

Förderpreis 2013

Untersuchung des Nutzens zusätzlicher Tieftonverstärkung bei offenen Versorgungen

Bachelorarbeit

Verfasser: David Sooprayen
Betreuer und
Erstgutachter: Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Tchorz
Zweiter Gutachter: Dr. rer. nat. Volker Kühnel
Datum der Abgabe: 23.08.2013

EUHA

Europäische Union der
Hörgeräteakustiker e.V.

Herausgeber: Europäische Union der Hörgeräteakustiker e.V.
Neubrunnenstraße 3, 55116 Mainz, Deutschland
Tel. +49 (0)6131 28 30-0
Fax +49 (0)6131 28 30-30
E-Mail: info@euha.org
Internet: www.euha.org

Alle hier vorhandenen Dateien, Texte und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung über den eigenen privaten Bereich hinaus ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

© EUHA 2013

Zusammenfassung

Anhand von Laboruntersuchungen untersucht diese Bachelorarbeit den Nutzen zusätzlicher Tieftonverstärkung bei offen versorgten milden bis moderaten Hörminderungen in Bezug auf das Sprachverstehen in ruhiger und geräuschvoller Umgebung bei gleichzeitiger Klangusgewogenheit und angenehmem Lautheitsempfinden. Hierbei wird an der aktuellen Vorberechnungsformel der für Phonak-Hörsysteme zum Einsatz kommenden „Adaptive Phonak Digital“ (APD) die Zielverstärkung im Frequenzbereich um 500 Hz angehoben. Die Messungen der Sprachverständlichkeiten erfolgen anhand des „Reimtests nach von Wallenburg und Kollmeier“ (WAKO) für das Sprachverstehen in ruhiger Umgebung sowie des „Oldenburger Satztests“ (OLSA) für die Ermittlung der Sprachdiskrimination in geräuschvoller Umgebung. Zur Beurteilung der Klangusgewogenheit und Lautheit wird ein „Sound-Parcours“ verwendet, in dessen Rahmen ein speziell für diese Studie erstellter Fragebogen zum Einsatz kommt. Den Testpersonen stehen hierfür vier unterschiedliche Hörprogramme zur Verfügung, zwei für die Sprachmessungen und Klangbeispiele in „ruhiger Umgebung“ sowie zwei weitere für die Sprachmessungen und Klangbeispiele in „geräuschvoller Umgebung“. Eines der Hörprogramme entspricht der aktuellen Vorberechnung (engl.: First Fit, FF), das andere Hörprogramm entspricht jeweils der aktuellen Vorberechnung mit zusätzlicher Anhebung der Tieftonverstärkung (engl.: Bass Boost, BB). Die Ergebnisse zeigen bei der Sprachdiskrimination in ruhiger Umgebung keine signifikanten Unterschiede zwischen FF und BB. Bei der Sprachdiskrimination in geräuschvoller Umgebung verbessert sich die Sprachdiskrimination in der Hörsystemeinstellung BB signifikant im Vergleich zur Hörsystemeinstellung FF. Die anhand des Fragebogens gesammelten Ergebnisse geben keinen eindeutigen Hinweis auf eine signifikante Bevorzugung von FF oder BB in Bezug auf die Klangusgewogenheit und Lautheit, lassen aber die Annahme zu, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung den größten Nutzen sowie die größte Akzeptanz bei Sprache im Störgeräusch hat.

Abstract

This bachelor thesis is examining the benefit of additional low-frequency amplification for open fitted, mild to moderate hearing losses in terms of intelligibility in quiet and noisy situations, while aiming at a good sound balance and a comfortable loudness perception. This is achieved by raising the target gain level of Phonak's fitting formula "Adaptive Phonak Digital" (APD) in the low-frequency area of about 500 Hz. The speech intelligibility tests conducted were: "Rhyme test according to von Wallenburg and Kollmeier" (WAKO) to evaluate speech intelligibility in quiet, and "Oldenburg sentence test" (OLSA) for speech intelligibility in noise. For the evaluation of sound balance and loudness, a "Sound Parcours" was used, along with a questionnaire specifically designed for this study. There were four different hearing programs for the participants, two of them for the speech tests

and sound examples in quiet, and two for the speech tests and sound examples in noise. Two of the four hearing programs were programmed with the actual fitting formula – the First Fit (FF). The other two programs were based on FF but with additional low-frequency amplification – the Bass Boost (BB). The results show no significant correlation between FF and BB for speech intelligibility in quiet, i.e. in WAKO. With additional low-frequency amplification, there is a significant correlation in speech intelligibility in noisy environments, i.e. in OLSA. The results of the questionnaire suggest no preference in terms of sound balance and loudness for the FF or BB setting but allow the assumption that additional low-frequency amplification has the greatest benefit and acceptance in speech-in-noise situations.

Keywords: offene Hörsystemversorgung, Bass Boost, Sprachdiskrimination

Inhaltsverzeichnis

Impressum	i
Zusammenfassung/Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	iv
1. Einleitung	1
2. Hintergrundwissen	3
2.1 Vorberechnungsformeln	3
2.1.1 NAL-NL1	3
2.1.2 NAL-NL2	4
2.1.3 DSL [i/o] und DSL v5.0	7
2.1.4 Adaptive Phonak Digital (APD)	8
2.2 Hörsystemversorgung: offen vs. geschlossen	11
2.3 Sprachverstehen, Lautstärkeempfinden und Klangqualität	13
2.4 Der Artikulationsindex (AI)	14
2.5 Sprachtests im deutschsprachigen Raum	15
2.5.1 Übersicht	15
2.5.2 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)	16
2.5.3 Oldenburger Satztest (OLSA)	16
2.6 Klinische Studien und Ethikantrag	18
2.6.1 Klinische Studien	18
2.6.2 Der Ethikantrag	19
3. Studienablauf	20
3.1 Hintergrund, Fragestellung, Ziel und Hypothesen	20
3.1.1 Hintergrund	20
3.1.2 Fragestellung	20
3.1.3 Ziel	20
3.1.4 Hypothesen	21
3.2 Studiendesign	21
3.3 Studienpopulation	23
3.3.1 Ein- und Ausschlusskriterien	23
3.3.1.1 Einschlusskriterien	23
3.3.1.2 Ausschlusskriterien	24
3.3.2 Testpersonen	24
3.4 Messraum und Messkabine	26
3.5 Hörsysteme, Hörsystemeinstellung, Messraum und Messverfahren	27
3.5.1 Hörsysteme	27
3.5.2 Fitting Software und Hörsystemeinstellung	27
3.6 Verwendete Messverfahren und Messeinstellungen	33
3.6.1 Audiogram Direct, Rückkopplungstest und RECD	33
3.6.2 In-situ-Messungen	34
3.6.3 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)	35
3.6.4 Oldenburger Satztest (OLSA)	35

