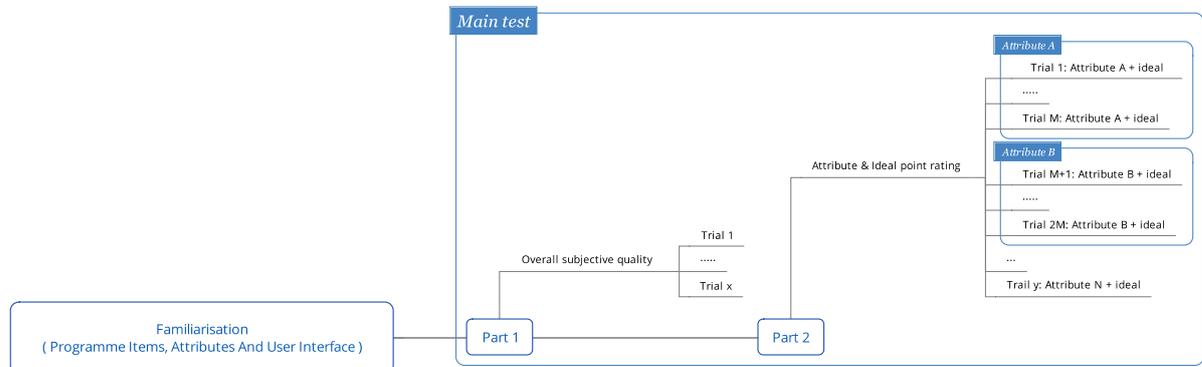


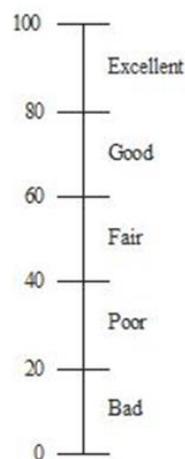
Abbildung 16: Ablauf eines Hörversuchs nach den Richtlinien der MS-IPM⁵⁷

Subjektive Gesamtqualität (Teil 1)

Abbildung 18 zeigt die Nutzeroberfläche der Software zur Bewertung der subjektiven Gesamtqualität der Wiedergabesysteme, auf welche sich die folgende Beschreibung bezieht. Die 6 zu evaluierenden Systeme wurden in einem sogenannten Trial mittels einer Testsequenz direkt miteinander verglichen. Ein Trial entsprach dabei einer Bewertung der 6 Systeme von einem Probanden für eine Testsequenz. Insgesamt wurden die Systeme für 6 Testsequenzen bewertet, was zu einer Gesamtzahl von 6 Trials führte. Die Wiedergabegeräte waren dabei anonymisiert und in einer zufälligen Reihenfolge mit den Buchstaben A – F benannt.

Die Bewertung fand auf einem sogenannten *Continuous Quality Scales* (CQS) statt. (siehe Abbildung 17) Die Skalen hatten je 101 Stufen, sodass die Stimuli mit Werten von 0 bis 100 bewertet werden konnten. Zu Beginn eines Trials lagen die Marker auf den Skalen bei einer Default-Einstellung von 50.

⁵⁷ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 12)

Continuous quality scale*Abbildung 17: Continuous quality scale (CQS)*

In diesem Teil der Untersuchung sollte darauf geachtet werden, welches System insgesamt als besser und welches als schlechter empfunden wird. Welche Kriterien dabei beachtet wurden, war jedem Probanden selbst überlassen. Hier ging es rein um subjektives Gefallen. Die Systeme sollten so jeweils auf ihrer Skala bewertet und in Relation zueinander gebracht werden. Die Wiedergabe der Testsequenz konnte über den Play- und den Loop-Button, sowie über die Loop-Marker gesteuert werden. Der Play-Button diente zum Starten und Stoppen der Testsequenz. Der Loop-Button aktivierte bzw. deaktivierte das Spielen der Testsequenz in Dauerschleife und mittels der Loop-Marker konnte ein bestimmter Bereich der Testsequenz ausgewählt werden.

Per Klick auf die Buchstaben A – F konnte zwischen den Systemen hin und her geschaltet werden. Die Testsequenz lief dabei nahtlos weiter und wurde lediglich von einem anderen System wiedergegeben. Bei einigen Soundbars dauerte es jedoch ca. 1 s bis das Audio-Signal zu hören war. Dies wurde für die Versuche als eine unerhebliche Unterbrechung eingestuft.

Nach vollständiger Bewertung eines Trials, konnte er durch Klick auf den Button „Nächstes Trial“ mit dem folgenden Vergleich fortgefahren werden. Die Reihenfolge der Testsequenzen war dabei ebenfalls zufällig, um Bias-Effekte zu vermeiden. Nach Abschluss aller Trials war Teil 1 des Hörversuchs beendet und es konnte mit Teil 2 begonnen werden.

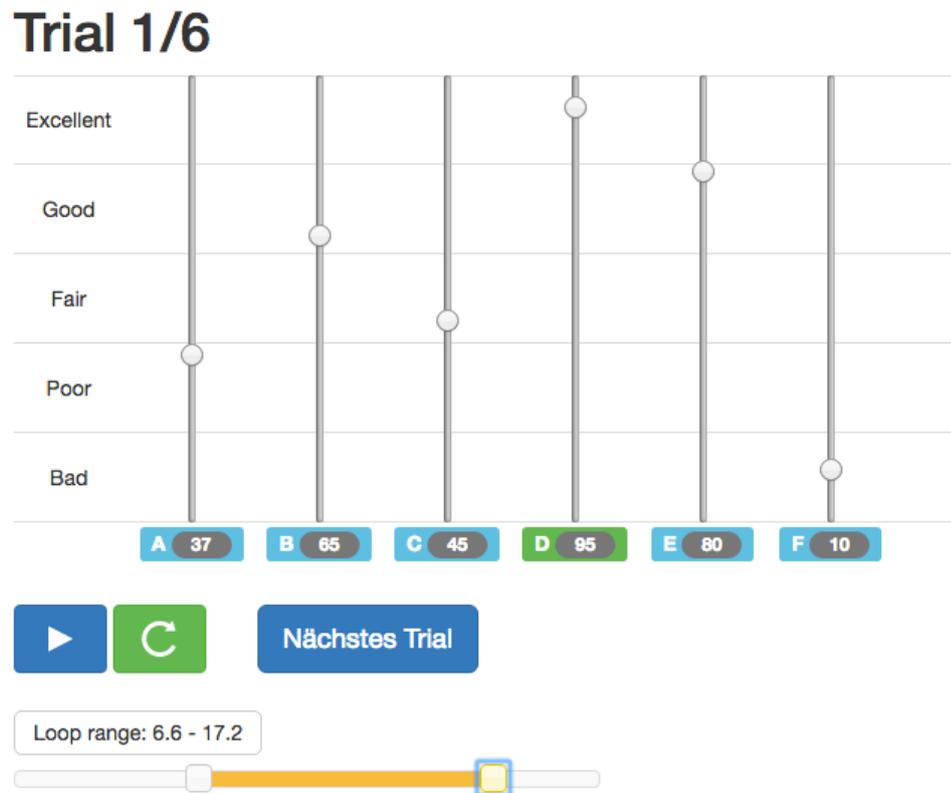


Abbildung 18: Nutzeroberfläche der Versuchssoftware – Bewertung der subjektiven Gesamtqualität

Bewertung der Attribute und der Ideal-Points (Teil 2)

Abbildung 19 zeigt die Nutzeroberfläche der Bewertung der Attribute und der Ideal-Points, auf welche sich die folgende Beschreibung bezieht. Nutzeroberfläche und Ablauf waren hierbei sehr ähnlich zur Bewertung der subjektiven Gesamtqualität. Es wurden im Versuch die gleichen 6 Systeme mittels der gleichen 6 Testsequenzen evaluiert. Allerdings wurden in diesem zweiten Teil die 5 zuvor ausgewählten Attribute (siehe Abschnitt 3.2.4) anstelle der subjektiven Gesamtqualität bewertet, was zu einer Gesamtzahl von 30 Trials führte (5 Attribute x 6 Testsequenzen). Damit war Teil 2 wesentlich länger als Teil 1. Die Attribute waren wie die Systeme und die Testsequenzen in einer zufälligen Reihenfolge angeordnet. Der Ablauf der einzelnen Trials erfolgte dabei wie in Abbildung 16 dargestellt. Links oben im Versuchsfenster war zu sehen, welches Attribut momentan abgefragt wurde. Am rechten Rand war zudem eine kurze Attributbeschreibung gegeben, um Missverständnisse bei der Bewertung zu vermeiden. Die Enden der Skalen (Maximum & Minimum) waren hier je nach Attribut mit entsprechenden Bezeichnungen versehen. Zusätzlich zu den 6 Skalen für die Wiedergabesysteme, war eine Skala für die Bewertung des sogenannten Ideal-Point vorhanden. Dieser steht für den idealen Wert eines Attributs. Der ideale Wert muss nicht dem Maximum der Skala entsprechen. Z. B.

ist es bei der Evaluation der Basstärke auch denkbar, dass sich der ideale Wert des Attributs eher im mittleren Bereich der Skala befindet. Die Probanden bewerteten den Ideal Point in jedem Trial, also für jede Testsequenz, nach ihrem subjektiven Empfinden. Nach Absolvieren der 30 Trials war Teil 2 beendet und damit auch der komplette Hörversuch.

Trial 2/30

Basstärke

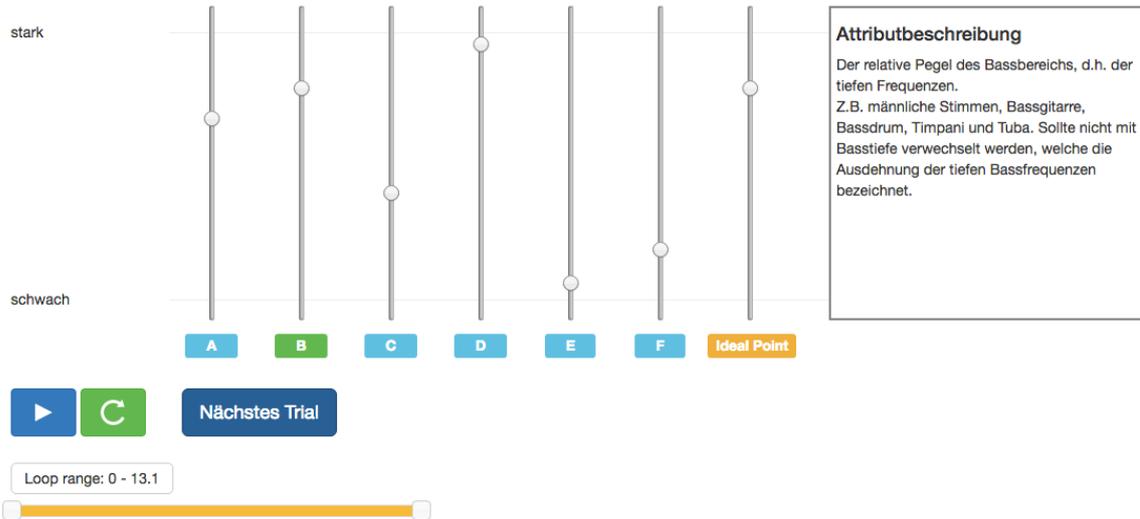


Abbildung 19: Nutzeroberfläche der Versuchssoftware – Bewertung des Attributs Basstärke und dessen Ideal Point

3.3 Versuchsauswertung

Nach Abschluss der Hörversuche wurden die Ergebnisse in einer statistischen Analyse mithilfe der Software XLSTAT und Microsoft Excel ausgewertet. Die beiden Experimente (5.1 und Stereo) wurden zunächst getrennt analysiert und anschließend miteinander verglichen.

Pro Experiment wurden die verschiedenen Datensätze (Gesamtqualität, Attributbewertung, Ideal-Point-Bewertung) erst einzeln und später gemeinsam ausgewertet. Die statistische Analyse wurde anhand der Empfehlungen in der MS-IPM⁵⁸ und in der ITU-R BS.1534⁵⁹ durchgeführt.

Die Verteilung der vorliegenden Daten wurde mithilfe des Shapiro-Wilk-Verfahrens geprüft, wobei festgestellt wurde, dass die Daten annähernd einer Normalverteilung folgen. (siehe

⁵⁸ (ITU-R BS.[MS-IPM], 2017, S. 14–24)

⁵⁹ (ITU-R BS.1534-3, 2015, S. 14)

Anhang I) Die Verteilung der Bewertungen des Mehrkanalsystems und des TV-Gerätes sind in beiden Experimenten leicht links- bzw. rechts-schief.

Anschließend wurde eine ANOVA (Varianzanalyse) durchgeführt, um den Einfluss der unabhängigen Variablen (Wiedergabesystem, Testsequenz, Proband) auf die Bewertung der abhängigen Variablen (Gesamtqualität, Attribute, Ideal-Point) zu untersuchen. Den erwartungsgemäß größten Einfluss auf die Bewertung hatte das Wiedergabesystem, gefolgt von den Testsequenzen und den Probanden. (siehe Anhang H) Der Einfluss der Probanden wurde insgesamt als vernachlässigbar eingestuft. Aufgrund der Aufteilung der Wiedergabesysteme auf verschiedene Probandengruppen wurde kein Proband aus der Untersuchung ausgeschlossen.

Um die Aussagekraft der erhobenen Daten zu verifizieren, wurde untersucht, ob die Wiedergabehöhe der Soundbars einen Einfluss auf die Bewertung der Gesamtqualität hatte. Dafür wurden die Bewertungen der Gesamtqualität über die Soundbars und die Testsequenzen gemittelt und für jede der vier möglichen Aufstellungspositionen der Soundbars im für die Hörversuche angefertigten Regal (siehe Abschnitt 3.2.1 und 3.2.5) ein Durchschnittswert berechnet. Die Mittelwerte der vier Wiedergabepositionen liegen bei der 5.1-Untersuchung im Bereich 43–50 und bei der Stereo-Untersuchung im Bereich 45–57 (Min.: 0, Max.: 100). Es zeigt sich ein leichter Abfall zu den unteren Positionen, was vermuten lässt, dass die Wiedergabequalität von Soundbars mit einer niedrigen Aufstellungshöhe tendenziell als etwas schlechter wahrgenommen wird, als bei einer Aufstellung auf Ohrhöhe oder darüber. Die Unterschiede in der Bewertung fallen allerdings eher gering aus. Da jede Soundbar in jeder der 4 Positionen geprüft wurde, ist der Einfluss der Aufstellungshöhe auf die Bewertung der Soundbars bereits bei der Planung der Hörversuche berücksichtigt und eliminiert worden. Die Diagramme zur Auswertung der Wiedergabehöhen sind in Anhang D zu finden.

Bei der Analyse der erhobenen Daten wurden deskriptive Statistiken erstellt und als Boxplot- und Netz-Diagramme visualisiert, um die Ergebnisse des Experiments anschaulich darzustellen.

Bei der Darstellung der Boxplot-Diagramme entspricht das rote Kreuz dem Mittelwert und der schwarze Querstrich innerhalb der Box dem Median. Das untere Ende der Box steht für das 1. Quartil und das obere Ende für das 3. Quartil. Das bedeutet, dass sich 50% der Bewertungen innerhalb der Box befinden. Die Whisker und die schwarzen Punkte geben Minimum, Maximum und Ausreißer an.

In den folgenden Abschnitten 3.3.1–3.3.3 werden die Ergebnisse der Untersuchung visualisiert, analysiert und interpretiert. Zunächst werden, getrennt für die beiden Experimente (5.1 und Stereo), die Bewertungen der Wiedergabesysteme für die evaluierten Variablen betrachtet. Anschließend werden die Ergebnisse der beiden Experimente miteinander verglichen.

3.3.1 Experiment A: 5.1-Wiedergabe

In Experiment A wurde die 5.1-Wiedergabequalität der Wiedergabesysteme verglichen. Dazu evaluierten 24 Probanden 10 Wiedergabesysteme für 6 abhängige Variablen und 6 Testsequenzen.

Subjektive Gesamtqualität – 5.1

Die Bewertungen der subjektiven Gesamtqualität der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 20 dargestellt.

Es ist zu sehen, dass das TV-Gerät von allen Systemen im Testfeld am schlechtesten bewertet wurde. Bei den Soundbars sticht lediglich die CA etwas heraus. Sie wurde signifikant besser bewertet als BO und Y16, da sich die 50%-Konfidenzintervalle (Boxen) nicht überlappen. Gibt es starke Überlappungen kann auch bei unterschiedlichen Mittelwerten oder Medianen nicht von einer hohen Signifikanz ausgegangen werden. Zwischen den Bewertungen der restlichen 7 Soundbars gibt es nur geringe Unterschiede. Sie bewegen sich alle im Mittelfeld der Bewertungsskala. Die CA und das 5.1-System wurden ähnlich gut bewertet, wobei das 5.1-System etwas besser abgeschnitten hat. Das 5.1-System wurde signifikant besser bewertet als die übrigen Soundbars und das TV-Gerät.

Die Analyse ergibt, dass ein 5.1-System bei der Wiedergabe von 5.1-Content in der Regel einer Soundbar vorgezogen wird. Nur die CA Soundbar hat eine vergleichbare Wiedergabequalität. Die Wiedergabe durch Soundbars wird allerdings in jedem Fall der Wiedergabe mittels TV-Gerät vorgezogen.

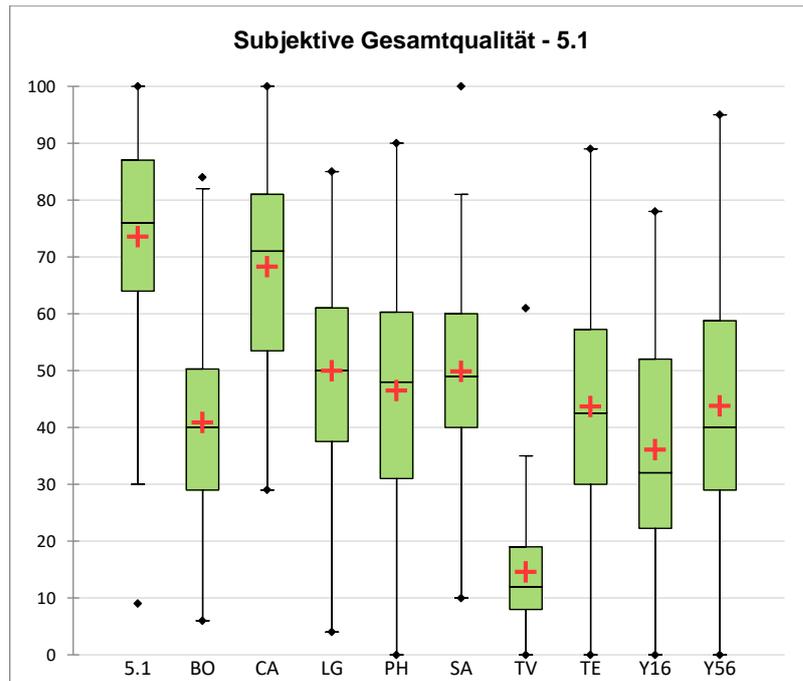


Abbildung 20: Subjektive Gesamtqualität der Wiedergabesysteme - 5.1

Attributbewertung – 5.1

Zusätzlich zu den Bewertungen der einzelnen Wiedergabesysteme ist bei der Darstellung der Ergebnisse der Attributbewertung in den Boxplot-Diagrammen der zugehörige Ideal Point eingezeichnet. Dieser entspricht, wie in Abschnitt 3.1.2 beschrieben, dem subjektiv idealen Wert für ein Attribut. Es handelt sich also um den Wert, den die Probanden im Schnitt für das jeweilige Attribut unabhängig vom Wiedergabesystem als ideal erachten. Je näher sich der Mittelwert einer Soundbar also am Ideal Point befindet, desto eher entspricht die Soundbar bei diesem Attribut dem hypothetischen Ideal. Ob ein Wiedergabesystem besser bewertet ist als ein anderes, hängt im Folgenden davon ab, ob sich dessen Mittelwert (oder Median) näher am Ideal Point befindet als der Mittelwert des anderen.