3.6.5 Sound-Parcours	36
3.6.5.1 Aufbau und verwendete Klangbeispiele	37
3.6.5.2 Darbietungswinkel	37
3.6.5.3 Kalibrierung und energieäquivalente Dauerschalldruckpegel	38
3.6.5.4 Methodisches Vorgehen	39
3.6.5.5 Fragebogen	40
4. Ergebnisse und statistische Auswertung	42
4.1 In-situ-Messungen	42
4.2 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)	44
4.2.1 Test vs. Retest	45
4.2.2 First Fit vs. Bass Boost	48
4.3 Oldenburger Satztest (OLSA)	49
4.3.1 Test vs. Retest	49
4.3.2 First Fit vs. Bass Boost	52
4.4 Sound-Parcours und Fragebogen	53
4.5 Korrelationen: WAKO u. OLSA vs. Fragebogen	72
4.5.1 Korrelation: WAKO (FF) vs. SiR (FF)	72
4.5.2 Korrelation: WAKO (BB) vs. SiR (BB)	74
4.5.3 Korrelation: OLSA (FF) vs. SiPar (FF)	75
4.5.4 Korrelation: OLSA (BB) vs. SiPar (BB)	76
5. Diskussion und Kritik	77
5.1 In-situ-Messungen	77
5.2 WAKO	78
5.3 OLSA	79
5.4 Sound-Parcours und Fragebogen	80
5.5 Korrelationen: WAKO u. OLSA vs. Fragebogen	81
5.6 Zusammenfassende Auswertung	82
6. Fazit und Ausblick	83
6.1 Fazit	83
6.2 Ausblick	83
7. Verzeichnisse	84
7.1 Symbole und Abkürzungen	84
7.2 Abbildungsverzeichnis	86
7.3 Tabellenverzeichnis	94
7.4 Literaturverzeichnis	97
8. Danksagung	99
A. Verwendete Hardware	100
B. Verwendete Software	101
C. Fragebogen	102
D. Sound-Parcours – „eigene Stimme“	118

E. Messergebnisse – In-situ-Messungen	119
F. Messergebnisse – WAKO und OLSA	121
F.1 WAKO – Test	121
F.2 WAKO – Retest	121
F.3 WAKO – Abweichungen Test vs. Retest (Reliabilität)	122
F.4 OLSA – Test	122
F.5 Benefit OLSA Test BB vs. FF	123
F.6 OLSA – Retest	123
F.7 Benefit OLSA Retest BB vs. FF	123
F.8 OLSA – Abweichungen Test vs. Retest (Reliabilität)	124
F.9 Sortierte Daten für Statistica 10	124
G. Shapiro-Wilk-Test – WAKO und OLSA	125
G.1 WAKO – Test	125
G.2 WAKO – Retest	126
G.3 OLSA – Test	126
G.4 OLSA – Test	127
H. Wilcoxon-Matched-Pair-Test – OLSA FF vs. BB	128
H.1 OLSA FF vs. BB	129
H.2 OLSA FF vs. BB	129
I. Messergebnisse - Fragebogen	130
J. Shapiro-Wilk-Test – Fragebogen	142
K. Wilcoxon-Mann-Whitney-Test – Fragebogen	149
L. Datenblatt – Hörsystem Prototyp	152
M. Polardiagramm – „Real Ear Sound“	153

1. Einleitung

Dem Hörgeräteakustiker stehen in der täglichen Praxis viele verschiedene Vorberechnungsformeln zur Verfügung, welche unterschiedlichen Zielen und Philosophien folgen. Neben herstellerübergreifenden Vorberechnungsformeln bietet inzwischen fast jeder Hersteller seine eigene Vorberechnungsformel an.

Die Vorberechnungsformeln dienen dabei der Berechnung der individuell benötigten Zielverstärkung zur bestmöglichen Kompensation der Hörminderung.

Die frequenz- und eingangspegelspezifische Zielverstärkung von Hörsystemen hängt dabei von vielen Einflussgrößen ab. Die Berücksichtigung dieser vielen Einflussgrößen variiert zwischen den Vorberechnungsformeln.

Neben Art, Grad und Verlauf der Hörminderung berücksichtigen die Vorberechnungsformeln bei der Berechnung der Zielverstärkung z. B. auch die Trageerfahrung, akustische Ankopplung, das Lautheitsempfinden, Alter, Geschlecht oder die Tatsache, ob es sich im jeweiligen Land um tonale oder nicht tonale Sprache handelt.

Für die vorliegende Bachelorarbeit spielt die Art der akustischen Ankopplung eine wichtige Rolle. Hierbei unterscheidet man u. a. zwischen der offenen und geschlossenen Hörsystemversorgung [16]. Eine offene Versorgung mit Hörsystemen kommt u. a. bei Hörminderungen zum Einsatz, bei welchen die tiefen Frequenzen (bis ca. 1 kHz) noch im Bereich des Normalhörenden liegen. Bei diesen Hörminderungen spricht man in der Regel von milden bis moderaten Hörminderungen [33]. Da dieser Frequenzbereich normalhörend ist und somit keine Verstärkung durch das Hörsystem benötigt, kann der sich dort befindliche Schallanteil durch das „offene“ Vent auf natürliche Weise, durch das Hörsystem unverstärkt, als sogenannter Direktschall, an das Ohr des Hörsystemträgers gelangen.

Durch diese Art der Versorgung ergeben sich für den Träger der Hörsysteme viele Vorteile, aber auch einige potentielle Nachteile, auf welche im späteren Verlauf dieser Bachelorarbeit noch genauer eingegangen wird.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, zu untersuchen, ob eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich um 500 Hz dem Hörsystemträger mit milder bis moderater Hörminderung und einer offenen Hörsystemversorgung zusätzlichen Nutzen in Bezug auf eine verbesserte Sprachverständlichkeit in Ruhe, im Störgeräusch sowie der subjektiven Empfindung in Bezug auf angenehme Lautheit und Klangausgewogenheit, bringt.

Kapitel 2 dieser Bachelorarbeit gibt eine Übersicht über grundlegendes Hintergrundwissen, welches für die Fragestellung und Untersuchung dieser Studie nützlich ist. In Kapitel 3 wird der Studienablauf beschrieben, welcher u. a. die Hypothesen, das Studiendesign, die verwendeten Hörsysteme und deren Einstellungen sowie die verwendeten Testverfahren beinhaltet. Kapitel 4 zeigt die Ergebnisse der Studie, welche in Kapitel 5 kritisch diskutiert

werden. Das Fazit und der Ausblick auf mögliche weitere Untersuchungen befinden sich in Kapitel 6.

2. Hintergrundwissen

2.1 Vorberechnungsformeln

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über die Hintergründe der Vorberechnungsformeln NAL-NL1, NAL-NL2, DSL [i/o], DSL v5.0 sowie der im Rahmen dieser Bachelorarbeit zur Anwendung gekommenen Adaptive Phonak Digital (APD).

2.1.1 NAL-NL1

Die Vorberechnungsformel NAL-NL 1 ist die Nachfolgerin von NAL-RP (engl.: Revised Pro-found, RP) und für die Anpassung nichtlinearer Hörsysteme entwickelt worden.

Das Ziel der Vorberechnungsformel NAL-NL1 ist die Maximierung der vorhergesagten Sprachverständlichkeit, wobei das Lautheitsempfinden nicht höher sein soll als bei einem Normalhörenden in gleicher Situation. NAL-NL1 hat nicht das ausdrückliche Ziel des Lautheitsausgleichs, bei welchem jedes Frequenzband auf die gleiche spezifische Lautheit gebracht wird [17].

Der Vorberechnungsformel NAL-NL1 liegen 52 Audiogramme mit zufälligen Verstärkungsberechnungen zugrunde. Die Berücksichtigung der Anzahl der Kanäle des Hörsystems erfolgt bei Eingabe des Audiogramms, wobei bis zu 4 Kanäle möglich sind [6].

Im Vergleich zu anderen Vorberechnungsformeln liefert NAL-NL1 für flache Hörminderungen relativ wenig Verstärkung in den tiefen Frequenzen und für steile Hörminderungen relativ wenig Verstärkung bei den hohen Frequenzen [6].

Die Änderung zu ihrer Vorgängerin, der Vorberechnungsformel NAL-RP ist, dass sie auf einem modifiziertem SII (eng.: Speech Intelligibility Index, SII) basiert. Dieser modifizierte SII geht davon aus, dass laute Eingangspiegel keinen Beitrag zur Sprachverständlichkeit beisteuern, sondern im Gegenteil, diese sogar verringern. Folglich ist der SII von den niedrigen und mittleren Eingangspiegeln abhängig [6]. Um maximale Sprachdiskrimination zu erreichen, berechnet NAL-NL1 einen modifizierten SII und bestimmt die Lautheit anhand des Innenohrmodells [24].

Die Berechnung der Verstärkung erfolgt in Terzbändern aus der Hörminderung im Bereich von 125 Hz bis 8 kHz, dem mittleren Hörverlust bei den Frequenzen 500 Hz, 1 kHz und 2 kHz, der Steigung der Hörminderung im Bereich zwischen 500 Hz und 2 kHz sowie dem mittleren Langzeitsprachspektrum des jeweiligen Eingangspiegels. NAL-NL1 berechnet die Zielverstärkung für die Eingangspiegel von Sprache von 40 dB (SPL) und 90 dB (SPL). Eine Besonderheit ist, dass für Sprachsignale mit einem Eingangssignal von 65 dB die Zielkurve von NAL-RP verwendet wird [9].

NAL-NL1 berücksichtigt zudem, ob eine bi- oder unilaterale Versorgung vorliegt. Im Falle einer bilateralen Versorgung wird weniger Zielverstärkung berechnet [17].

2.1.2 NAL-NL2

Die Vorberechnungsformel NAL-NL2 hat dasselbe Ziel wie ihre Vorgängerin NAL-NL1, maximale Sprachverständlichkeit, wobei die empfundene Lautheit nicht höher sein soll als die eines Normalhörenden in gleicher Situation [17].

Um diese beiden Ziele, Sprachverständlichkeit und ein „normales“ Lautheitsempfinden, zu erreichen, wird die frequenz- und eingangspiegelspezifische Verstärkung basierend auf zwei Modellen bestimmt.

Zur Maximierung der Sprachverständlichkeit dient ein verbessertes Sprachverständlichkeitsmodell, welches die frequenzabhängige Verstärkung regelt. Um zu verhindern, dass leise Eingangssignale unnatürlich stark verstärkt werden, ist zusätzlich ein Lautheitsmodell hinterlegt, das ebenfalls auf die frequenz- und eingangspiegelspezifische Verstärkung einwirkt. Die Kombination der zwei Modelle ergibt die Vorberechnungsformel NAL-NL2 [10].