Umhüllung – 5.1

Die Bewertungen des Attributs „Umhüllung“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 21 dargestellt.

Die Mittelwerte aller Wiedergabesysteme befinden sich unterhalb des Ideal Points, welcher sich hier im Mittel bei einem Wert von 79 befindet. Einzig das 5.1-System und die CA erreichen annähernd den Ideal Point, da sich dieser innerhalb der 50%-Konfidenzintervalle der beiden Systeme befindet. Die CA wurde zudem eindeutig besser bewertet als alle anderen Soundbars und das TV-Gerät. Die restlichen Soundbars bewegen sich alle im unteren Mittelfeld der Bewertungsskala. Das 5.1-System wurde eindeutig besser bewertet als LG, TE, Y16 und das

TV-Gerät. Das TV-Gerät schneidet am schlechtesten ab, wobei der Abstand zu den anderen Systemen nicht so groß ist wie bei der subjektiven Gesamtqualität.

Interessant ist die Tatsache, dass die CA mit einer sehr geringen Streuung gut bewertet wurde, was sich dadurch zeigt, dass deren 50%-Konfidenzintervall deutlich schmäler ist, als die Intervalle der anderen Systeme. Das bedeutet, dass die CA von den Probanden für verschiedene Testsequenzen als sehr ähnlich umhüllend wahrgenommen wurde. Die Surround-Wiedergabe durch die Virtual Surround Technologie, welche die Canton DM 90.3 nutzt, wird tendenziell als umhüllender wahrgenommen als die Surround-Wiedergabe durch die diskreten Kanäle des 5.1-Systems. Anzumerken ist allerdings, dass das Attribut Umhüllung weder die genaue Lokalisation einzelner Klangquellen noch die Qualität der Umhüllung miteinschließt. Es gibt also lediglich den Grad der Umhüllung an.

Die Ergebnisse zeigen, dass sowohl durch ein diskretes Mehrkanalsystem als auch durch eine Soundbar (CA) die vom Konsumenten gewünschte Umhüllung bei 5.1-Wiedergabe erzielt werden kann. Der Grad der Umhüllung variiert je nach Soundbar-Modell allerdings sehr stark. Von den Soundbars schnitt in der Untersuchung die CA mit Virtual Surround am besten ab, wohingegen die Soundbars Y16 und Y56 mit Beamforming nur mittelmäßig bewertet wurden.

Das lässt vermuten, dass Virtual Surround besser funktioniert als Beamforming, was allerdings nur für die wahrgenommene Umhüllung im Sweetspot und die evaluierten Systeme geprüft wurde. Es sind weitere Untersuchungen nötig, um diese These zu überprüfen.

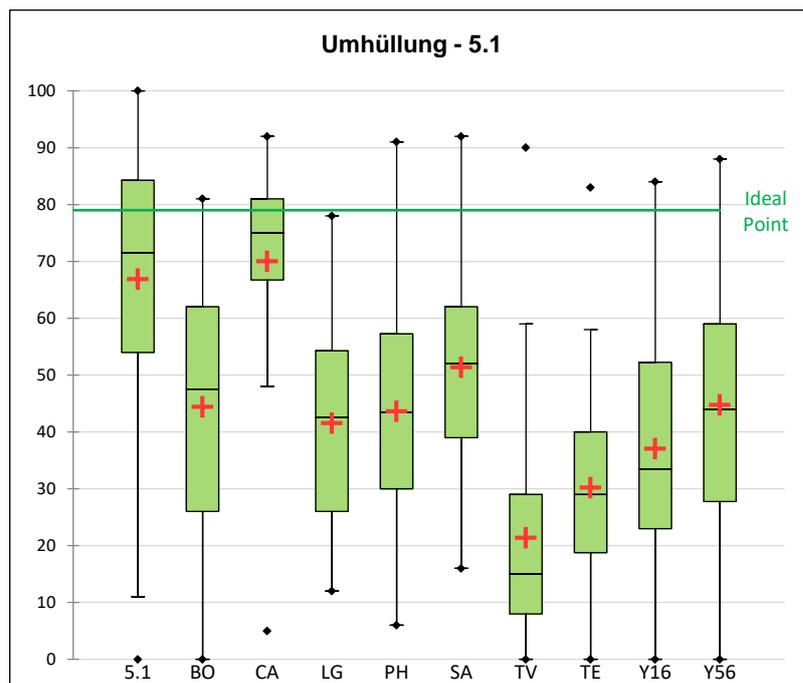


Abbildung 21: Umhüllung - 5.1

Natürlichkeit – 5.1

Die Bewertungen des Attributs „Natürlichkeit“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 22 dargestellt.

Alle Mittelwerte der Wiedergabesysteme befinden sich deutlich unterhalb des Ideal Points, was bedeutet, dass die von den Probanden gewünschte ideale Natürlichkeit des Klangs von keinem Wiedergabesystem erreicht wird. Das TV-Gerät hat signifikant schlechter abgeschnitten als alle Soundbars und das 5.1-System. Die Soundbars haben insgesamt ähnlich gut abgeschnitten. Das 5.1-System hat eindeutig besser abgeschnitten als der Großteil der Soundbars und das TV-Gerät. Lediglich die Soundbars CA, LG und SA, welche alle Virtual Surround nutzen, haben Überschneidungen mit dem 5.1-System.

Es ist zu sehen, dass das 5.1-System bei der Natürlichkeit des Klangs wie erwartet am besten abschneidet. Bemerkenswert ist, dass die CA bei der Natürlichkeit große Überlappungen mit dem 5.1-System hat und somit nicht eindeutig schlechter abschneidet als das Mehrkanalsystem. Das TV-Gerät ist in Sachen Natürlichkeit klar abgeschlagen.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle Wiedergabesysteme noch Verbesserungspotenzial bezüglich der Natürlichkeit des Klangs haben. Der Konsument wünscht sich eine noch realistischere, natürlichere Wiedergabe. Ein hochwertiges Studio-Mehrkanalsystem bietet tendenziell einen natürlicheren Klang als Soundbars, welche wiederum eine bessere Natürlichkeit als ein TV-Gerät aufweisen.

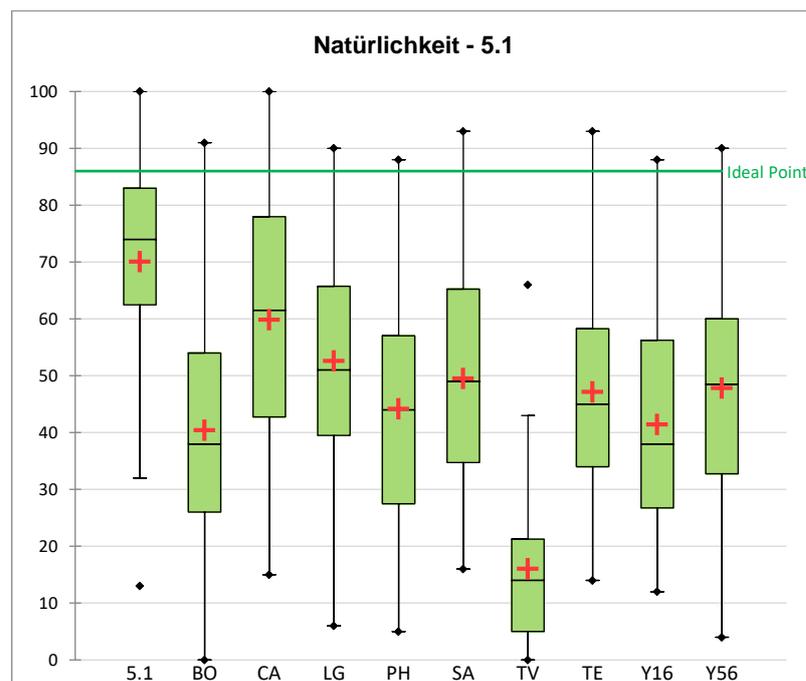


Abbildung 22: Natürlichkeit - 5.1

Bassstärke – 5.1

Die Bewertungen des Attributs „Bassstärke“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 23 dargestellt.

Interessant ist, dass der Ideal Point hier deutlich niedriger bewertet wurde, als bei allen anderen Attributen. Er befindet sich etwa bei dem Wert 66. Das lässt darauf schließen, dass die meisten Probanden keine übermäßig laute Basswiedergabe wünschen, sondern ein Maß, welches dem Content angemessen ist. Bemerkenswert ist, dass vier Soundbars (CA, LG, PH und SA) und das 5.1-System den Ideal Point treffen, da sich dieser innerhalb der 50%-Boxen dieser Systeme befindet. Das 5.1-System, CA, LG, PH und SA entsprechen daher annähernd dem Ideal Point. Bei den anderen Attributen erreichen nicht so viele Wiedergabesysteme das Ideal. Der Mittelwert der CA stimmt dabei sogar fast exakt dem Ideal Point überein. Die Soundbars haben hier insgesamt im Vergleich zum 5.1 System ähnlich gut abgeschnitten. Das 5.1-System ist nur signifikant besser als das TV-Gerät, welches signifikant schlechter als alle anderen Wiedergabesysteme bewertet wurde.

Bei den Soundbars, die gut bei der Bassstärke abgeschnitten haben, handelt es sich in der Regel um Geräte mit einem externen Subwoofer (LG, PH, SA). Eine Ausnahme stellt die CA dar, welche ein großes Gehäuse hat (siehe Abschnitt 3.5) und deutlich schwerer und wuchtiger ist als die anderen Soundbars. Die CA hat trotz fehlendem Subwoofer bei der Bassstärke am besten abgeschnitten. Die anderen Soundbars ohne externen Subwoofer (BO, Y16 und Y56) haben bei der Bassstärke erwartungsgemäß tendenziell schlechter abgeschnitten als die Soundbars mit externem Subwoofer.

Es ist anzumerken, dass die Bassstärke lediglich der Lautstärke der Bassfrequenzen bzw. der tiefsten wiedergegebenen Frequenzen entspricht. Das heißt die Qualität der Basswiedergabe und die Tiefe der Basswiedergabe sind nicht berücksichtigt. Die Erfahrungen der Hörversuche zeigen, dass einige Soundbars wie LG und PH zwar eine laute Wiedergabe der tiefen Frequenzen aufweisen, allerdings der Bassbereich häufig nicht sehr tief reicht und die Qualität der Basswiedergabe nicht ideal ist. Beide Soundbars (LG und PH) haben vergleichsweise kleine Subwoofer.

Wenn bei einem Wiedergabesystem keine echten Bassfrequenzen vorhanden waren, wurde von den Probanden in der Regel die wahrgenommene Lautstärke der tiefen Mittenfrequenzen als Bassstärke bewertet. Da bei den Hörversuchen nicht nach der Basstiefe oder der Qualität der Basswiedergabe gefragt wurde und zudem keine Referenz vorhanden war, ist eine solche

Einschätzung der Systeme durch die Probanden völlig legitim. Diese Faktoren sollten allerdings bei der Analyse und Interpretation der Ergebnisse beachtet werden. Subjektiv wurde vom Versuchsleiter und einer Gruppe von Experten festgestellt, dass einzig das diskrete Mehrkanalsystem wirklich tiefe Bassfrequenzen wiedergeben konnte.

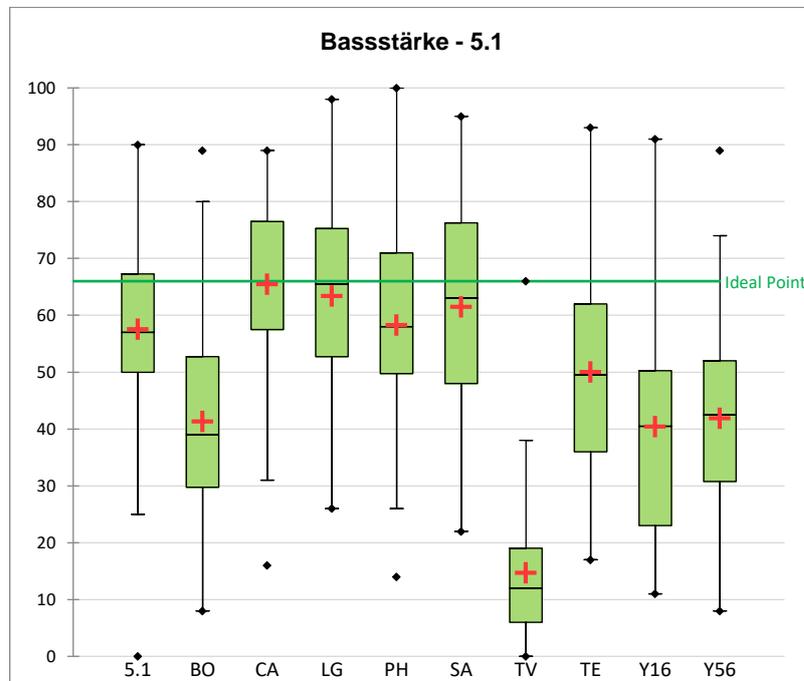


Abbildung 23: Bassstärke - 5.1

Detailliertheit – 5.1

Die Bewertungen des Attributs „Detailliertheit“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 24 dargestellt.

Das Boxplot-Diagramm der Detailliertheit weist Ähnlichkeiten zum Boxplot-Diagramm der Natürlichkeit auf. Der Ideal Point befindet sich hier ebenfalls oberhalb der 50%-Boxen aller Wiedergabesysteme. Das TV-Gerät wurde auch hier am schlechtesten bewertet, allerdings nicht eindeutig schlechter als TE. Y16 weist ebenfalls minimale Überlappungen mit dem TV-Gerät auf, wurde allerdings tendenziell besser bewertet als dieses. Die Soundbar CA und das 5.1-System sind am besten bewertet, wobei der Abstand zu einigen anderen Soundbars (LG und SA) nicht sehr groß ist.

Insgesamt ist das Testfeld bei der Detailliertheit enger beieinander als bei anderen Attributen. Das deckt sich mit den Aussagen einiger Probanden nach den Hörversuchen, welche anmerkten, dass je nach Wiedergabesystem unterschiedliche Details einer Testsequenz zum Vorschein traten, was die Bewertung dieses Attributs erschwerte. Eine mögliche Erklärung dafür sind die

unterschiedlichen Färbungen im Frequenzgang, welche Betonungen verschiedener Details in einer Mischung zur Folge haben könnten.

Die Analyse ergibt, dass Unterschiede in der Detailliertheit des Klangs zwischen den Systemen nur gering ausfallen. Allgemein wünscht sich der Zuhörer eine detailreichere Wiedergabe.

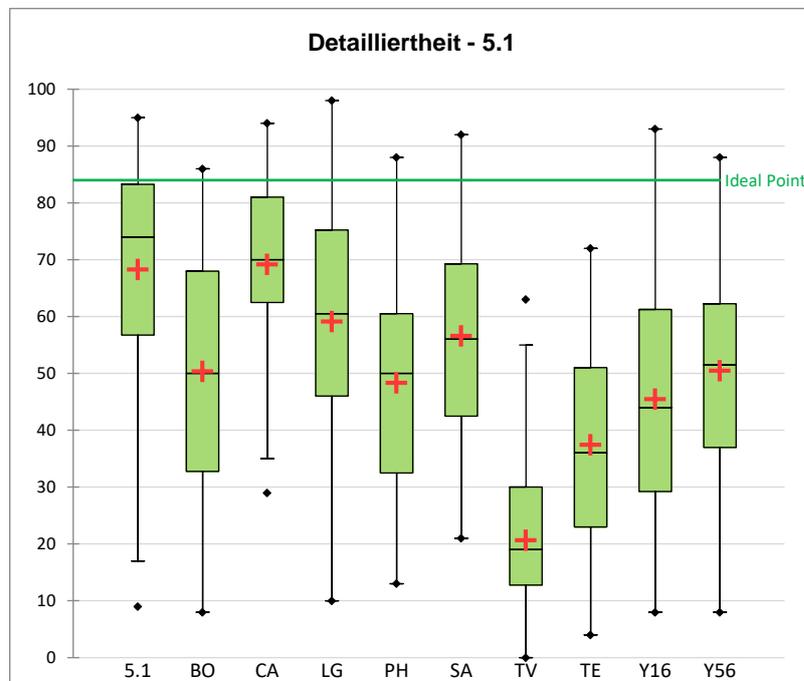


Abbildung 24: Detailliertheit - 5.1

Dosiger Klang (Canny) – 5.1

Die Bewertungen des Attributs „Dosiger Klang (Canny)“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 25 dargestellt.

In diesem Fall befindet sich der Ideal Point bei einem gemittelten Wert von 13 und damit eher am unteren Ende der Skala. Erfahrungsgemäß wird ein als „dosig“, also mittenbetont, wahrgenommener Klang eher als schlecht empfunden. Deshalb entspricht die Evaluierung des Ideal Points den Erwartungen. Ein Klang möglichst frei von „dosigen“ Mittenresonanzen scheint also das Ideal der meisten Probanden zu sein.

Alle Soundbars und das TV-Gerät befinden sich oberhalb des Ideal Points. Einzig das 5.1-System liegt zum Teil auf dem Ideal-Point. Das Diagramm ist ähnlich zum vertikal gespiegelten Diagramm der Natürlichkeit. Der Dosige Klang und die Natürlichkeit scheinen also negativ zu korrelieren. Das 5.1-System hat bei diesem Attribut am besten abgeschnitten. Es wurde signifikant besser bewertet als das TV-Gerät und die Soundbars außer CA, LG und TE, wobei LG allerdings nur geringe Überlappungen mit dem 5.1-System aufweist. Von den Soundbars

wurde die CA am besten eingestuft, allerdings nur eindeutig besser als Y16 und das TV-Gerät. Das TV-Gerät ist eindeutig schlechter als alle Wiedergabesysteme außer Y16.

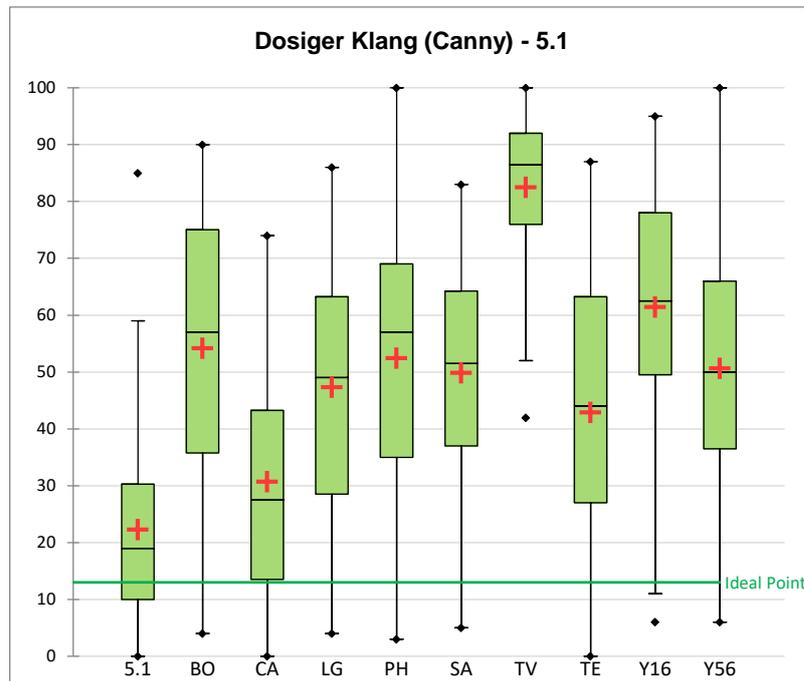


Abbildung 25: Dosiger Klang (Canny) - 5.1

Ideal Profile – 5.1

Das ideale Profil eines hypothetischen Wiedergabesystems entspricht den idealen Werten der evaluierten Attribute und ergibt sich aus den Ideal-Point-Bewertungen der Probanden für alle Testsequenzen.