Die Berechnung der Sprachverständlichkeit basiert auf Messungen mit einem „VCV“-Test (Vokal – Konsonant – Vokal) mit sinnlosen Silben sowie dem „CUNY“-Satztest (engl.: City University of New York). Diese Tests wurden sowohl bei insgesamt 55 hörgeminderten Erwachsenen, die einen weiten Bereich audiometrischer Profile abdeckten, als auch mit 20 Normalhörenden durchgeführt. Neben diesen genannten Messungen gingen ebenso Ergebnisse verschiedener anderer Messungen, wie z. B. psychoakustische Tuningkurven, TEN-Test (engl.: threshold equalizing noise) [25], TEOAE (transitorisch evozierte otoakustische Emissionen), Wahrnehmungsfähigkeiten und Alter, in die Berechnung mit ein [10].

Das Lautheitsmodell berechnet die Lautheit, die der Hörgeminderte empfinden würde, und vergleicht diese mit der Empfindung des Normalhörenden. Übersteigt die empfundene Lautheit des Hörgeminderten die des Normalhörenden, wird die Verstärkung entsprechend abgesenkt. Das Modell basiert auf der Auswertung von 240 Audiogrammen, die weite Bereiche in Bezug auf Schweregrad und Steilheit einer Hörminderung abdecken. Die Berechnung der Verstärkungscharakteristiken erfolgt für insgesamt sieben Lautstärkepegel im Bereich zwischen 40 dB (SPL) und 100 dB (SPL). Die hierdurch ermittelten Zielvorgaben wurden in einer einzigen Vorberechnungsformel, der NAL-NL2, zusammengefasst [10].

Zur Bestimmung der optimalen Verstärkung werden zudem empirische Daten hinzugezogen. Hierzu zählen das Alter, Geschlecht, Erfahrung, bilaterales Hören, Grad der Hörminderung sowie ob es sich um tonale oder nicht tonale Sprache handelt [17].

Untersuchungen bezüglich des Alters haben gezeigt, dass bei der Anpassung von Hörsystemen mit der Vorberechnungsformel NAL-NL1 Erwachsene mit leichter bis mittelgradiger Hörminderung und einem mittleren Eingangspegel im Durchschnitt 3 dB zu viel Verstärkung bekommen [17]. Diese Ergebnisse erhärteten sich in einer weiteren Studie, welche speziell auf die Bestimmung der von Hörsystemnutzern bevorzugten Gesamtverstärkung

abzielte [18]. Untersuchungen über die Vorlieben von Kindern und deren Hörleistungen lassen hingegen darauf schließen, dass diese im Mittel einige wenige dB mehr Verstärkung bevorzugen [7] (siehe Abb. 2.1).

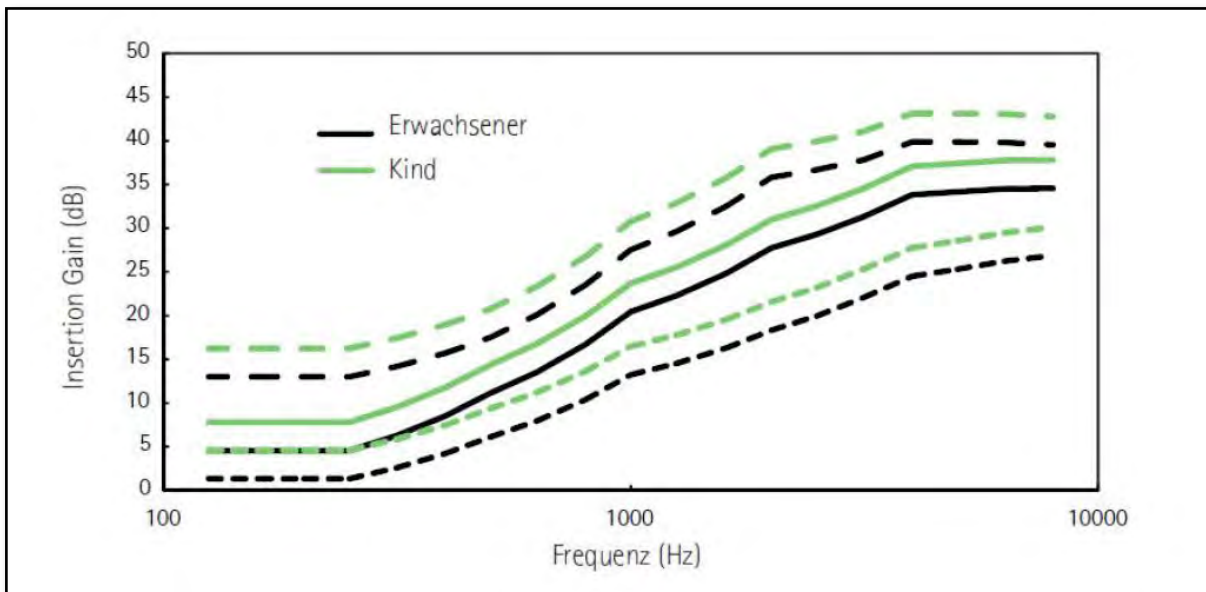


Abb. 2.1: Zielverstärkungskurven von Erwachsenen (schwarze Kurven) und Kindern (grüne Kurven) bei NAL-NL2 bei gleicher, schwach abfallender Hörminderung. Abgebildet sind die Zielkurven für Sprache für die Eingangspegel von 50 dB (SPL) (gepunktete Kurven), 65 dB (SPL) (durchgezogene Kurven) und 80 dB (SPL) (gestrichelte Kurven) [10].

Geschlechtsspezifische Untersuchungen haben ergeben, dass Männer im Durchschnitt 2 dB mehr Verstärkung bevorzugen als Frauen mit gleichem Grad an Hörminderung, unabhängig vom Schweregrad der Hörminderung (siehe Abb. 2.2). In Folge dieser Erkenntnisse wurden für die Vorberechnungsformel NAL-NL2 die Verstärkungswerte für Männer um 1 dB erhöht und für Frauen um 1 dB verringert [17].

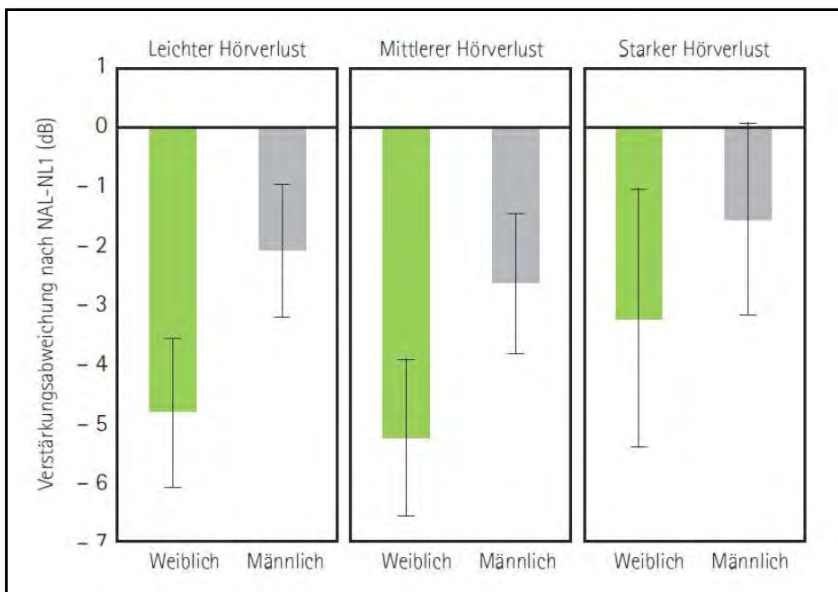


Abb. 2.2: Mittlere Abweichung der Verstärkung zwischen Männern und Frauen mit leichter (N=47), mittlerer (N=93) und hochgradiger (N=47) Hörminderung, gewonnen nach NAL-NL1. Die Balken zeigen das 95%-Konfidenzintervall [10].

Untersuchungen, welche auf den Einfluss der Erfahrung auf die bevorzugte Verstärkung abzielten, haben gezeigt, dass erfahrene Hörsystemträger mehr Verstärkung bevorzugen als Erstanwender. Hierbei hat sich herausgestellt, dass der Unterschied mit dem Grad der Hörminderung zunimmt, von 0 dB bei leichten Hörminderungen bis zu ca. 10 dB bei starken Hörminderungen [18] (siehe Abb. 2.3).

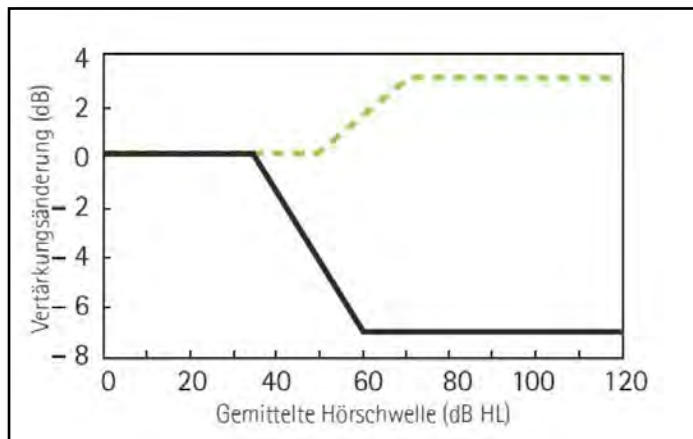


Abb. 2.3: Verstärkungsänderungen (relativ zu NAL-NL1) in Abhängigkeit zur Hörminderung (gemittelt bei 4 Frequenzen) bei erfahrenen Hörsystemträgern (gestrichelte Linie) gegenüber unerfahrenen Hörsystemträgern (durchgezogene Linie). Bei milden Hörminderungen zeigen sich keine Differenzen, ab ca. 70 dB (HL) bis zu 10 dB Differenz [10].

Bezüglich des bilateralen Hörens ist bekannt, dass die Lautheit mit zwei Ohren größer ist als mit nur einem Ohr. Aufgrund dessen bietet die Vorberechnungsformel NAL-NL2 bei einer unilateralen Hörsystemversorgung etwas mehr Verstärkung an als bei einer bilateralen Versorgung. Hierbei gilt, dass der Verstärkungsunterschied bei symmetrischen Hörminderungen stufenweise um 2 dB für Eingangspegel unterhalb 50 dB (SPL) bis hin zu 6 dB für Eingangspegel von über 90 dB (SPL) zunimmt. Bei zunehmend asymmetrischer Hörminderung wird diese Korrektur bei einer bilateralen Hörsystemversorgung stufenweise reduziert. Daraus folgt, dass bilateral versorgte Hörsystemträger mit höheren Kompressionsverhältnissen versorgt werden als unilateral versorgte [10] (siehe Abb. 2.4).

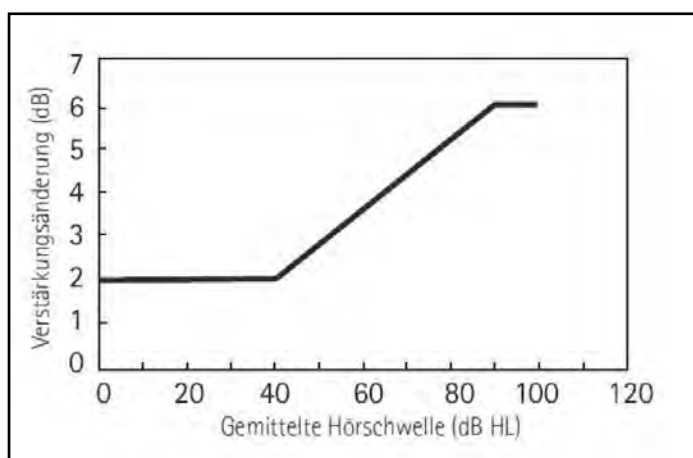


Abb. 2.4: Verstärkungsunterschied zwischen uni- und bilateraler Hörsystemversorgung (NAL-NL2) [10].