Abbildung 26 zeigt das „Ideal Profile“ für die 5.1-Wiedergabe und Abbildung 27 zusätzlich die Schwankungsbereiche der Bewertungen der Ideal Points.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass ein Klang als besser wahrgenommen wird, je natürlicher und detaillierter er ist. Auch der Grad der Umhüllung sollte bei Wiedergabe von 5.1-Content relativ hoch sein. Ein stark umhüllender Klang führt für den Großteil der Probanden also auch zu einem besseren Hörerlebnis. Allerdings scheint auch ein zu hohes Maß an Umhüllung möglich zu sein. Der Ideal Point der Bassstärke liegt im Mittel bei 66. Eine ordentliche Bassstärke ist von den Probanden für ein gutes als Hörerlebnis erwünscht, jedoch sollte die Lautstärke der Bassfrequenzen ein gewisses Maß nicht überschreiten. Interessant ist außerdem, dass der Schwankungsbereich bei der Bewertung der Bassstärke deutlich größer ist als bei den anderen Attributen, was darauf hindeutet, dass die Probanden sehr unterschiedliche Vorstellungen von der idealen Lautstärke der Bassfrequenzen haben.

„Dosige“ Mittenfrequenzen scheinen von den Probanden überhaupt nicht erwünscht zu sein. Der Ideal Point des Attributs „Dosiger Klang“ liegt unter 20. Das passt mit der Bewertung des Ideal Points der Natürlichkeit zusammen, da „dosige“ Resonanzfrequenzen den Gesamtklang erfahrungsgemäß eher unnatürlicher machen.

Für eine ideale 5.1-Wiedergabe fordern die Zuhörer also einen sehr natürlichen und detaillierten Klang, welcher sie stark umhüllt und eine ordentliche, dem Content angemessene Bassstärke mit sich bringt.

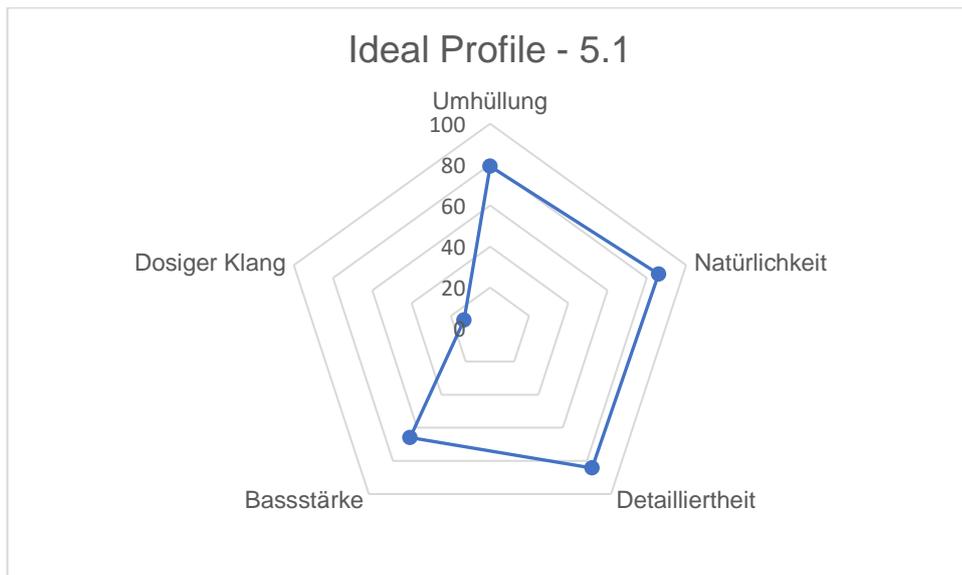


Abbildung 26: Ideal Profile - 5.1

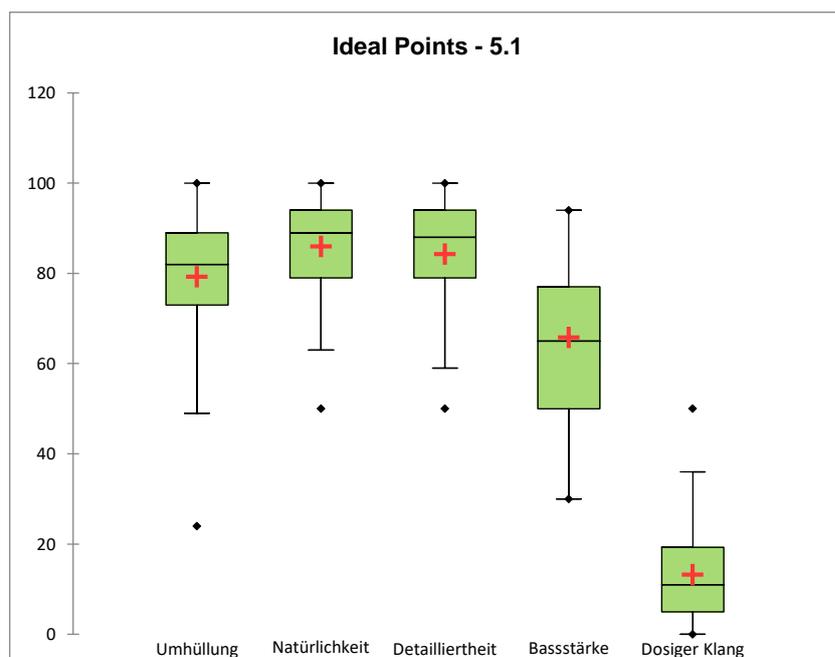


Abbildung 27: Ideal Points - 5.1

Gesamtbetrachtung – 5.1

Um den Gesamtzusammenhang der verschiedenen Attribute analysieren zu können, wurde eine „Principal Component Analysis“ (PCA)⁶⁰ durchgeführt. Dabei werden die Bewertungen der Probanden für die Attribute in einen mehrdimensionalen Raum projiziert und mithilfe von zwei gewählten Faktoren, die eine möglichst große Varianz der erfassten Daten repräsentieren, zweidimensional dargestellt. So können Zusammenhänge zwischen den Attributen und den Wiedergabesystemen schnell visuell erkannt und analysiert werden.

In Abbildung 28 ist für jedes der 5 evaluierten Attribute ein Vektor im zweidimensionalen PCA-Raum dargestellt. Die Richtungen der Vektoren ergeben sich daraus wie stark die Bewertungen der Probanden für die verschiedenen Attribute miteinander korrelieren. Stark positiv korrelierende Attribute haben eine ähnliche Richtung. Stark negativ korrelierende Attribute haben eine entgegengesetzte Richtung. Nicht miteinander korrelierende Attribute verlaufen orthogonal zueinander.

Durch den PCA-Raum sind 78,49% der Varianz der Daten dargestellt. Es ist zu beachten, dass auf der horizontalen Achse (67,45%) deutlich mehr Varianz dargestellt ist, als auf der vertikalen Achse (11,03%). Das bedeutet, dass Richtungsunterschiede der Vektoren in der Horizontalen stärker zu bewerten sind, als Richtungsunterschiede in der Vertikalen.

Abbildung 28 zeigt, dass „Natürlichkeit“ und „Dosiger Klang“ stark negativ miteinander korrelieren. „Natürlichkeit“, „Detailliertheit“ und „Umhüllung“ korrelieren stark positiv miteinander. Das lässt darauf schließen, dass ein Wiedergabesystem, welches einen guten Surround-Sound wiedergibt, auch einen natürlichen, detaillierten Klang liefert. Ob die Attribute direkt voneinander abhängig sind, oder ob es lediglich nur üblich ist, dass eine hochwertige Soundbar bezüglich aller drei Attribute gute Eigenschaften aufweist, kann aus der Auswertung nicht abgeleitet werden. Die „Bassstärke“ korreliert nur leicht positiv mit „Natürlichkeit“, „Detailliertheit“ und „Umhüllung“, was zeigt, dass die Bewertungen der Bassstärke weitgehend unabhängig von den anderen Attributen sind. Folglich muss eine Soundbar mit einer hohen Bassstärke nicht unbedingt natürlich, detailliert oder stark umhüllend klingen.

⁶⁰ (XLSTAT, 2017)

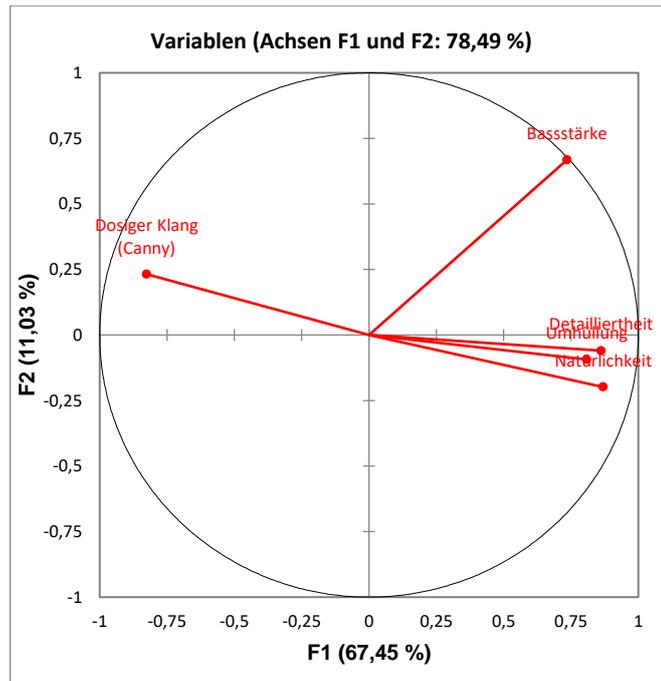


Abbildung 28: Vektoren der Attribute im PCA-Raum - 5.1

In Abbildung 29 sind im PCA-Raum zusätzlich zu den Vektoren der Attribute die Schwerpunkte der Beobachtungen für die Wiedergabesysteme und den Ideal Point, sowie die zugehörigen 50% Konfidenzellipsen dargestellt. Das bedeutet, dass sich 50% aller Beobachtungen eines Wiedergabesystems innerhalb der zugehörigen Konfidenzellipse befinden. Je näher die Beobachtungen verschiedener Wiedergabesysteme zueinander sind, desto ähnlicher sind sie sich. Also je größer die Überschneidung der Konfidenzellipsen zweier Wiedergabesysteme, desto ähnlicher sind sie sich. Ebenso gilt, je näher sich die Beobachtungen eines Wiedergabesystems am Endpunkt eines Attribut-Vektors befinden, desto stärker ist dieses Attribut bei dem jeweiligen System ausgeprägt. Bei dieser Darstellung ist ebenso zu beachten, dass auf der horizontalen Achse (67,45%) deutlich mehr Varianz dargestellt ist, als auf der vertikalen Achse (11,03%).

Der Ideal Point befindet sich nahe an den Enden der Attribute „Detailliertheit“, „Umhüllung“ und „Natürlichkeit“, was zeigt, dass diese Attribute bei einem idealen Wiedergabesystem stark ausgeprägt sein sollten. Nur das 5.1-System (rot) und die Soundbar CA (blau) haben Überschneidungen mit dem Ideal Point, was zeigt, dass diese beiden Systeme bei der Attributbewertung insgesamt am besten abgeschnitten haben und am ehesten an die Vorstellung der Zuhörer eines optimalen Wiedergabesystems herankommen. Das 5.1-System und die CA haben zudem große Überschneidungen. Das bedeutet, dass sie insgesamt sehr ähnlich bewertet wurden. Das 5.1-System scheint allerdings etwas natürlicher zu klingen, was sich mit den Erkenntnissen aus Abbildung 22 deckt. CA befindet sich näher am Vektor „Bassstärke“, was

darauf schließen lässt, dass diese Soundbar eine stärkere Wiedergabe der tiefen Frequenzen aufweist, als das 5.1-System. Auch das deckt sich mit den Erkenntnissen aus Abbildung 23.

Das TV-Gerät befindet sich deutlich abgeschlagen auf der linken Seite des Diagramms. Es hat nur eine kleine Überschneidung mit Y16 und ist am weitesten entfernt vom Ideal Point, was zeigt, dass das TV-Gerät in der Attributbewertung insgesamt eindeutig am schlechtesten abgeschnitten hat. Der Attribut-Vektor „Dosiger Klang“ ist dem TV-Gerät am nächsten, was sich mit den Erkenntnissen aus den Boxplot-Diagrammen zu den einzelnen Attributen deckt.

Über die übrigen Soundbars im Testfeld lassen sich anhand dieser Grafik nur schwer Aussagen treffen. Die Soundbars LG und SA scheinen insgesamt sehr ähnlich zu sein, da sie sehr große Überschneidungen aufweisen. Dies zeigt sich tatsächlich auch in der Bauweise der Soundbars, da sie ähnliche Maße aufweisen, die Virtual-Surround-Technologie nutzen und beide einen externen Subwoofer haben. Die Soundbars BO, Y16 und Y56 haben ebenfalls große Überschneidungen. Sie haben allesamt keinen externen Subwoofer und zwei der drei Soundbars stammen vom selben Hersteller (Yamaha).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das 5.1-System bei der 5.1-Wiedergabe besser abschneidet als die meisten Soundbars. Einzig die Soundbar CA kann mithalten.

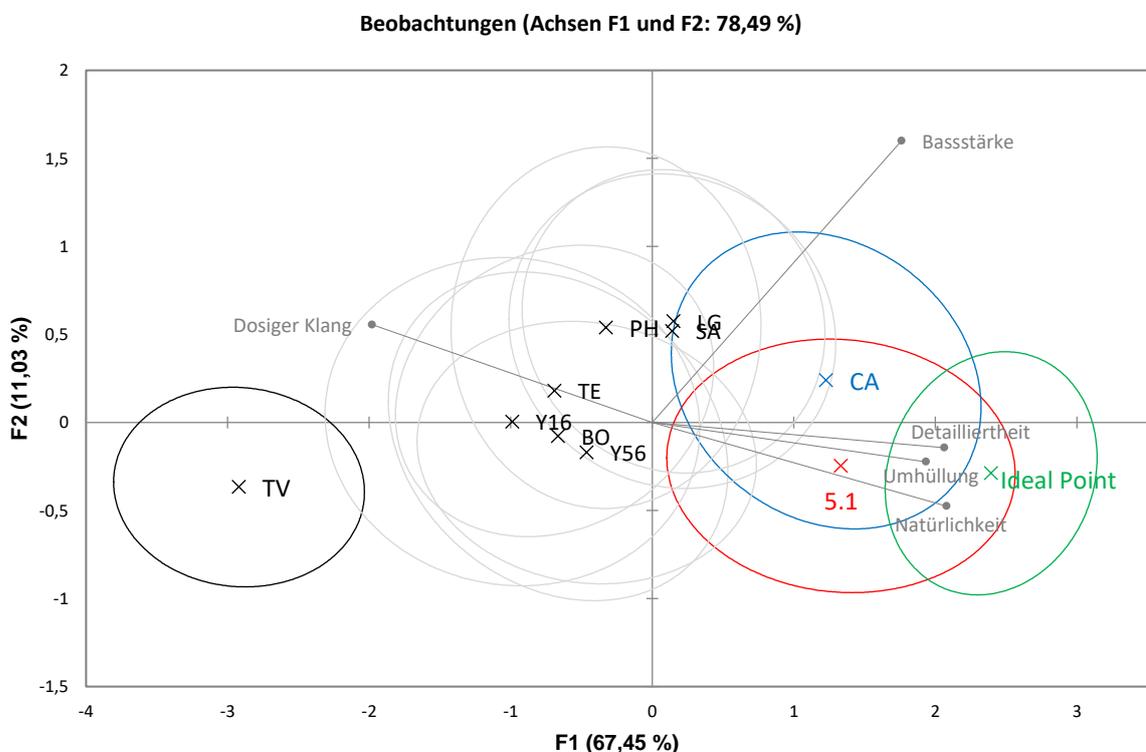


Abbildung 29: PCA der Wiedergabesysteme mit Ideal Point (Korrelationsbiplot, Schwerpunkte der Beobachtungen, 50% Konfidenzellipsen, Vektoren der Attribut-Variablen) - 5.1

3.3.2 Experiment B: Stereo-Wiedergabe

In Experiment B wurde die Stereo-Wiedergabequalität der Wiedergabesysteme verglichen. Dazu evaluierten 24 Probanden 10 Wiedergabesysteme für 6 abhängige Variablen und 6 Testsequenzen.

Subjektive Gesamtqualität – Stereo

Die Bewertungen der subjektiven Gesamtqualität der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 30 dargestellt.

Das TV-Gerät wurde eindeutig schlechter bewertet als das 2.1-System und alle Soundbars. Das 2.1-System wurde tendenziell am besten bewertet. Die Bewertungen der Soundbars verteilen sich breit über den mittleren Wertungsbereich zwischen 25 und 75. Die Streuung der Wiedergabesysteme ist, ausgenommen des TV-Gerätes, sehr groß. Die Soundbars CA, LG und SA wurden tendenziell etwas besser bewertet als die übrigen Soundbars und haben Überschneidungen mit dem 2.1-System. Vor allem LG und SA schneiden bei der Stereo-Untersuchung deutlich besser ab als bei der 5.1-Untersuchung und der Abstand zu CA und dem 2.1-System ist geringer.

Das 2.1-System gibt Stereo-Content tendenziell am besten wieder. Es gibt allerdings einige Soundbars, die eine ähnlich gute Wiedergabequalität bieten. Das TV-Gerät schneidet bei diesem Wiedergabeformat eindeutig am schlechtesten ab.