Bezüglich der vorliegenden Sprache, ob tonal oder nicht tonal, bietet NAL-NL2 Verstärkungsunterschiede an. Bei tonaler Sprache spielen Vokale eine wichtigere Rolle als bei

nicht tonaler Sprache, daher wird bei tonaler Sprache mehr Verstärkung bei den tiefen Frequenzen und weniger Verstärkung bei hohen Frequenzen berechnet [17].

Die Vorberechnungsformel NAL-NL2 beruht somit auf einem theoretischen und empirischen Teil.

2.1.3 DSL [i/o] und DSL v5.0

Die Vorberechnungsformel DSL [i/o] ist für die Anpassung nichtlinearer Hörsysteme entwickelt worden.

Das Ziel von DSL [i/o] ist es, den Dynamikbereich eines Normalhörenden im Restdynamikbereich eines Hörgeminderten abzubilden [8].

Dabei unterscheidet sich DSL [i/o] von der ursprünglichen Vorberechnungsformel DSL, welche für lineare Hörsystemanpassungen bei Kindern entwickelt wurde. Die Zielverstärkung für Sprache wurde bei der originalen Vorberechnungsformel DSL anhand von Tabellen, unter Berücksichtigung der gewünschten Empfindungslautstärke (engl.: Desired Sensation Level, DSL), berechnet und basierte somit auf dem subjektiven Lautheitsempfinden [30].

Die Berechnung der Zielverstärkung bei DSL [i/o] erfolgt unter Einberechnung der gemessenen Hörschwelle (engl.: hearing level, HL) sowie der Unbehaglichkeitsschwelle (engl.: uncomfortable listening level, UCL) im Frequenzbereich von 125 Hz bis 8 kHz und einem Eingangsspegelbereich von 50 dB (SPL) bis 90 dB (SPL). Der Zusatz „[i/o]“ bedeutet, dass die DSL [i/o] Vorberechnungsformel das Verhältnis zwischen dem im Freifeld gemessenen Eingangsschalldruckpegel (engl.: input, „i“) und dem im Gehörgang herrschenden Ausgangsschalldruckpegel (engl.: output, „o“) beschreibt [30].

Ein wesentlicher Gedanke von DSL [i/o] ist es, den Schalldruckpegel am Trommelfell als Referenzpunkt zu wählen, da dieser eine gute Vergleichbarkeit bietet. Durch Messung der RECD (engl.: real-ear-to-coupler difference, RECD) kann dieser gut auf den Pegel des 2-cm³-Kupplers transformiert werden und eignet sich somit besonders gut für die Hörsystemanpassung bei Kindern [30].

Laut den Entwicklern von DSL [i/o] ist die Vorberechnungsformel vorwiegend für WDRC-Hörsysteme (engl.: Wide Dynamic Range Compression, WDRC) entwickelt worden. Dennoch ist DSL [i/o] auch für lineare Verstärkung, lineare Kompression und curvilineare Kompression anwendbar [8].

Gemäß einer Studie liefert die Vorberechnung mit DSL [i/o] bei Erwachsenen höhere Verstärkungen als erwünscht. Im Gegensatz hierzu zeigten empirische Studien bei Kindern sehr gute Ergebnisse. Beim Vergleich zwischen Erwachsenen und Kindern wurden zum Teil Pegeldifferenzen von 8 dB festgestellt [29].

Diese Erkenntnisse führten zu einer weiteren Überarbeitung von DSL [i/o], der aktuellen Version DSL multi-stage [i/o] bzw. DSL v5.0. Die aktuelle Vorberechnungsformel DSL v5.0

berechnet die Zielverstärkung und die Kompression im Gegensatz zu DSL [i/o] nicht mehr für jede einzelne Frequenz, sondern in Terzbändern. Zudem gibt es zwei Varianten von DSL v5.0, für Erwachsene „DSL v5.0 adult“ sowie für Kinder „DSL v5.0 child“. Die Vorberechnungsformel für Erwachsene „DSL v5.0 adult“, berechnet über alle Frequenzen eine niedrigere Zielverstärkung als „DSL v5.0 child“ für Kinder.

In die Vorberechnung der Zielverstärkung fließen zudem akustische Parameter, wie die Größe der Belüftungs- bzw. Zusatzbohrung, Hinter-dem-Ohr-Hörsystem (HdO) oder In-dem-Ohr-Hörsystem (IdO), Ex-Hörer-Hörsystem (engl.: receiver-in-the-canal, RIC), uni- oder bilaterale Versorgung sowie die zur Ermittlung der Hörschwelle verwendete Wandlerart (Kopfhörer, Einsteckhörer usw.), mit ein.

Schallleitungsbedingte Hörminderungen werden zudem mit Korrekturfaktoren, welche zu einer höheren und lineareren Zielverstärkung führen, berücksichtigt. Die Berechnung des Kompressionsverhältnisses erfolgt immer in Abhängigkeit zur Hörminderung, die Kompressionskniepunkte werden frequenzspezifisch bestimmt. DSL v5.0 berücksichtigt bei der Berechnung der Zielverstärkung und der Kompressionskniepunkte zudem die akustische Umgebung bezüglich „Ruhe“ oder „Störgeräusch“. Insgesamt findet im Vergleich zu DSL [i/o] eine stärkere Begrenzung des Ausgangspegels statt [29].

2.1.4 Adaptive Phonak Digital (APD)

Die Vorberechnungsformel Adaptive Phonak Digital (APD) hat das Ziel, die Lautheitsfunktion des Hörgeminderten auf der des Normalhörenden abzubilden. Sie basiert auf Lautheitsskalierungen von insgesamt 290 hörgeminderten und normalhörenden Testpersonen und umfasst insgesamt 16.889 Lautheitsbewertungen [22].

Anhand der Ergebnisse der Lautheitsskalierungen konnten die individuellen Lautheitsurteile als lineare Funktion des dargebotenen Pegels beschrieben werden. Exponential- und Potenzfunktionen zum Beschreiben eines nichtlinearen Zusammenhangs erwiesen sich als nicht signifikant, genauso zeigte die Frequenz keinen signifikanten Einfluss auf die Lautheitsfunktion, sodass die mittlere Lautheitsfunktion des Hörgeminderten direkt aus der Hörminderung geschätzt werden kann [22].

Die berechnete Zielverstärkung gleicht dabei die Verschiebung der Lautheitsfunktion zu höheren Pegeln mit steigender Hörminderung aus und berechnet die Kompression entsprechend dem steileren Lautheitsanstieg (engl.: recruitment) [22].

Der APD stehen interne Berechnungen zu den Hörminderungstypen leichtgradig, mittelgradig, hochgradig bis an Taubheit grenzend, Hochtonsteilabfall und Tiefton-Hörminderung zur Verfügung [13].

Für die genannten Hörminderungstypen haben sich unterschiedliche Korrekturen zum reinen Lautheitsausgleich für schmalbandige Signale als nützlich erwiesen, aus welchen fünf Basis-Anpassregeln abgeleitet wurden [22]. Bei der Berechnung der Zielverstärkung wird

aus dem Audiogramm ein Gewicht für jeden der fünf Hörminderungstypen berechnet. Im Verhältnis der Gewichte werden intern die fünf Berechnungen anteilig gemischt [13].

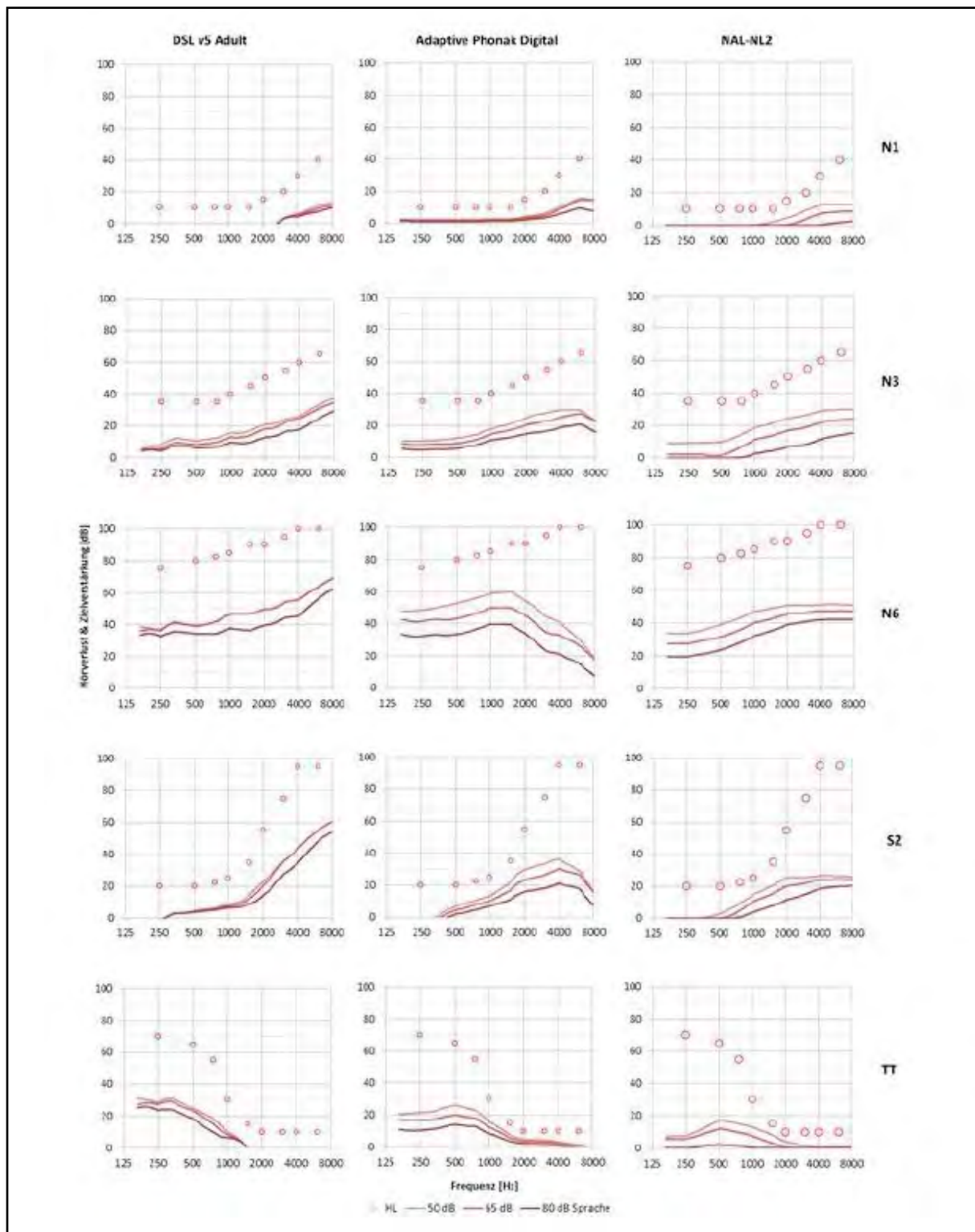


Abb. 2.5: Abgebildet sind die Zielverstärkungskurven (IG) der Anpassformeln DSL v5.0 adult, APD und NAL-NL2 für Sprache mit einem Eingangspiegel von 50 dB, 65 dB und 80 dB [4]. Die durch die Kreise dargestellten Hörminderungen sind Standardaudiogramme (N1 = leichtgradig; N3 = mittelgradig; N6 = hochgradig; S2 = Hochtonsteilabfall und TT = Tiefertonverlust) gemäß IEC 60118-15 [4].