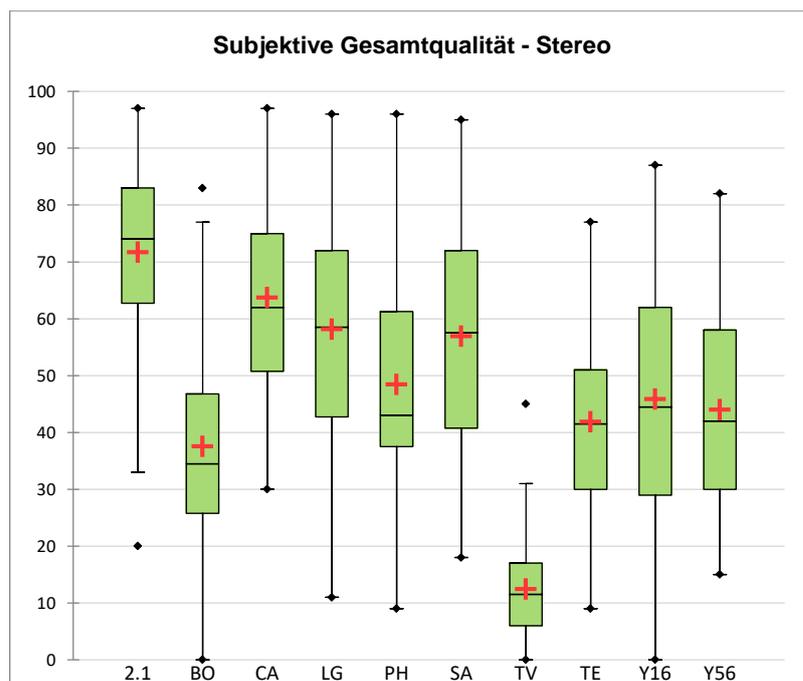


Abbildung 30: Subjektive Gesamtqualität der Wiedergabesysteme - Stereo

Attributbewertung – Stereo

Wie schon in Abschnitt 3.3.1 erläutert, ist zusätzlich zu den Attributbewertungen der Soundbars in den Diagrammen der jeweilige Ideal Point mit eingezeichnet. Ob ein Wiedergabesystem besser bewertet wurde als ein anderes, hängt im Folgenden davon ab, ob sich dessen Mittelwert (oder Median) näher am Ideal Point befindet als der Mittelwert des anderen.

Breite – Stereo

Die Bewertungen des Attributs „Breite“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 31 dargestellt.

Der Ideal Point für die empfundene Breite des Klangbildes befindet sich im Schnitt bei 78 und wurde damit höher bewertet als der Großteil der Wiedergabesysteme. Nur das 2.1-System und die Soundbar LG erreichen ihn. Der Ideal Point befindet sich innerhalb der 50%-Intervalle dieser beiden Wiedergabesysteme, was zeigt, dass sie insgesamt am nächsten an das von den Probanden gewünschte Ideal herankommen. Interessant ist, dass die LG, welche von den Soundbars die höchste wahrgenommene Stereobreite besitzt, auch tatsächlich die breiteste Soundbar im Versuchsfeld ist (siehe Tabelle 6). Das TV-Gerät hat eindeutig schlechter abgeschnitten als das 2.1-System und alle Soundbars. Das 2.1-System wurde tendenziell am besten bewertet und auch signifikant besser als einige der Soundbars. Bei den Bewertungen der Soundbars lassen sich keine eindeutigen Unterschiede feststellen. Lediglich die CA und die LG zeigen eine bessere Tendenz und die TE und die Y56 eine schlechtere.

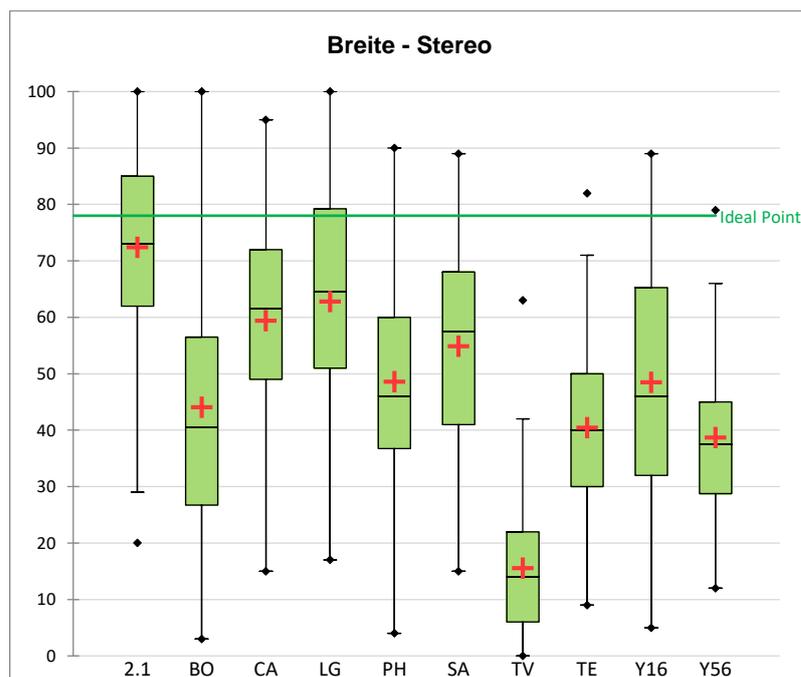


Abbildung 31: Breite - Stereo

Natürlichkeit – Stereo

Die Bewertungen des Attributs „Natürlichkeit“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 32 dargestellt.

Der Ideal Point wurde eindeutig höher bewertet als alle Soundbars und das TV-Gerät. Er befindet sich innerhalb des 50%-Konfidenzintervalls des 2.1-Systems, was bedeutet, dass das 2.1-System bei der Natürlichkeit am nächsten an das hypothetische Ideal herankommt. Das 2.1-System wurde signifikant besser bewertet als das TV-Gerät und einige der Soundbars. Das TV-Gerät schneidet schlechter ab als die übrigen Wiedergabesysteme. Innerhalb des Soundbar-Testfeldes fällt auf, dass die CA eindeutig besser bewertet wurde als die Soundbars BO, TE und Y16.

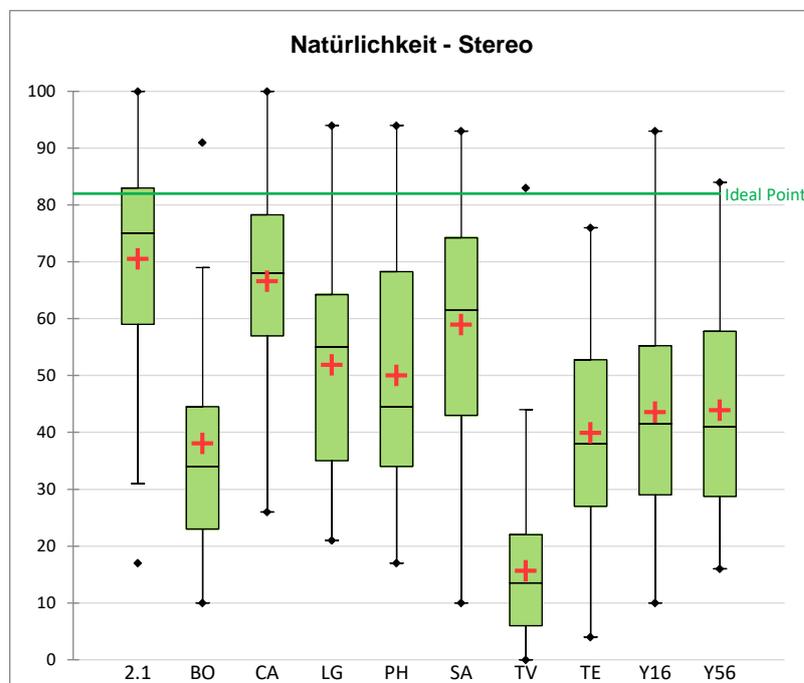


Abbildung 32: Natürlichkeit - Stereo

Bassstärke – Stereo

Die Bewertungen des Attributs „Bassstärke“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 33 dargestellt.

Der Ideal Point ist bei der Stereo-Wiedergabe wie schon bei der 5.1-Wiedergabe deutlich niedriger bewertet worden als andere Attribute wie z. B. „Breite“, „Natürlichkeit“ und „Detailliertheit“. Der Ideal Point der Bassstärke liegt bei einem Wert von 66 und damit etwa auf der gleichen Höhe wie bei der 5.1-Wiedergabe, was zeigt, dass die gewünschte Lautstärke der tiefen Frequenzen unabhängig von der Anzahl der Kanäle des Contents ist.

Auffällig ist, dass die LG höher bewertet wurde als der Ideal Point. Das bedeutet, dass die Wiedergabe der tiefen Frequenzen der LG bei der Stereo-Wiedergabe den Probanden zu laut ist. Die 50%-Intervalle des 2.1-Systems und der Soundbars CA und PH erreichen den Ideal Point, was zeigt, dass ihre Bassstärke ziemlich genau dem Ideal der Probanden entspricht. Die übrigen Soundbars und das TV-Gerät liegen unterhalb des Ideal Points. Das TV-Gerät wurde auch hier eindeutig schlechter bewertet als alle anderen Wiedergabesysteme.

Insgesamt ergibt sich bei der Bassstärke eine viel eindeutigere Abstufung des Testfeldes als bei den anderen Attributen, welche vor allem aufgrund der deutlich kleineren 50%-Intervalle der Bewertungen möglich ist. Die Probanden waren sich bei der Bewertung dieses Attributs also einiger als bei den anderen.

Die Vermutung, dass Soundbars mit externem Subwoofer bezüglich der „Bassstärke“ besser abschneiden, kann nicht bestätigt werden.

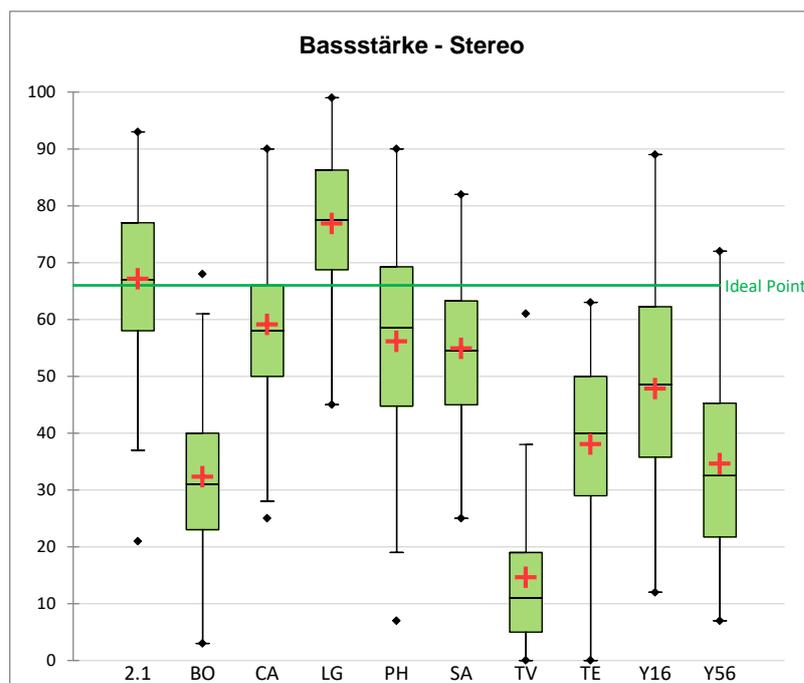


Abbildung 33: Bassstärke - Stereo

Detailliertheit – Stereo

Die Bewertungen des Attributs „Detailliertheit“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 34 dargestellt.

Der Ideal Point liegt hier bei 80 und wird lediglich vom 2.1-System erreicht. Damit kommt das 2.1-System, was die Natürlichkeit des Klangs angeht, am nächsten an das Ideal heran. Das TV-Gerät wurde auch in Bezug auf die Detailliertheit am schlechtesten bewertet. Die Bewertungen

der Soundbars bewegen sich allesamt im Mittelfeld, wobei die CA, LG und SA eher eine Tendenz nach oben zeigen.

Das 2.1-System erreicht annähernd das vom Konsumenten gewünschte Maß an Detailliertheit des Klangs, wobei einige Soundbars den Ton ähnlich detailreich wiedergeben.

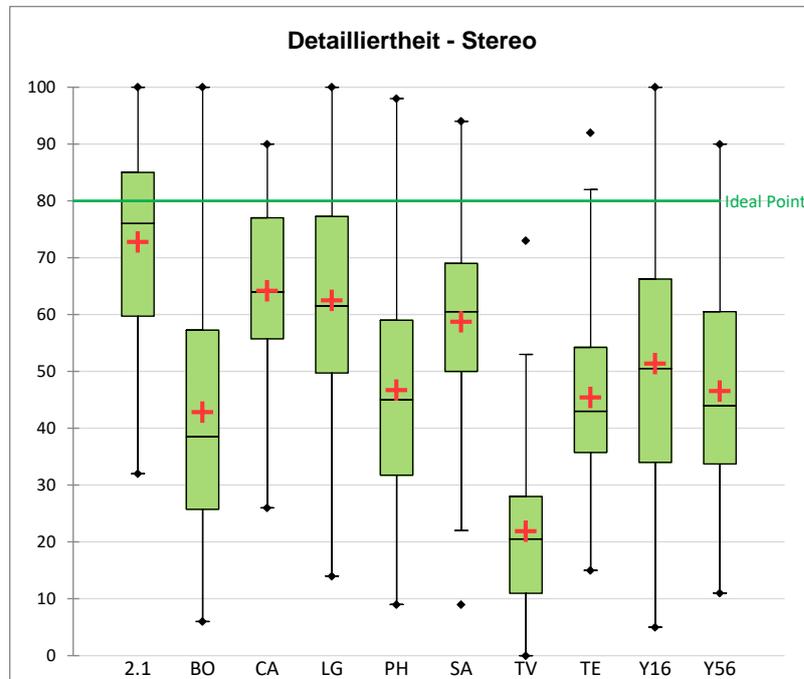


Abbildung 34: Detailliertheit - Stereo

Dosiger Klang (Canny) – Stereo

Die Bewertungen des Attributs „Dosiger Klang (Canny)“ der Wiedergabesysteme sind in Abbildung 35 dargestellt.

Wie auch bei der 5.1-Wiedergabe (Abschnitt 3.3.1), befindet sich der Ideal Point bei 17 und damit eher am unteren Ende der Skala. Ein Klang, der frei von „dosigen“ Mittenresonanzen ist, scheint somit das Ideal der meisten Probanden zu sein. Die 50%-Intervalle des 2.1-Systems und der Soundbar CA erreichen den Ideal Point und alle anderen Wiedergabesysteme befinden sich oberhalb dessen. LG, PH und SA zeigen eine Tendenz nach unten und liegen recht nah am Ideal Point. Die restlichen Soundbars bewegen sich im Mittelfeld der Bewertungsskala. Das TV-Gerät wurde eindeutig schlechter bewertet als alle anderen Wiedergabesysteme.

Die Bewertungen der Wiedergabesysteme insgesamt entsprechen etwa den gespiegelten Bewertungen der Detailliertheit, was darauf schließen lässt, dass „Detailliertheit“ und „Dosiger Klang“ negativ korrelieren.

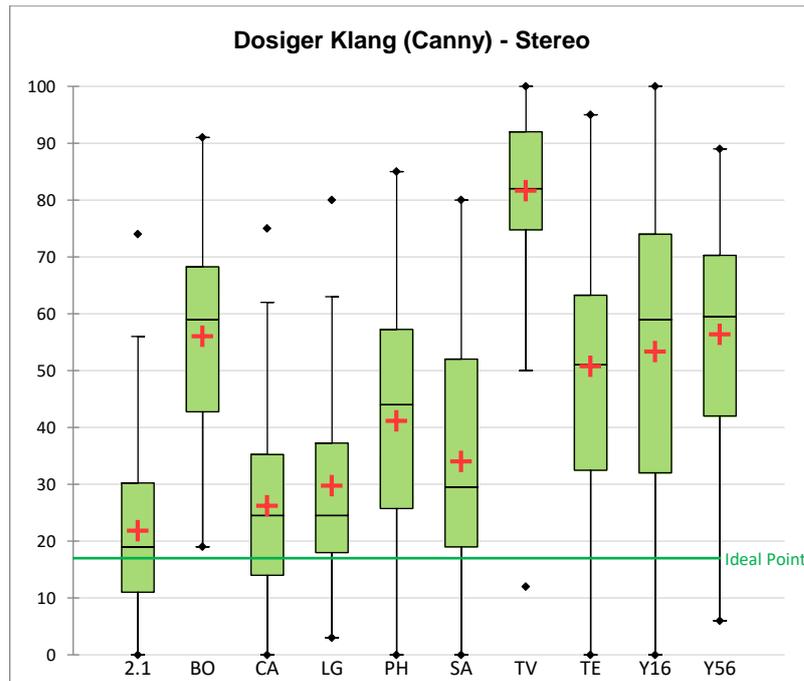


Abbildung 35: Dosiger Klang (Canny) – Stereo

Ideal Profile – Stereo

Abbildung 36 zeigt das „Ideal Profile“ für die Stereo-Wiedergabe und Abbildung 37 zusätzlich die Schwankungsbereiche der Bewertungen der Ideal Points.

Die Ideal Points der Attribute „Breite“, „Natürlichkeit“ und „Detailliertheit“ wurden mit einem Wert von etwa 80 annähernd gleich hoch bewertet. Eine sehr natürliche und detaillierte Stereo-Wiedergabe mit einer hohen Stereobreite scheint also von den Probanden gewünscht zu sein. Der Ideal Point des Attributs „Bassstärke“ liegt mit einem Wert von etwas über 70 deutlich darunter. Eine lautere Basswiedergabe steht folglich nicht gleich für einen besseren Klang. Die Probanden scheinen also eine ordentliche Lautheit der tiefen Frequenzen als ideal zu empfinden, die allerdings ein gewisses Maß nicht überschreiten sollte. Der Ideal Point des Attributs „Dosiger Klang“ liegt bei einem Wert von etwa 20 und damit am unteren Ende der Skala. Diese Bewertung entspricht den Erwartungen, da „dosige“ Mittenfrequenzen erfahrungsgemäß als unangenehm wahrgenommen werden und den Klang eher unnatürlich wirken lassen.

Die Schwankungsbereiche der Bewertungen der Ideal Points bei der Stereo-Untersuchung sind für alle Attribute etwa gleich groß. Das bedeutet, dass sich die Probanden bei allen Attributen bezüglich des idealen Wertes ähnlich einig waren.

Für eine ideale Stereo-Wiedergabe fordern die Zuhörer insgesamt einen sehr natürlichen und detaillierten Klang mit einer großen Stereobreite und einer ordentlichen, dem Content angemessenen Basstärke, der frei von „dosigen“ Mittenfrequenzen ist.

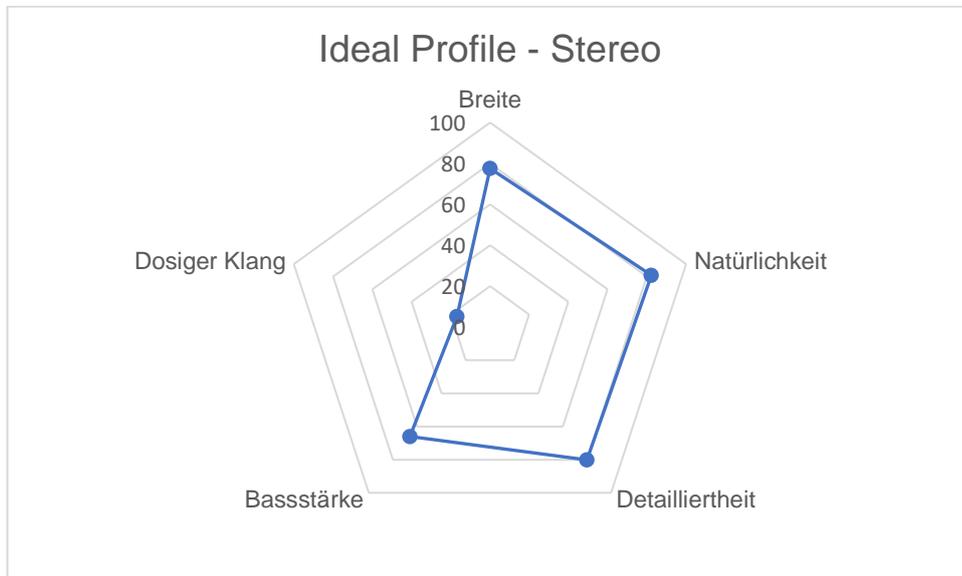


Abbildung 36: Ideal Profile – Stereo

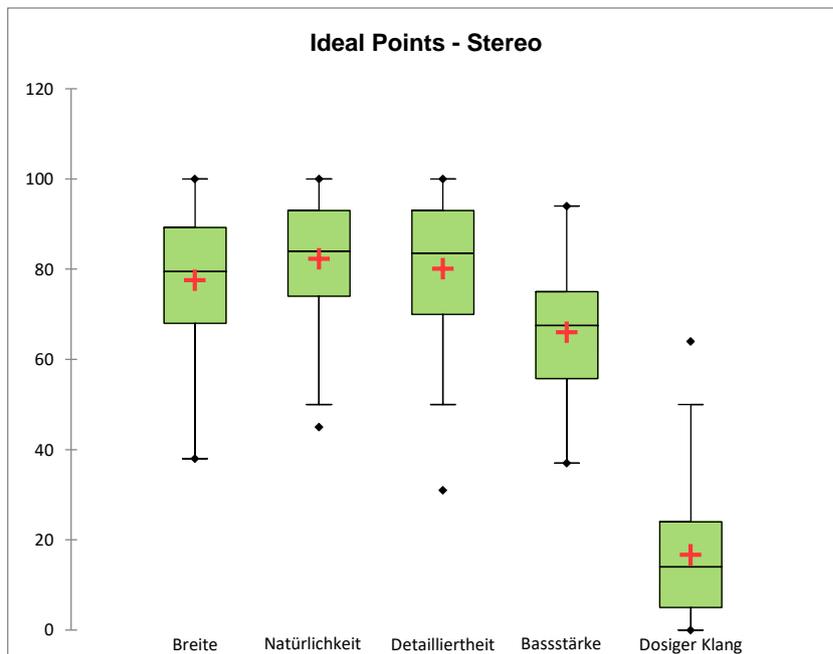


Abbildung 37: Ideal Points – Stereo

Gesamtbetrachtung – Stereo

Für die Gesamtbetrachtung der Stereo-Untersuchung wurde die gleiche Vorgehensweise wie bei der 5.1-Untersuchung gewählt. Für genauere Informationen zur Vorgehensweise wird auf Abschnitt 3.3.1 verwiesen.

Um den Gesamtzusammenhang der verschiedenen Attribute analysieren zu können, wurde eine „Principal Component Analysis“ (PCA)⁶¹ durchgeführt.

In Abbildung 38 ist für jedes der 5 evaluierten Attribute ein Vektor im zweidimensionalen PCA-Raum dargestellt. Durch den PCA-Raum sind 82,28% der Varianz der Daten dargestellt. Es ist zu beachten, dass auf der horizontalen Achse (74,29%) deutlich mehr Varianz dargestellt ist, als auf der vertikalen Achse (7,99%). Der Unterschied der dargestellten Varianz zwischen horizontaler und vertikaler Achse ist hier sogar deutlich größer als es bei der 5.1-Untersuchung in Abbildung 28 der Fall ist.

Abbildung 38 zeigt, dass „Natürlichkeit“ und „Detailliertheit“ sehr stark positiv miteinander korrelieren. „Dosiger Klang“ korreliert negativ mit „Natürlichkeit“, „Detailliertheit“, „Breite“ und „Bassstärke“. „Breite“ korreliert eher positiv mit „Natürlichkeit“, „Detailliertheit“ und „Bassstärke“. „Natürlichkeit“ und „Detailliertheit“ korrelieren eher positiv mit der „Bassstärke“.

Diese Ergebnisse lassen darauf schließen, dass eine Soundbar mit einem natürlichen Klang auch einen detaillierten Klang liefert und umgekehrt. Das liegt allerdings wohl weniger an den Eigenschaften der Soundbars, als an der Tatsache, dass ein detailreicher Klang erfahrungsgemäß vom Zuhörer eher als natürlich wahrgenommen wird. Die beiden Attribute überschneiden sich also teilweise in der Bedeutung und der Eigenschaft, die sie beschreiben. Außerdem wird ein „dosiger“ Klang wohl wie erwartet als undetailliert und unnatürlich wahrgenommen. Logisch ist, dass „dosige“ Mittenfrequenzen das Klangbild verfälschen und es so unnatürlich erscheinen lassen. Nachvollziehbar ist außerdem, dass eine Soundbar mit geringer Bassstärke eher als „dosig“ wahrgenommen wird. Eine verhältnismäßig leise Wiedergabe der tiefen Frequenzen sorgt dafür, dass die mittleren Frequenzen, welche oft als „dosig“ empfunden werden, lauter wahrgenommen werden.

⁶¹ (XLSTAT, 2017)

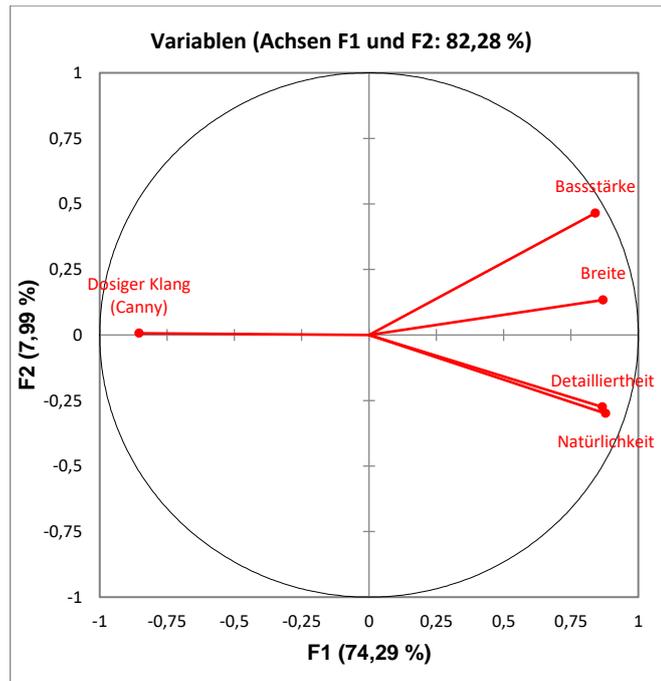


Abbildung 38: Vektoren der Attribute im PCA-Raum - Stereo

In Abbildung 39 sind im PCA-Raum zusätzlich zu den Vektoren der Attribute die Schwerpunkte der Beobachtungen für die Wiedergabesysteme und den Ideal Point, sowie die zugehörigen 50% Konfidenzellipsen dargestellt. Bei dieser Darstellung ist ebenso zu beachten, dass auf der horizontalen Achse (74,29%) deutlich mehr Varianz dargestellt ist, als auf der vertikalen Achse (7,99%).

Der Ideal Point befindet sich zwischen den Vektoren „Detailliertheit“, „Natürlichkeit“ und „Breite“. Das bedeutet, dass vor allem diese drei Eigenschaften bei einem Wiedergabesystem stark ausgeprägt sein müssen, um dem hypothetischen Ideal nahe zu kommen. Das 2.1-System (rot) und die Soundbars CA (blau), SA (schwarz) und LG (schwarz) haben Überschneidungen mit dem Ideal Point, wobei das 2.1-System gefolgt von CA die größten Überschneidungen hat. Interessant ist, dass im Vergleich zur 5.1-Untersuchung doppelt so viele Soundbars Überschneidungen mit dem Ideal Point aufweisen. Das lässt darauf schließen, dass Soundbars Stereo-Content insgesamt besser wiedergeben können als 5.1-Content. Es fällt auf, dass die Soundbar LG sich sehr nahe am Vektor „Bassstärke“ befindet. Sie scheint die tiefen Frequenzen am lautesten wiederzugeben, was sich mit den Erkenntnissen aus Abbildung 33 deckt. Die Soundbars SA und CA verteilen sich relativ mittig zwischen den Vektoren „Breite“, „Detailliertheit“ und „Natürlichkeit, was zeigt, dass diese Attribute bei diesen Systemen sehr gleichmäßig ausgeprägt sind. Das 2.1-Systems befindet sich dagegen eher in der Nähe des

Vektors „Breite“, wodurch deutlich wird, dass das diskrete Mehrkanalsystem vor allem in dieser Kategorie am stärksten abgeschnitten hat.

Das TV-Gerät befindet sich weit abgeschlagen auf der linken Seite der Grafik und hat die größte Distanz zum Ideal Point. Es befindet sich sehr nahe am Vektor „Dosiger Klang“, was die Erkenntnisse aus Abbildung 35 bestätigt und zeigt, dass dieses Attribut beim TV-Gerät stark ausgeprägt ist. Das TV-Gerät überschneidet sich lediglich minimal mit der Soundbar BO. Über die übrigen Soundbars lassen sich keine eindeutigen Aussagen treffen. Sie haben allesamt große Überschneidungen und befinden sich in der Mitte der Grafik und weisen somit nur geringe Tendenzen zu den verschiedenen Attribut-Vektoren auf.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass einige Soundbars (CA, SA und LG) bei der Stereo-Wiedergabe an die Qualität eines 2.1-Systems herankommen und auch die Anforderungen der Zuhörer an ein ideales Wiedergabesystem ein Stück weit erfüllen. Vor allem Soundbars, welche einen natürlichen, detailreichen, breiten Stereo-Klang besitzen, werden als besonders gut empfunden. Insgesamt schneidet das 2.1-System dennoch am besten ab.

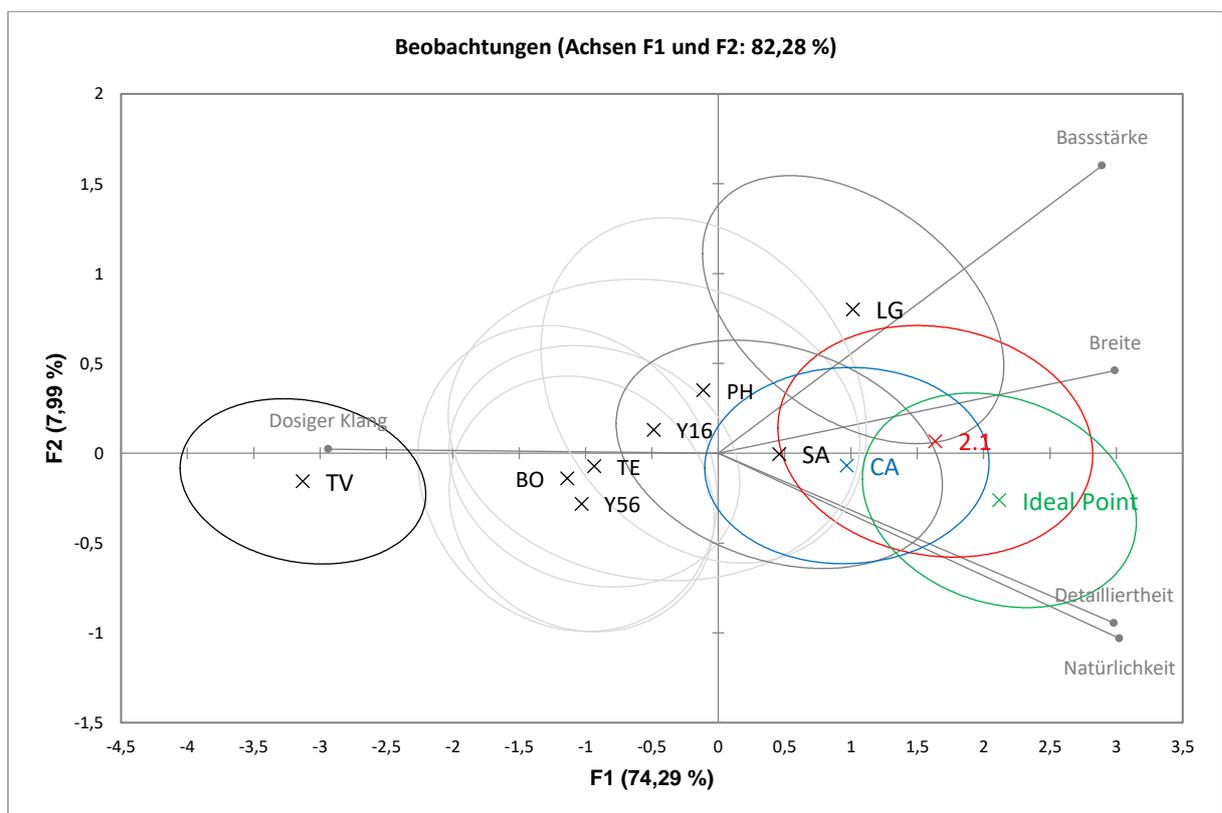


Abbildung 39: PCA der Wiedergabesysteme mit Ideal Point (Korrelationsbiplot, Schwerpunkte der Beobachtungen, 50% Konfidenzellipsen, Vektoren der Attribut-Variablen) - Stereo

3.3.3 Vergleich 5.1- und Stereo-Wiedergabe

In diesem Abschnitt werden die beiden durchgeführten Hörversuche (5.1- und Stereo-Wiedergabe) miteinander verglichen und Erkenntnisse aus Gemeinsamkeiten und Unterschieden gezogen.

Da bei den beiden Untersuchungen verschiedene Testsequenzen evaluiert wurden, können die im Folgenden beschriebenen Unterschiede möglicherweise auch auf den unterschiedlichen Content zurückgeführt werden.

Ideal Profiles

Die „Ideal Profiles“ der beiden Untersuchungen (siehe Abbildung 26 und Abbildung 36) unterscheiden sich vor allem in der Bewertung der Ideal Points der Attribute „Natürlichkeit“ und „Detailliertheit“, welche bei der 5.1-Untersuchung leicht höher bewertet wurden als bei der Stereo-Untersuchung. Das lässt darauf schließen, dass bei der Wiedergabe von 5.1-Content eine detailliertere, natürlichere und somit auch immersivere Wiedergabe gewünscht ist. Wenn man das Anwendungsfeld von 5.1-Content beachtet ist diese Bewertung der Ideal Points durchaus nachvollziehbar.

Die Ideal Points der Attribute „Bassstärke“ und „Dosiger Klang“ sind in beiden Untersuchungen etwa gleich hoch bewertet. Das deutet darauf hin, dass diese Eigenschaften unabhängig davon sind, ob es sich bei der Wiedergabe um 5.1- oder um Stereo-Content handelt.

Die Ideal Points der Attribute bezüglich der Räumlichkeit des Klangs lassen sich nicht miteinander vergleichen, da in den beiden Untersuchungen unterschiedliche Attribute („Umhüllung“ und „Breite“) evaluiert wurden.

Profile der Wiedergabesysteme

In Anhang J sind die Profile der Wiedergabesysteme mit den Mittelwerten der unabhängigen Variablen, welche in beiden Untersuchungen evaluiert wurden, in Netzdiagrammen dargestellt.

Insgesamt fällt auf, dass die Soundbars bei der Stereo-Wiedergabe etwas besser abschneiden als bei der 5.1-Wiedergabe und zum diskreten Mehrkanalsystem aufschließen können.

3.4 Erfahrungen mit MS-IPM

Die Evaluationsmethodik MS-IPM wurde aus verschiedenen Gründen für die vorliegenden Untersuchungen gewählt. Die Dauer der Hörversuche pro Proband konnte im Vergleich zu anderen Versuchsmethoden signifikant reduziert werden. Das 5.1-System konnte zudem nicht als explizite Referenz gesehen werden, da vor den Untersuchungen nicht auszuschließen war, dass eine Soundbar besser hätte bewertet werden können als das 5.1-System. Außerdem fand die Wiedergabe in einem aus akustischer Sicht wohnzimmerähnlichen Raum statt und nicht, wie für eine Referenz nötig⁶², in einer professionellen Abhörumgebung.

Mit der MS-IPM konnten mehrere Wiedergabesysteme ohne eine explizite Referenz miteinander verglichen werden. Des Weiteren war ein Vergleich des Ideal-Profile-Ratings mit den Profilen der Wiedergabesysteme interessant für die Untersuchungen.

Da sich die Evaluationsmethodik noch in der Entwicklung befindet und bisher erst in wenigen Untersuchungen⁶³ angewandt wurde, werden in diesem Abschnitt die Erfahrungen geschildert, welche im Rahmen der vorliegenden Arbeit mit der MS-IPM gemacht wurden.

Das Fehlen einer expliziten Referenz führte dazu, dass den Probanden ein Anhaltspunkt für ihre Bewertungen fehlte. Bei Hörversuchen mit einer Referenz steht diese für den Wert 100. Alle anderen Systeme werden dann in Relation zu dieser Referenz eingestuft und bewertet. Durch das Fehlen der Referenz konnte jeder Proband seinen eigenen Maßstab für die Bewertung der Wiedergabesysteme verwenden, wodurch manche Probanden eher das untere Ende und andere Probanden eher das obere Ende der Skalen für die Bewertung nutzten. Vor allem in Kombination mit der Aufteilung der Wiedergabesysteme auf Probandengruppen nach dem Between-Subjects-Prinzip führte dies zu Skalen- und Positionseffekten und einer größeren Streuung der Ergebnisse. Über eine Lösung dieses Problems sollte bei der Weiterentwicklung der Methodik nachgedacht werden.

Nach der Durchführung der Hörversuche zeigte sich die Wichtigkeit der Attributauswahl, da diese entscheidend für die Relevanz und Aussagekraft der Ergebnisse ist. Die von der Expertengruppe getroffene Auswahl sollte vor der eigentlichen Studie zunächst in einer Pilotstudie getestet werden, da dadurch gegebenenfalls Überschneidungen bestimmter Attribute auffallen und nicht durch die Attribute abgedeckte Aspekte der geprüften Stimuli bemerkt werden.

⁶² (ITU-R BS.1116-3, 2015)

⁶³ (Zacharov, Pike, Melchior, & Worch, 2016)

Gut funktioniert hat die statistische Auswertung der erhobenen Datensätze zu den verschiedenen abhängigen Variablen, da diese sowohl für die getrennte als auch für die gemeinsame Auswertung der Variablen ausführlich in der Empfehlung beschrieben ist. So konnten verschiedenste Aspekte der Wiedergabesysteme und deren Unterschiede untersucht und analysiert werden.

Auch die Evaluierung eines großen Testfeldes an Wiedergabesystemen war mit dieser Versuchsmethodik möglich, da diese speziell dafür ausgelegt ist und zudem eine Reihe an möglichen Ansätze für eine geschickte, aufgeteilte Evaluation der geprüften Wiedergabesysteme liefert, um Vorgaben bezüglich der Dauer eines Hörversuchs einhalten zu können.

Da die Systeme in einem direkten Vergleich zueinander standen, konnten direkte Zusammenhänge leichter erkannt werden und eine Abstufung der Wiedergabesysteme für jede abhängige Variable einfach dargestellt werden.

Insgesamt kann die Evaluationsmethodik MS-IPM empfohlen werden, da sie in dieser Arbeit robuste und aussagekräftige Ergebnisse lieferte.

3.5 Benutzerfreundlichkeit der Soundbars

Im Vorfeld der Hörversuche wurden Benutzerfreundlichkeit und Funktionsumfang der Soundbars durch den Versuchsleiter getestet, sowie Informationen zu den Komponenten der Geräte gesammelt.

Große Unterschiede zwischen den Geräten gab es bezüglich des Funktionsumfangs bzw. den Einstellungsmöglichkeiten. Insgesamt lässt sich sagen, dass die Geräte mit dem geringeren Funktionsumfang in der Regel schneller Bereit zur Nutzung waren. Bei den Geräten mit einem größeren Funktionsumfang dauerte es zwar länger bis alle Einstellungen vorgenommen waren, diese waren dafür allerdings besser an die Wiedergabeumgebung angepasst.

Die Y56 bietet beispielsweise als einzige Soundbar aus dem Testfeld die Möglichkeit, das System mithilfe eines mitgelieferten Mikrofons einzumessen und so an den Wiedergaberaum anzupassen. Dieser Messvorgang ist innerhalb weniger Minuten abgeschlossen und optimiert das Beamforming, also die zielgerichtete Wiedergabe der Schallstrahlen, der Soundbar. Die Y56 ist aus dem Testfeld die Soundbar mit den meisten Einstellungsmöglichkeiten und erlaubt es z. B. auch die Lautstärke der einzelnen Kanäle bei der 5.1-Wiedergabe im Pegel anzupassen.

Die CA ist dagegen auf die wichtigsten Funktionen beschränkt, was für eine schnelle, komfortable Bedienung und einen übersichtlichen Aufbau der Fernbedienung sorgt. Die Soundbars BO und PH haben einen ähnlich abgespeckten Funktionsumfang wie die CA. Die übrigen Soundbars ordnen sich bezüglich Einstellungsmöglichkeiten zwischen CA und Y56 ein. Typische Funktionen, die alle Soundbars bieten, sind einfache Equalizer-Einstellungen für die tiefen und hohen Frequenzen.

Als besonders wichtige Funktion wurde die Speicherung der vorgenommenen Einstellungen bei Aus- und Einschalten der Geräte empfunden. Das war einerseits bei den Hörversuchen wichtig, um nicht alle Einstellungen bei Neustart der Soundbars neu eingeben zu müssen, und andererseits ist dies im Alltag des Konsumenten ebenfalls ein wichtiges Kriterium, da dieser die Soundbar vermutlich einmal an seine Abhörumgebung anpasst und dann die gleichen Wiedergabeeigenschaften bei wiederholtem Benutzen wahrnehmen will. Die meisten Soundbars im Testfeld bieten diese Memory-Funktion. Die Systeme PH und LG allerdings setzten ihre Einstellungen regelmäßig auf den Default-Zustand zurück, wodurch diese neu vorgenommen werden mussten.

Was ebenfalls als deutlicher Unterschied bezüglich der Benutzerfreundlichkeit empfunden wurde, war das visuelle Feedback der Soundbars auf vorgenommene Einstellungen. Ein Display mit Textdarstellung, wie es bei den Soundbars CA, LG, PH, SA, TE und Y56 vorhanden war, wurde als besonders angenehm und benutzerfreundlich wahrgenommen. Einstellungen der Lautstärke wurden als Zahlen und sonstige Einstellungen mindestens als Abkürzung des vollen Funktionsnamens dargestellt. Die Soundbars BO und Y16 sind allerdings nicht mit einem solchen Display ausgestattet. Das visuelle Feedback auf die Bedienung dieser beiden Systeme erhält der Konsument ausschließlich über das Blinken von verbauten LEDs, was eine genaue Einstellung der Systeme schwierig und umständlich macht.

Der große Vorteil der Soundbars im Gegensatz zu einem diskreten Mehrkanalsystem ist die schnelle und einfache Inbetriebnahme. Diese war bei den geprüften Soundbars in der Regel innerhalb von wenigen Minuten erledigt. Im Lieferumfang aller Soundbars waren benötigte Kabel, wie z. B. ein optisches Kabel oder ein Koaxialkabel, zum Anschluss an ein TV-Gerät, sowie Batterien für die jeweilige Fernbedienung enthalten, wodurch keine weiteren Produkte nötig waren und die Geräte direkt betriebsbereit waren.

Ein weiterer Vorteil von Soundbars ist, dass sie in der Regel die Möglichkeit bieten Audio-Content wie z. B. Musik auch kabellos per Bluetooth oder WLAN beispielsweise von einem

Smartphone oder Tablet wiederzugeben. Sie können daher nicht nur zur Wiedergabe von audiovisuellem Content genutzt werden, sondern auch als Musikanlage dienen.

Einige wichtige technische Daten der evaluierten Soundbars sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Technische Daten der evaluierten Soundbars⁶⁴

	BO	CA	LG	PH	SA	TE	Y16	Y56
Bluetooth	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja
WLAN	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja
Opt. In	Ja							
Coax. In	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja
Analog In	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja
HDMI	Nein	Ja						
Bar/Deck	Deck	Deck	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar	Bar
Ext. Sub	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Breite (cm)	62	90	122	95	108	102	100	110
Höhe (cm)	8	15	4	5	5	14	7	21
Tiefe (cm)	32	30	11	7	13	10	13	9

⁶⁴ (Bose Solo 15 series II, 2017), (Canton DM 90.3, 2017), (LG SJ8, 2017), (Philips HTL3180B, 2017), (Samsung HW-J6500, 2017), (Teufel Cinebar 52 THX, 2017), (Yamaha YSP-1600, 2017), (Yamaha YSP-5600, 2017)

4 Fazit

Im Rahmen dieser Arbeit fand ein subjektiver Vergleich von acht Soundbars, einem diskreten Mehrkanalsystem und einem TV-Gerät mithilfe der Versuchsmethodik MS-IPM statt. In Experiment A wurde die 5.1-Wiedergabe und in Experiment B die Stereo-Wiedergabe evaluiert.

Es wurde festgestellt, dass Soundbars eindeutig eine Verbesserung der Ton-Wiedergabe im Vergleich zu einem TV-Gerät bieten, da die in den Hörversuchen evaluierten Soundbars in allen geprüften Aspekten besser abschnitten als das TV-Gerät.

Eine Soundbar kann im Home-Entertainment-Bereich eine mögliche Alternative zu einem diskreten Mehrkanalsystem darstellen, allerdings nicht als vollwertiger Ersatz gesehen werden. Es hängt sehr stark vom jeweiligen Modell, der Preisklasse und der Funktionsweise der Soundbar ab, ob diese qualitativ mit einem diskreten Mehrkanalsystem vergleichbar ist.

Besonders wichtig für ein ideales Hörerlebnis waren den Probanden bei der Evaluierung ein natürlicher, detaillierter Klang und eine starke Umhüllung bei der 5.1-Wiedergabe bzw. eine große Klangbreite bei der Stereo-Wiedergabe. Außerdem empfanden die Probanden eine dem Content angemessene Lautstärke der Bassfrequenzen als optimal.

Das Mehrkanalsystem schnitt sowohl in der 5.1- als auch in der Stereo-Untersuchung tendenziell am besten ab. Die Ergebnisse der Hörversuche zeigten bezüglich der Wiedergabequalität erhebliche Unterschiede zwischen den Soundbars. Am besten schnitt die Soundbar Canton DM 90.3 ab, welche sich in der oberen Preisklasse befindet und Virtual Surround zur Erzeugung eines räumlichen Klangs nutzt. Ein direkter Zusammenhang zwischen Preis und Wiedergabequalität der Soundbars konnte allerdings nicht festgestellt werden. Die Canton DM 90.3 wurde insgesamt annähernd so gut bewertet wie das Mehrkanalsystem und ist innerhalb des Testfeldes die einzige Soundbar, welche hinsichtlich der Wiedergabequalität als mögliche Alternative zum Mehrkanalsystem bezeichnet werden kann.

Aus den Versuchsergebnissen ergibt sich keine zusammenfassende, klare Abstufung der übrigen Soundbars. Lediglich die Geräte LG SJ8 und Samsung HW-J6500 schnitten bei der Stereo-Untersuchung tendenziell besser ab als die restlichen Soundbars und annähernd so gut wie das 2.1-System und die Soundbar Canton DM 90.3.

Bei der Wiedergabe von Stereo-Content wurden die geprüften Soundbars im Vergleich zum diskreten Mehrkanalsystem insgesamt deutlich besser bewertet als bei der Wiedergabe von 5.1-

Content. Das zeigt, dass Soundbars eher eine Alternative für ein Stereo-Setup darstellen können als eine Alternative für ein 5.1-Setup. Zur Wiedergabe von Dokumentationen, TV-Shows und Musik sind Soundbars also beispielsweise relativ gut geeignet, als Heim-Kino-Anlage zur Wiedergabe von Spielfilmen im 5.1-Format mit tollen Surround-Effekten allerdings eher weniger.

Ergänzend zu der hier durchgeführten subjektiven Evaluierung der Soundbars könnten in weiterführenden Untersuchungen die akustischen Eigenschaften der Soundbars, z. B. durch Messung des Frequenzgangs und der Abstrahlcharakteristik, objektiv erfasst werden, um diese mit den subjektiven Erkenntnissen der vorliegenden Arbeit zu vergleichen.

Die Untersuchung der Benutzerfreundlichkeit der Soundbars zeigte, dass diese kompakten Geräte durch ihre meist sehr einfache Bedienung und den unkomplizierten Aufbau und Anschluss auch offensichtliche Vorteile gegenüber diskreten Mehrkanalsystemen haben. Das macht eine Soundbar unabhängig von der Wiedergabequalität attraktiv für den Heimnutzer.

Soundbars verwenden grundlegend zwei verschiedene Technologien – „Virtual Surround“ und „Beamforming“ – zur Reproduktion von Surround-Sound. Die beste räumliche Wirkung des Klangs erzielte unter den Soundbars die Canton DM 90.3, welche die Virtual-Surround-Technologie nutzt. Die Soundbars Yamaha YSP-5600 und Yamaha YSP-1600, welche mit der Beamforming-Technologie funktionieren, schnitten dagegen nur mittelmäßig ab. Beide Surround-Technologien haben allerdings ihre Nachteile. Bei der Virtual-Surround-Technologie ist der Sweetspot prinzipbedingt sehr klein, weshalb die Technologie für das gemeinsame Hören zuhause auf dem Sofa weniger gut geeignet ist. Bei der Beamforming-Technologie ist der Sweetspot zwar etwas größer, allerdings sind in den meisten Wohnräumen nicht ausreichend Reflexionsflächen vorhanden und Möbel stören häufig die Ausbreitung der Schallstrahlen. Beamforming funktioniert also nur gut, wenn im Anwendungsraum entsprechende akustische Vorkehrungen getroffen werden.

Es wäre daher interessant in zukünftigen Arbeiten zu untersuchen, wie gut die Soundbar-Technologien Virtual Surround und Beamforming im Vergleich zur diskreten Surround-Wiedergabe außerhalb des Sweetspots funktionieren und wie gut Beamforming in einem typischen Wohnraum ohne reflektierende Wände funktioniert.

Alles in allem müssen bei der Wiedergabequalität von Soundbars im Vergleich zu diskreten Mehrkanalsystemen in der Regel Abstriche gemacht werden. In Sachen Bedienung und Installation haben Soundbars dafür klare Vorteile.

Literaturverzeichnis

- Adel, H., Souad, M., Alaqueeli, A., & Hamid, A. (2012). *Beamforming Techniques for Multichannel audio Signal Separation*.
- Bech, S., & Zacharov, N. (2006). *Perceptual Audio Evaluation - Theory, Method and Application*. Wiley.
- Bose Solo 15 series II. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 28. 11 2017 von https://cdn.billiger.com/dynimg/eB7MfdfbXLEyqTe2aZpGKDt4H9rycHjeBa9LTdXG2DA7JJ9eI_90cBP2HBDsVjBfMAJka-aH3WwVOoiK2nB1J8/Bose-Solo-15-Serie-II-Bedienungsanleitung-c81330.pdf
- Canton DM 90.3. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 28. 11 2017 von https://www.canton.de/media/pdf/Manual_Canton_DM90-3_DEU_ENG_web.pdf
- Fastl, H., & Zwicker, E. (2006). *Psychoacoustics - Facts and Models* (Dritte Ausg.). Springer.
- Focal. (2017). *Soundbar Dimension*. Abgerufen am 15. 11 2017 von <https://www.focal.com/en/home-audio/home-theater/dimension/soundbar-dimension>
- Heinz, S. (2017). *Untersuchungen des Tonkanalformats 3.0 zur Verbesserung der Sprachverständlichkeit im Rundfunk*. München.
- Hooley, T. (2006). *Single Box Surround Sound*.
- IRT. (2017). *Object-based audio - The future of audio production, delivery and consumption*. Abgerufen am 19. 11 2017 von <https://lab.irt.de/demos/object-based-audio/>
- ITU-R BS.[MS-IPM]. (2017). *Multiple stimulus ideal profile method for subjective evaluation of audio*.
- ITU-R BS.1116-3. (2015). *Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems*.
- ITU-R BS.1284-1. (2003). *General methods for the subjective assessment of sound quality*.
- ITU-R BS.1534-3. (2015). *Method for the subjective assessment of intermediate quality level of audio systems*.
- ITU-R BS.775-3. (2012). *Multichannel stereophonic sound system with and without accompanying picture*.

- LG. (2017). *LG SJ8*. Abgerufen am 23. 11 2017 von <http://www.lg.com/de/audio/lg-SJ8>
- LG SJ8. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 24. 11 2017 von <http://www.lg.com/de/support/service-produkt/lg-SJ8>
- Lindau, A., Erbes, V., Lepa, S., Maempel, H.-J., Brinkmann, F., & Weinzierl, S. (2014). *A Spatial Audio Quality Inventory (SAQI)*. S. Hirzel Verlag.
- Moulin, S., Nicol, R., & Gros, L. (2012). *Spatial audio quality in regard to 3D video*. Von <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00811016> abgerufen
- Nufire, T. (kein Datum). *Crosstalk Cancellation*. San Francisco.
- Pedersen, T. H., & Zacharov, N. (2015). *The development of a Sound Wheel for Reproduced Sound*.
- Philips HTL3180B. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 24. 11 2017 von https://www.philips.de/c-p/HTL3160B_12/soundbar-lautsprecher/support
- Rumsey, F. (2001). *Spatial Audio*. Focal Press.
- Samsung. (2017). *Samsung HW J6500*. Abgerufen am 23. 11 2017 von <http://www.samsung.com/de/audio-video/curved-soundbar-j650x/HW-J6500EN/>
- Samsung HW-J6500. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 24. 11 2017 von <http://www.samsung.com/de/support/model/HW-J6500/EN/>
- Sengpiel, E. (1998). *Transaural Stereo - Kunstkopf-Stereofonie über Lautsprecher*.
- Strohmeier, D. (2011). *Open Profiling of Quality: A Mixed Methods Research Approach for Audiovisual Quality Evaluations*. Ilmenau.
- Teufel. (2017). *Teufel Cinebar 52 THX*. Abgerufen am 23. 11 2017 von <https://www.teufel.de/soundbars/cinebar-52-thx-p14657.html>
- Teufel Cinebar 52 THX. (2017). *Bedienungsanleitung*. Abgerufen am 24. 11 2017 von <https://www.teufel.de/soundbars/cinebar-52-thx-p14657.html>
- Walton, T., Evans, M., Kirk, D., & Melchior, F. (2016). *A Subjective Comparison of Discrete Surround Sound and Soundbar Technology by Means of a Mixed Methods Approach*.
- XLSTAT. (2017). *Principal Component Analysis*. Abgerufen am 21. 11 2017 von https://help.xlstat.com/customer/en/portal/articles/2062222-running-a-principal-component-analysis-pca-with-xlstat?b_id=9283

- Yamaha. (2017). *MusicCast YSP-5600*. Abgerufen am 16. 11 2017 von https://de.yamaha.com/de/products/audio_visual/sound_bar/ysp-5600/features.html#product-tabs
- Yamaha YSP-1600. (2017). *Digital Sound Projector YSP-1600 Owner's Manual*. Abgerufen am 18. 11 2017 von https://usa.yamaha.com/files/download/other_assets/6/590056/web_YH260B0EN_YS P-1600_om_UCABGLHV_En.pdf
- Yamaha YSP-5600. (2017). *Digital Sound Projector YSP-5600 Owner's Manual*. Abgerufen am 18. 11 2017 von <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/C1Wf8XmVUYS.pdf>
- Zacharov, N., Pike, C., Melchior, F., & Worch, T. (2016). *Next generation audio system assesement using the multiple stimulus ideal profile method*.

Anhang

A Einstellungen der Wiedergabegeräte

Denon AVR-X4300H (Mehrkanalsystem)

Level	63.0
Input	TV Audio
Modus	Dolby Surround (Movie) (5.1) // Pure (Direct) (Stereo)
Aktive Kanäle	FL, FR, C, SW, SL, SR
Audio	Default
Video	Default
Input Assign	TV Audio (OPT 1)
Source Rename	TV: TV Audio
Source Level	Digital: 0 dB
Amp Assign	Zone 2/3
Speaker Config.	Front: Small, Center: Small, SW: 1 Sp., Surround: Small
Distances	FL: 2.00 m, FR: 1.99 m, C: 1.99 m, SW1: 3.35 m, SL: 1.49 m, SR: 1.49 m
Levels	FL: 0.0 dB, C: +2.0 dB, FR: -1.0 dB, SR: -0.5 dB, SL: +0.5 dB, SW1: 0.0 dB
Crossovers	Sel.: All, All: 60 Hz
Bass	Mode: LFE+Main, LPF (LFE): 120 Hz
2ch. Playback	Auto
Network	Default
ECO	Off
Option	Alles auf Default

Neumann KH-120A (Mehrkanalsystem)

Bass	0
Low-Mid	0
Treble	0
Output Level	100 db SPL (at 1 m for 0 dBu)
Input Gain	Ca. -5 dB (bei jedem Lautsprecher etwas anders; eingepegelt mit rosa Rauschen)

Klein+Hummel O 818 (Mehrkanalsystem)

Subwoofer Level	-9 dB
Phase	0°
Low-Cut	30 Hz
Center Mode	Sub Direct
Ground	Connected
Bypass	Normal

Bose Solo 15 Series II

Bass	0 (Default)
Sprachverständlichkeit	Off
Volume	Auf 64 dBA am Abhörpunkt eingeppegelt (keine Anzeige)

Canton DM 90.3

Play-Mode	Surround // Stereo
Bass	0
Treble	0
Erweiterte Toneinstellungen	EQ3 (in Regal)
DRC	off
Lip	0
Sub	Off
AUT	Off
Input	CD

LG SJ8

Modus	Standard
Auto-Power	On
Auto-Vol	Off

Philips HTL 3160B

Modus	Surround // Music
Input	Optical In

Samsung HW-J6500

Volume	31 (in der Regel; je nach Position im Regal)
Surround	On // Off
Soundeffekt	Standard
Bass	0
Treble	0
SW	0

Teufel Cinebar 52 THX

Input	Optical 1
Wiedergabe-Modus	Reference // Stereo
Volume	21 (in der Regel; je nach Position im Regal)
Sub	0
BGC	Off
Bass	0
Treble	0

Yamaha YSP-1600

Kanalpegel	L: +1, R: +1, C: 0, Ls: 0, Rs: 0, SW:0
Dynamic Range	Auto (Default)
Audio Delay	Auto
Auto Power Standby	Off
Subwoofer	0 (Mittlere LED)
Modus	Surround (Movie) // Stereo
Input	TV
Position	Center

Yamaha YSP-5600

Kanalpegel	L: 0, R: 0, C: -1, Ls: 0, Rs: 0
Adaptive DRC	Off
Dynamikumfang	Max (Default)
DTS: Neo	6 Cinema
IntelliBeam	für jede Position neu eingemessen (mit beiliegendem Messmikrofon)
Höhen	0
Tiefen	0
Anpassung Laufzeit	0
Audio Verzögerung	0 ms
Modus	Surround // Stereo
Kanalausgabe: Front	Beam // Stereo
ClearVoice	Off
Enhacer	Off
DSP	Off
Dialog Lift	0
Input	Optical

B Fotos des Versuchsaufbaus im Raum AU23 des IRT

Abbildung 40: Versuchsaufbau - ohne Sichtschutz



Abbildung 41: Versuchsaufbau - Subwoofer (Klein+Hummel O 818), AV-Receiver (Denon AVR-X4100W) und Symmetrierer (Tascam LA-80 MKII)



Abbildung 42: Versuchsaufbau - mit Sichtschutz

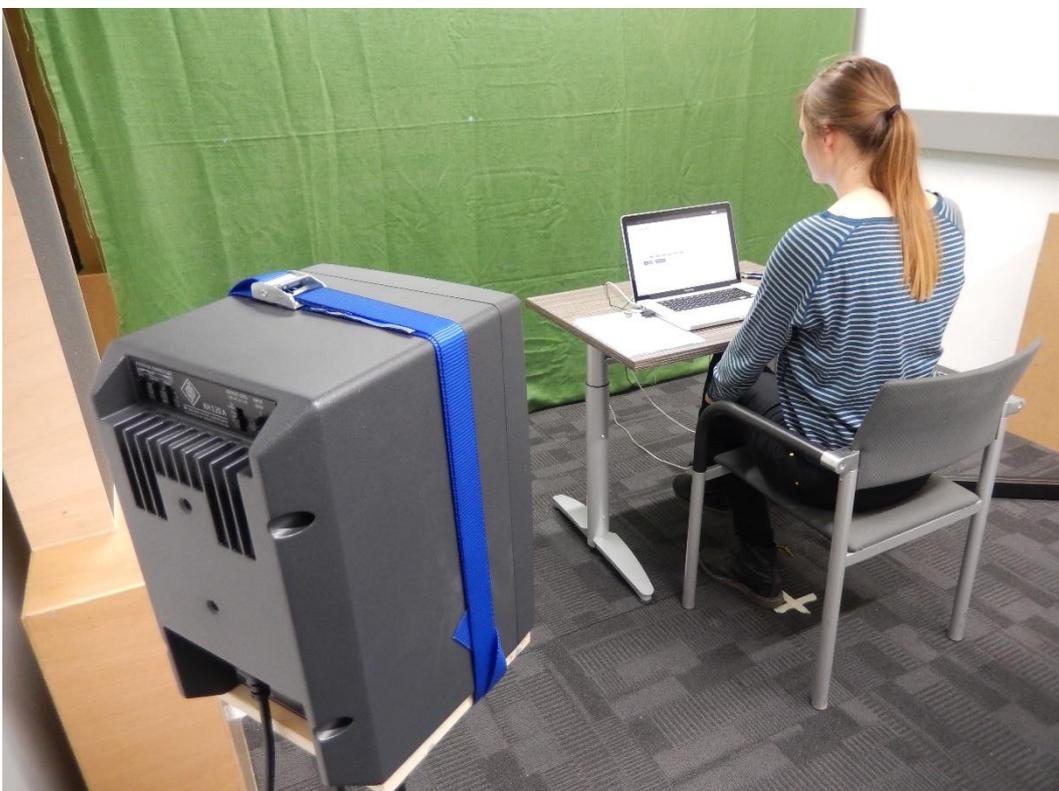


Abbildung 43: Versuchsaufbau - mit Sichtschutz und Proband (im Vordergrund: L_s -Speaker)

C Messungen im Versuchsraum AU23

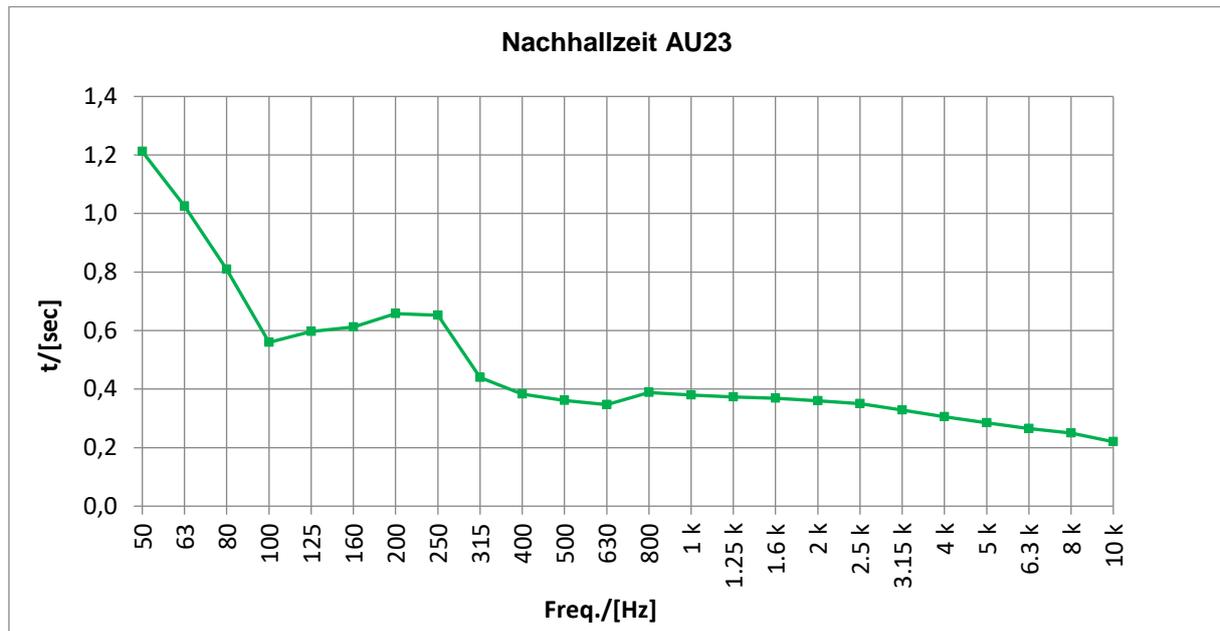


Abbildung 44: Messung der Nachhallzeit im Versuchsraum AU23 ($T_m = 0,41$ s)

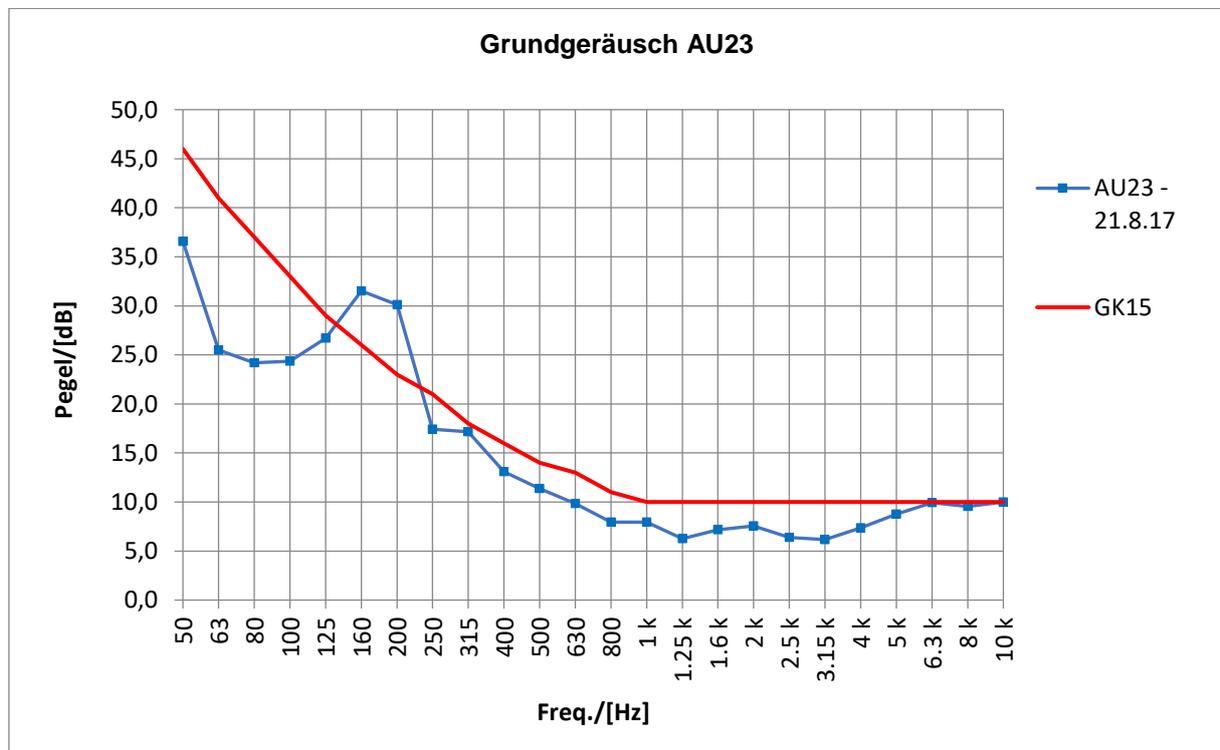


Abbildung 45: Messung des Grundgeräuschpegels im Versuchsraum AU23

D Wiedergabehöhen der Soundbars

Tabelle 7: Wiedergabehöhen der Soundbars für die evaluierten Kombinationen (K1–K8)

K1		
Position	Soundbar	Höhe in cm
1	Yamaha YSP-5600	141,5
2	Yamaha YSP-1600	89
3	Bose Solo 15 Series II	79,8
4	Teufel Cinebar 52 THX	62,8
K2		
Position	Soundbar	Höhe
1	Yamaha YSP-1600	134,1
2	Bose Solo 15 Series II	89,8
3	Philips HTL 3160B	78,3
4	Samsung HW-J6500	68,2
K3		
Position	Soundbar	Höhe
1	Bose Solo 15 Series II	134,9
2	Philips HTL 3160B	88,3
3	Teufel Cinebar 52 THX	72,8
4	LG SJ8	57,7
K4		
Position	Soundbar	Höhe
1	Philips HTL 3160B	133,4
2	Teufel Cinebar 52 THX	82,8
3	Samsung HW-J6500	68,2
4	Canton DM 90.3	53,7
K5		
Position	Soundbar	Höhe
1	Teufel Cinebar 52 THX	137,9
2	Samsung HW-J6500	88,2
3	LG SJ8	77,7
4	Yamaha YSP-5600	56,4
K6		
Position	Soundbar	Höhe
1	Samsung HW-J6500	133,3
2	LG SJ8	87,7
3	Canton DM 90.3	73,7
4	Yamaha YSP-1600	59,0
K7		
Position	Soundbar	Höhe
1	LG SJ8	132,8
2	Canton DM 90.3	83,7
3	Yamaha YSP-5600	56,4
4	Bose Solo 15 Series II	39,8
K8		
Position	Soundbar	Höhe
1	Canton DM 90.3	138,8
2	Yamaha YSP-5600	76,4
3	Yamaha YSP-1600	59,0
4	Philips HTL 3160B	48,3

E Beamforming – Verlauf der Schallstrahlen im Versuchsraum

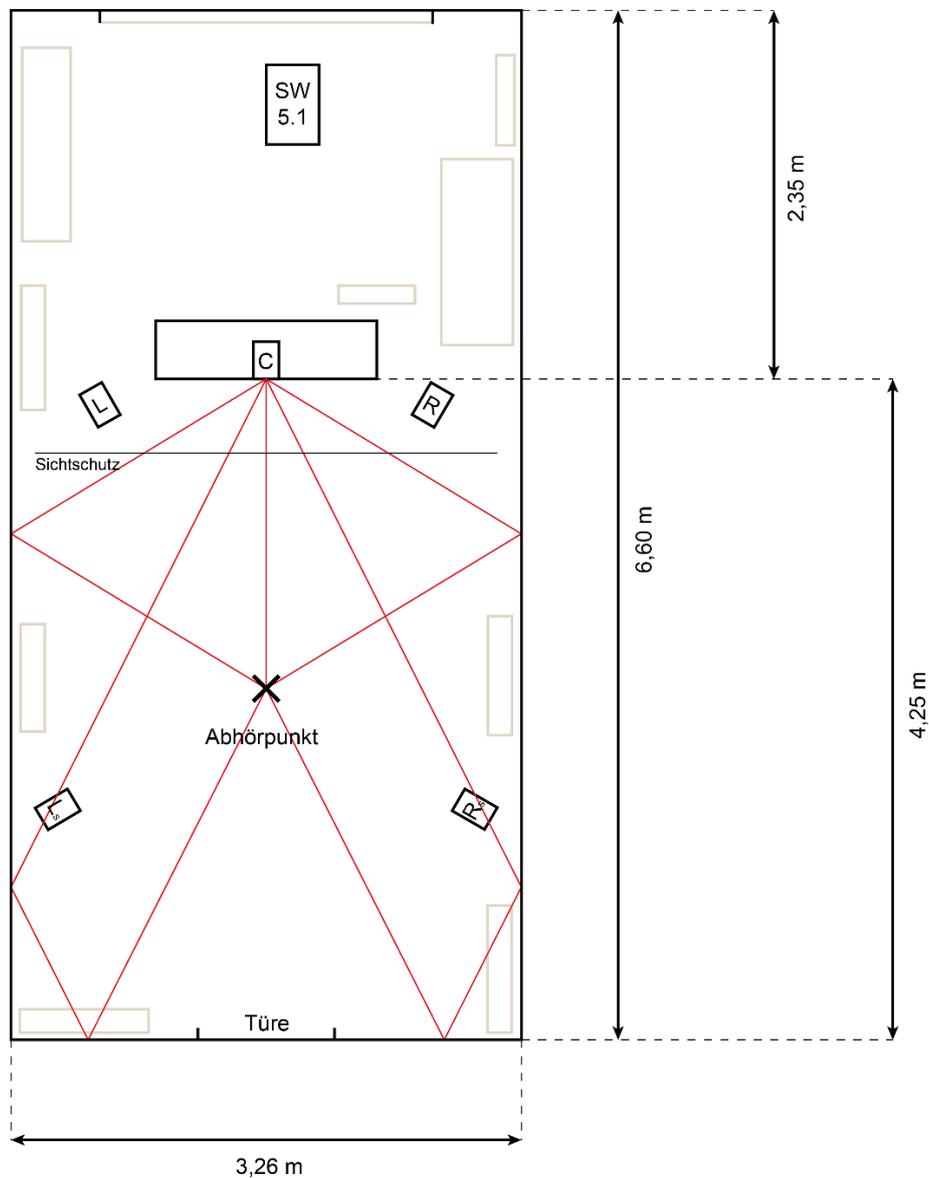


Abbildung 46: Maßstabsgetreue Skizze des Versuchsraumes – Verlauf der Schallstrahlen (rot) der Soundbars Y16 und Y56 (Beamforming) im Versuchsraum (Die zwei Absorber (beige) am unteren Ende des Raumes befanden sich deutlich unterhalb der Wiedergabehöhe und stellten daher keine Hindernisse dar)

F Anleitungen zu den Hörversuchen

Anleitung zum Hörversuch



Thema: Vergleich der Wiedergabequalität von Soundbars und anderen Wiedergabesystemen mit Bezug auf das 5.1 Mehrkanalformat

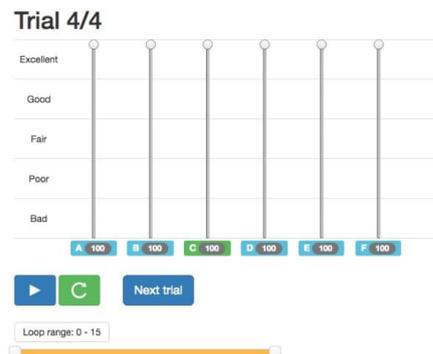
Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

Herzlich Willkommen und vielen Dank für Deine Teilnahme an diesem Hörversuch.

Der heutige Hörversuch dauert insgesamt etwa 80 min und wird in zwei Blöcke mit je 40 min aufgeteilt. Es werden Audio-Testsequenzen von ca. 10-30 Sekunden Länge aus den Bereichen Spielfilm, Sport, TV-Show, Dokumentation und Musik im 5.1 Mehrkanalformat mithilfe unterschiedlicher Audiowiedergabegeräte präsentiert.

Begonnen wird mit einer kurzen Trainingssession, in der Dir 2 Testsequenzen gezeigt werden. Dies dient dazu, sich an die Testsoftware zu gewöhnen, einen Einblick in den Versuchsablauf zu erhalten, sowie offene Fragen zu klären.

Teil 1: Mit der Testsoftware soll ein Multi-Stimulus-Vergleich durchgeführt werden. Die Buchstaben A bis F stehen für die verschiedenen Wiedergabesysteme. Per Mausklick auf einen der Buchstaben kann zwischen den Systemen hin und her geschaltet werden. Jedes System hat seine eigene Skala, auf der die Gesamtklangqualität bewertet wird. Mithilfe der Play-, Stop- und Loop-Buttons, sowie den Loop-Markern, kannst Du die Wiedergabe des Hörbeispiels steuern. Dieses kann so oft wiederholt werden, wie es nötig ist. Wenn die Bewertung abgeschlossen ist, wird durch einen Klick auf „Nächstes Trial“ mit dem nächsten Vergleich fortgefahren.



Teil 2: Hier findet auch ein Multi-Stimulus-Vergleich der Wiedergabesysteme statt. Es werden nun aber verschiedene Attribute wie z.B. „Umhüllung“ oder „Natürlichkeit“ bewertet. Um Missverständnisse zu vermeiden, befindet sich am rechten Rand ein kleiner Text, der das jeweilige Attribut genauer beschreibt. Zusätzlich zu den Systemen wird in jedem Trial der sogenannte „Ideal Point“ bewertet. Dieser steht für den Wert, den man als Proband für das jeweilige Attribut als optimal erachtet. Durch die Bewertung des „Ideal Point“ der verschiedenen Attribute wird also das Profil eines idealen Wiedergabesystems (Ideal Profile) beschrieben.

Während des Versuchs kann jederzeit pausiert, bzw. der Test unterbrochen und an einem anderen Tag fortgesetzt werden. **Spätestens nach Trial 12 von Teil 2 wird der Versuch pausiert.**

Hast Du weitere Fragen? Ich sitze im **BU013. Durchwahl -302.**

TIPP: Um den Loop zu aktivieren:
Stopp drücken, Loop deaktivieren, Play drücken, Loop aktivieren

Anleitung zum Hörversuch



Thema: Vergleich der Wiedergabequalität von Soundbars und anderen Wiedergabesystemen mit Bezug auf das 2.0 Mehrkanalformat

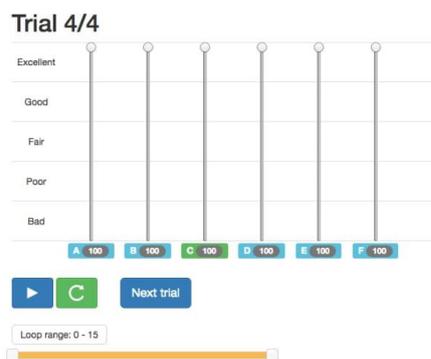
Liebe Teilnehmerin, lieber Teilnehmer,

Herzlich Willkommen und vielen Dank für Deine Teilnahme an diesem Hörversuch.

Der heutige Hörversuch dauert insgesamt etwa 80 min und wird in zwei Blöcke mit je 40 min aufgeteilt. Es werden Audio-Testsequenzen von ca. 10-30 Sekunden Länge aus den Bereichen Spielfilm, Sport, TV-Show, Dokumentation und Musik im 2.0 Mehrkanalformat mithilfe unterschiedlicher Audiowiedergabegeräte präsentiert.

Begonnen wird mit einer kurzen Trainingssession, in der Dir 2 Testsequenzen gezeigt werden. Dies dient dazu, sich an die Testsoftware zu gewöhnen, einen Einblick in den Versuchsablauf zu erhalten, sowie offene Fragen zu klären.

Teil 1: Mit der Testsoftware soll ein Multi-Stimulus-Vergleich durchgeführt werden. Die Buchstaben A bis F stehen für die verschiedenen Wiedergabesysteme. Per Mausclick auf einen der Buchstaben kann zwischen den Systemen hin und her geschaltet werden. Jedes System hat seine eigene Skala, auf der die Gesamtklangqualität bewertet wird. Mithilfe der Play-, Stop- und Loop-Buttons, sowie den Loop-Markern, kannst Du die Wiedergabe des Hörbeispiels steuern. Dieses kann so oft wiederholt werden, wie es nötig ist. Wenn die Bewertung abgeschlossen ist, wird durch einen Klick auf „Nächstes Trial“ mit dem nächsten Vergleich fortgefahren.



Teil 2: Hier findet auch ein Multi-Stimulus-Vergleich der Wiedergabesysteme statt. Es werden nun aber verschiedene Attribute wie z.B. „Breite“ oder „Natürlichkeit“ bewertet. Um Missverständnisse zu vermeiden, befindet sich am rechten Rand ein kleiner Text, der das jeweilige Attribut genauer beschreibt. Zusätzlich zu den Systemen wird in jedem Trial der sogenannte „Ideal Point“ bewertet. Dieser steht für den Wert, den man als Proband für das jeweilige Attribut als optimal erachtet. Durch die Bewertung des „Ideal Point“ der verschiedenen Attribute wird also das Profil eines idealen Wiedergabesystems (Ideal Profile) beschrieben.

Während des Versuchs kann jederzeit pausiert, bzw. der Test unterbrochen und an einem anderen Tag fortgesetzt werden. **Spätestens nach Trial 12 von Teil 2 wird der Versuch pausiert.**

Hast Du weitere Fragen? Ich sitze im **BU013. Durchwahl -302.**

TIPP: Um den Loop zu aktivieren:
Stopp drücken, Loop deaktivieren, Play drücken, Loop aktivieren

G Evaluation der Wiedergabehöhen der Soundbars

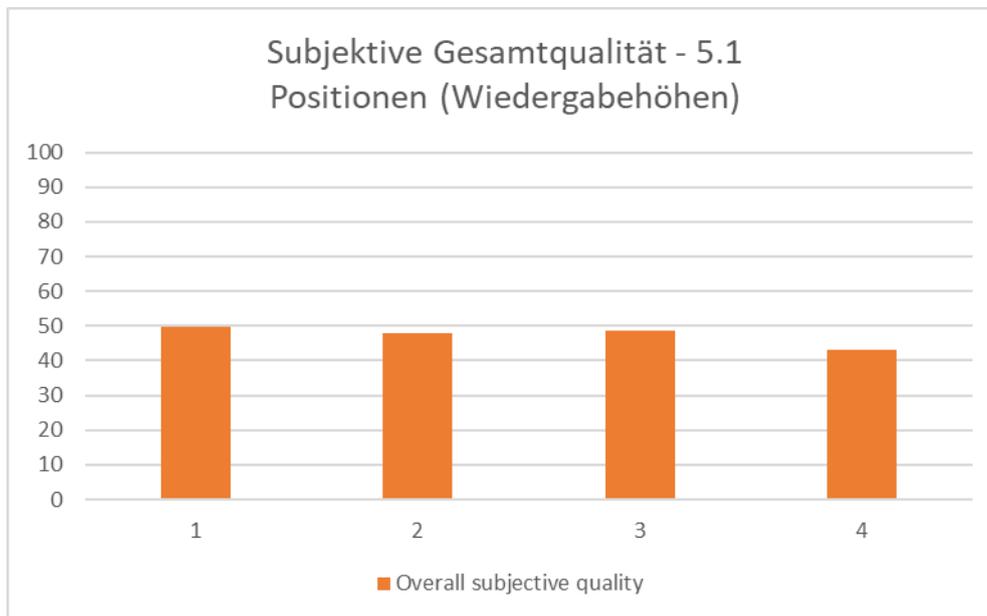


Abbildung 47: Mittelwerte der subjektiven Gesamtqualität für die Positionen (1 (oben) – 4 (unten)) der Soundbars (5.1 Untersuchung)

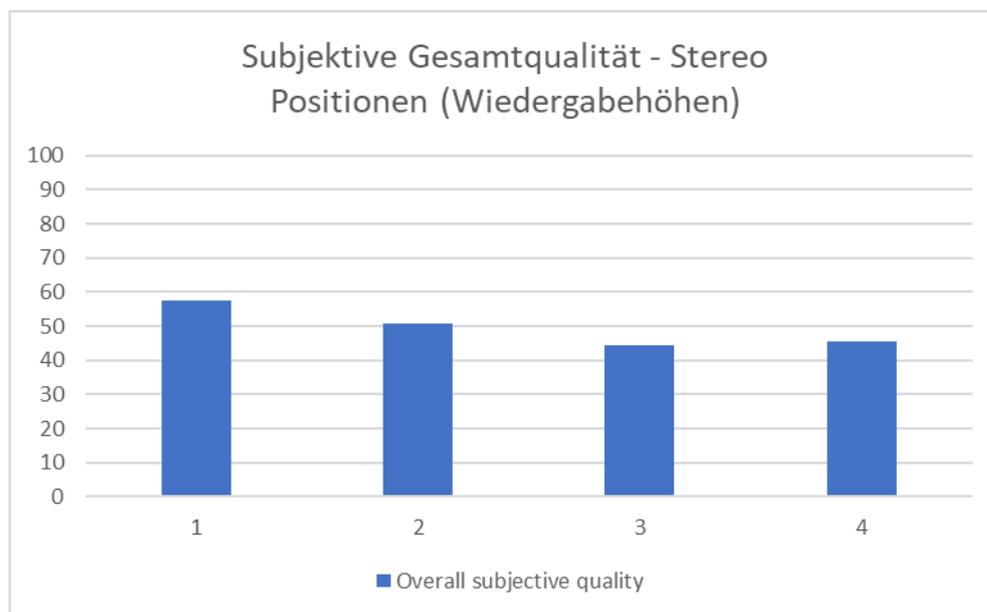


Abbildung 48: Mittelwerte der subjektiven Gesamtqualität für die Positionen (1 (oben) – 4 (unten)) der Soundbars (Stereo Untersuchung)

H Varianzanalyse (ANOVA)

ANOVA der subjektiven Gesamtqualität – 5.1-Wiedergabe

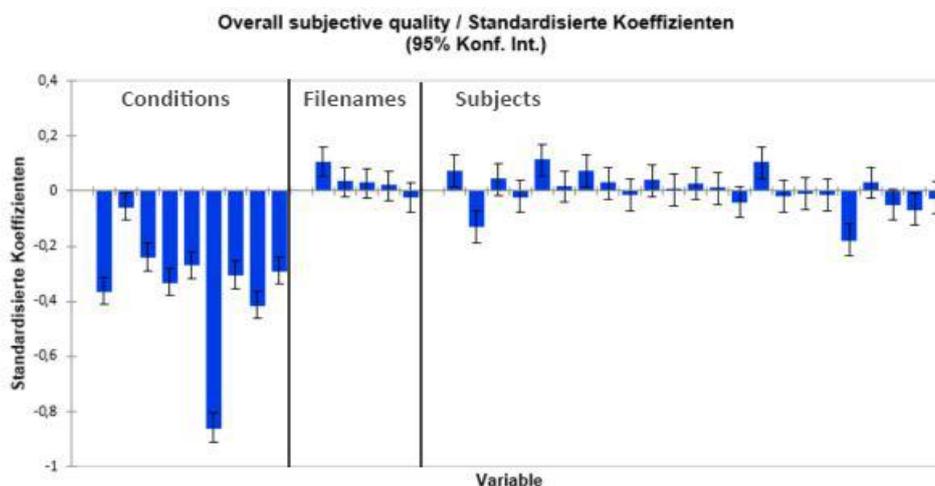


Abbildung 49: ANOVA (standardisierte Koeffizienten) der subjektiven Gesamtqualität der unabhängigen Variablen (Condition, Filename, Subject) – 5.1-Wiedergabe

ANOVA der Attributbewertung – 5.1-Wiedergabe

Tabelle 8: ANOVA der Attributbewertung (Zusammenfassung) – Stereo-Wiedergabe

	Umhüllung	Natürlichkeit	Detailliertheit	Bassstärke	Dosiger Klang (Canny)
R ²	0,648	0,557	0,611	0,638	0,572
F	17,523	11,962	14,946	16,788	12,749
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Condition	99,953	85,845	93,732	123,703	97,812
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Filename	10,045	8,242	3,948	5,372	8,675
	< 0,0001	< 0,0001	0,002	< 0,0001	< 0,0001
Subject	15,527	4,176	10,339	4,074	3,954
	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

ANOVA der subjektiven Gesamtqualität – Stereo-Wiedergabe

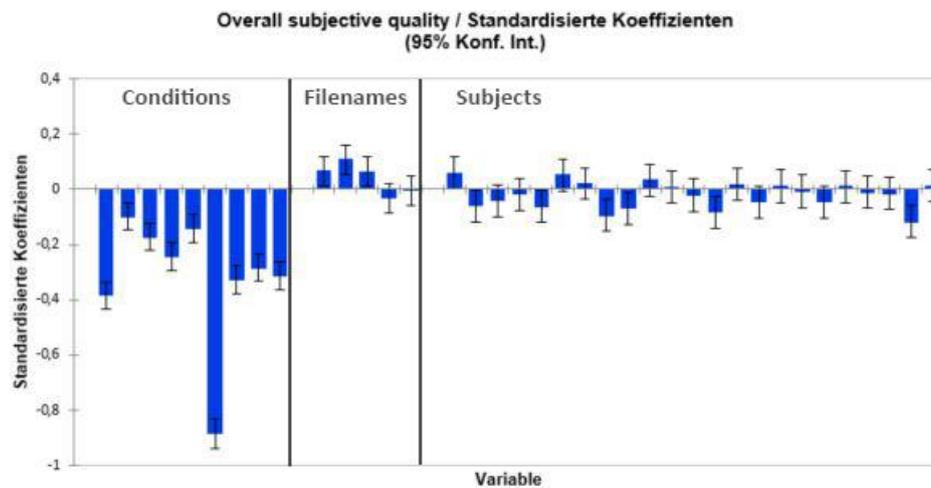


Abbildung 50: ANOVA (standardisierte Koeffizienten) der subjektiven Gesamtqualität der unabhängigen Variablen (Condition, Filename, Subject) – Stereo-Wiedergabe

ANOVA der Attributbewertung – Stereo-Wiedergabe

Tabelle 9: ANOVA der Attributbewertung (Zusammenfassung) – Stereo-Wiedergabe

	Breite	Natürlichkeit	Detailliertheit	Bassstärke	Dosiger Klang (Canny)
R ²	0,620	0,581	0,566	0,711	0,645
F	36,489	30,998	29,057	54,857	40,536
Pr > F	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001
Condition	126,209 < 0,0001	106,023 < 0,0001	95,963 < 0,0001	204,864 < 0,0001	139,178 < 0,0001
Filename	10,320 < 0,0001	3,083 0,009	6,886 < 0,0001	7,647 < 0,0001	8,797 < 0,0001
Subject	6,643 < 0,0001	6,339 < 0,0001	7,715 < 0,0001	5,542 < 0,0001	8,045 < 0,0001

I Prüfung auf Normalverteilung

H₀: Die Variable, von der die Stichprobe stammt, folgt einer Normalverteilung.

H_a: Die Variable, von der die Stichprobe stammt, folgt keiner Normalverteilung.

Wenn der berechnete p-Wert größer als das Signifikanz-Niveau $\alpha=0,05$ ist, kann die Null-Hypothese H₀ bestätigt werden.

Tabelle 10: Prüfung der Daten auf Normalverteilung mithilfe des Shapiro-Wilk-Tests – 5.1 und Stereo

5.1 - Gesamtqualität			Stereo - Gesamtqualität	
Variable\Test	Shapiro-Wilk		Variable\Test	Shapiro-Wilk
Overall subjective quality 5.1_System	< 0,0001		Overall subjective quality 5.1_System	< 0,0001
Overall subjective quality Bose_Solo_15_Series_II	0,107		Overall subjective quality Bose_Solo_15_Series_II	0,027
Overall subjective quality Canton_DM_90.3	0,109		Overall subjective quality Canton_DM_90.3	0,141
Overall subjective quality LG_SJ8	0,151		Overall subjective quality LG_SJ8	0,095
Overall subjective quality Philips_HTL_3160B	0,594		Overall subjective quality Philips_HTL_3160B	0,026
Overall subjective quality Samsung_HW-J6500	0,385		Overall subjective quality Samsung_HW-J6500	0,130
Overall subjective quality TV_System	< 0,0001		Overall subjective quality TV_System	< 0,0001
Overall subjective quality Teufel_Cinebar_52_THX	0,805		Overall subjective quality Teufel_Cinebar_52_THX	0,577
Overall subjective quality Yamaha_YSP-1600	0,171		Overall subjective quality Yamaha_YSP-1600	0,065
Overall subjective quality Yamaha_YSP-5600	0,061		Overall subjective quality Yamaha_YSP-5600	0,036
5.1 - Attributbewertung			Stereo - Attributbewertung	
Variable\Test	Shapiro-Wilk		Variable\Test	Shapiro-Wilk
Umhüllung 5.1_System	< 0,0001		Breite 5.1_System	0,001
Umhüllung Bose_Solo_15_Series_II	0,016		Breite Bose_Solo_15_Series_II	0,034
Umhüllung Canton_DM_90.3	< 0,0001		Breite Canton_DM_90.3	0,068
Umhüllung LG_SJ8	0,034		Breite LG_SJ8	0,037
Umhüllung Philips_HTL_3160B	0,600		Breite Philips_HTL_3160B	0,643
Umhüllung Samsung_HW-J6500	0,907		Breite Samsung_HW-J6500	0,459
Umhüllung TV_System	< 0,0001		Breite TV_System	< 0,0001
Umhüllung Teufel_Cinebar_52_THX	0,049		Breite Teufel_Cinebar_52_THX	0,938
Umhüllung Yamaha_YSP-1600	0,040		Breite Yamaha_YSP-1600	0,189
Umhüllung Yamaha_YSP-5600	0,443		Breite Yamaha_YSP-5600	0,034
Natürlichkeit 5.1_System	< 0,0001		Natürlichkeit 5.1_System	< 0,0001
Natürlichkeit Bose_Solo_15_Series_II	0,144		Natürlichkeit Bose_Solo_15_Series_II	< 0,0001
Natürlichkeit Canton_DM_90.3	0,078		Natürlichkeit Canton_DM_90.3	0,635
Natürlichkeit LG_SJ8	0,517		Natürlichkeit LG_SJ8	0,042
Natürlichkeit Philips_HTL_3160B	0,433		Natürlichkeit Philips_HTL_3160B	0,008
Natürlichkeit Samsung_HW-J6500	0,143		Natürlichkeit Samsung_HW-J6500	0,118
Natürlichkeit TV_System	< 0,0001		Natürlichkeit TV_System	< 0,0001
Natürlichkeit Teufel_Cinebar_52_THX	0,124		Natürlichkeit Teufel_Cinebar_52_THX	0,377
Natürlichkeit Yamaha_YSP-1600	0,011		Natürlichkeit Yamaha_YSP-1600	0,098
Natürlichkeit Yamaha_YSP-5600	0,689		Natürlichkeit Yamaha_YSP-5600	0,012
Detailliertheit 5.1_System	< 0,0001		Detailliertheit 5.1_System	< 0,0001
Detailliertheit Bose_Solo_15_Series_II	0,015		Detailliertheit Bose_Solo_15_Series_II	0,047
Detailliertheit Canton_DM_90.3	0,002		Detailliertheit Canton_DM_90.3	0,197
Detailliertheit LG_SJ8	0,609		Detailliertheit LG_SJ8	0,511
Detailliertheit Philips_HTL_3160B	0,193		Detailliertheit Philips_HTL_3160B	0,217
Detailliertheit Samsung_HW-J6500	0,162		Detailliertheit Samsung_HW-J6500	0,228
Detailliertheit TV_System	0,001		Detailliertheit TV_System	< 0,0001
Detailliertheit Teufel_Cinebar_52_THX	0,137		Detailliertheit Teufel_Cinebar_52_THX	0,090
Detailliertheit Yamaha_YSP-1600	0,146		Detailliertheit Yamaha_YSP-1600	0,150
Detailliertheit Yamaha_YSP-5600	0,446		Detailliertheit Yamaha_YSP-5600	0,372
Bassstärke 5.1_System	0,003		Bassstärke 5.1_System	0,048
Bassstärke Bose_Solo_15_Series_II	0,353		Bassstärke Bose_Solo_15_Series_II	0,202
Bassstärke Canton_DM_90.3	0,004		Bassstärke Canton_DM_90.3	0,407
Bassstärke LG_SJ8	0,118		Bassstärke LG_SJ8	0,120
Bassstärke Philips_HTL_3160B	0,307		Bassstärke Philips_HTL_3160B	0,073
Bassstärke Samsung_HW-J6500	0,052		Bassstärke Samsung_HW-J6500	0,247
Bassstärke TV_System	< 0,0001		Bassstärke TV_System	< 0,0001
Bassstärke Teufel_Cinebar_52_THX	0,140		Bassstärke Teufel_Cinebar_52_THX	0,001
Bassstärke Yamaha_YSP-1600	0,026		Bassstärke Yamaha_YSP-1600	0,621
Bassstärke Yamaha_YSP-5600	0,540		Bassstärke Yamaha_YSP-5600	0,024
Dosiger Klang (Canny) 5.1_System	< 0,0001		Dosiger Klang (Canny) 5.1_System	< 0,0001
Dosiger Klang (Canny) Bose_Solo_15_Series_II	0,007		Dosiger Klang (Canny) Bose_Solo_15_Series_II	0,042
Dosiger Klang (Canny) Canton_DM_90.3	0,010		Dosiger Klang (Canny) Canton_DM_90.3	0,025
Dosiger Klang (Canny) LG_SJ8	0,067		Dosiger Klang (Canny) LG_SJ8	0,000
Dosiger Klang (Canny) Philips_HTL_3160B	0,113		Dosiger Klang (Canny) Philips_HTL_3160B	0,024
Dosiger Klang (Canny) Samsung_HW-J6500	0,025		Dosiger Klang (Canny) Samsung_HW-J6500	0,031
Dosiger Klang (Canny) TV_System	< 0,0001		Dosiger Klang (Canny) TV_System	< 0,0001
Dosiger Klang (Canny) Teufel_Cinebar_52_THX	0,051		Dosiger Klang (Canny) Teufel_Cinebar_52_THX	0,362
Dosiger Klang (Canny) Yamaha_YSP-1600	0,019		Dosiger Klang (Canny) Yamaha_YSP-1600	0,024
Dosiger Klang (Canny) Yamaha_YSP-5600	0,207		Dosiger Klang (Canny) Yamaha_YSP-5600	0,026

J Profile der Wiedergabesysteme (5.1 und Stereo)