Abb. 2.5 zeigt die Zielverstärkung (insertion gain, IG) für typische Vertreter der Hörmindertypen [4] gemäß DSL v5.0 adult, APD und NAL-NL2 für einen Spracheingangspegel von 50 dB, 65 dB und 80 dB.

Für Hörminderungen des Typs N1 ergibt sich für hochtonige Sprache und einen Eingangspegel von 50 dB und 65 dB eine höhere Verstärkung als mit DSL v5.0 adult (siehe Abb. 2.5) [22].

Im Vergleich zu DSL v5.0 adult wird bei einer Hörminderung des Typs N3 der mittlere Frequenzbereich von ca. 1 kHz bis ca. 4 kHz für alle Eingangspegel der Sprache etwas mehr verstärkt und der hohe Frequenzbereich oberhalb von ca. 6 kHz deutlich weniger verstärkt (siehe Abb. 2.5) [22].

Eine kontinuierliche Reduktion der Zielverstärkung für Frequenzen oberhalb von ca. 2,5 kHz im Vergleich zu DSL v5.0 adult erfolgt bei einer Hörminderung des Typs N6. Es wird angenommen, dass dieser Bereich keinen bzw. kaum einen Beitrag zur Sprachdiskrimination leistet. Beim Typ N6 erfolgt bei einem Eingangspegel von 50 dB und 65 dB eine etwas höhere Verstärkung des tiefen und mittleren Frequenzbereiches (siehe Abb. 2.5) [22].

Beim Typ S2, dem Hochtonsteilabfall, erfolgt im Vergleich zu DSL v5.0 adult eine etwas höhere Verstärkung im Bereich des Abfalls und eine kontinuierlich geringere Verstärkung unterhalb des Abfalls (siehe Abb. 2.5) [22].

Für Hörminderungen des Typs TT erfolgt wie beim Typ S2 die Berechnung von etwas mehr Zielverstärkung im Bereich des Abfalls, unterhalb dessen und unterhalb von ca. 500 Hz wird die Zielverstärkung dagegen im Vergleich zu DSL v5.0 adult kontinuierlich reduziert [22].

Die akustischen Parameter, wie z. B. Standardschlauch, Slim Tube, Durchmesser der Zusatz- bzw. Belüftungsbohrung, RECD und REUG (engl.: real ear unaided gain, REUG), haben direkten Einfluss auf die Vorberechnung. Ebenso wird bei der Vorberechnung die Trägererfahrung berücksichtigt, welche für Erstanwender (70 %) bis zum Langzeitanwender (110 %) in 10%-Schritten angegeben werden kann [22]. Die Berechnung die Schrittweite orientiert sich hierbei in etwa an der „Hörverlust-halbe-Regel“ (HV/2-Regel), welche besagt, dass die halbierte Hörminderung der benötigten Verstärkung entspricht [23]. Beträgt die Hörminderung bei einer bestimmten Frequenz z. B. 40 dB (HL), besagt die HV/2-Regel, dass für diese Frequenz eine Verstärkung von 20 dB erforderlich ist. Die in der APD in 10%-Schritten festzulegende Zielverstärkung entspricht somit einer Schrittweite von 2 dB.

2.2 Hörsystemversorgung: offen vs. geschlossen

Wie einleitend erwähnt, wird im Rahmen der Hörsystemversorgung zwischen der „offenen“ und „geschlossenen“ Versorgung unterschieden. Gemeint ist hiermit das Maß, mit welchem der Gehörgang durch die akustische Ankopplung des Hörsystems an das Außenohr verschlossen wird bzw. geöffnet bleibt.

Als „offene Versorgung“ bezeichnet man die Hörsystemversorgung, bei welcher der Eingang des Gehörgangs im „Gesamtquerschnitt möglichst offen gelassen wird. Die natürlichen akustischen Eigenschaften des Außenohres bleiben dadurch nahezu erhalten. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Durchmesser der Gehörgänge ist eine Definition der offenen Versorgung anhand von einer Zahl nicht möglich. Der Übergang von einer geschlossenen zu einer offenen Versorgung ist daher gleitend“ [2]. Eine offene Versorgung kann sowohl bei In-dem-Ohr-Hörsystemen (IdOs) (Abb. 2.6) als auch bei Hinter-dem-Ohr-Hörsystemen (HdOs) (Abb. 2.7) erfolgen. Bei HdO-Hörsystemen ist die offene Versorgung jedoch leichter und somit öfter zu realisieren, da bei diesen die Technik hinter dem Ohr platziert wird, während bei IdO-Hörsystemen die gesamte Technik im Gehörgang platziert werden muss.



Abb. 2.6: Beispiel eines IdO-Hörsystems der Firma Phonak.



Abb. 2.7: Beispiel eines HdO-Hörsystems der Firma Phonak.

Im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit bezieht sich die Begrifflichkeit der offenen Versorgung auf die Versorgung mit HdO-Hörsystemen der Firma Phonak.

Die offene Versorgung mit Hörsystemen bietet gegenüber der geschlossenen Versorgung einige Vor-, aber auch Nachteile.

Im Folgenden sollen einige Vorteile stichpunktartig aufgeführt werden [20]:

- natürliche Funktionen, wie z. B. Außenohrresonanzen, bleiben erhalten, was besonders dem Richtungshören über die interauralen Laufzeit- und Pegeldifferenzen zu Gute kommt
- die Haut des Gehörgangs wird weiterhin mit Frischluft versorgt, Schweiß und Feuchtigkeit können abtrocknen; dies reduziert die Gefahr bakterieller Infektionen und Pilze
- kein Entstehen des Okklusionseffektes (Verschlusseffekt), da die eigene Stimme und andere Körperschalle, wie z. B. Trittschall, den Gehörgang wie gewohnt verlassen können
- natürlicheres Hören, da unverstärkter Direktschall weiterhin ans Ohr gelangen kann

Nachteile der offenen Versorgung mit Hörsystemen sind z. B. [20]:

- Leistungsverlust, da verstärkter Schall den Gehörgang zum Teil wieder verlassen kann
- nur geeignet für milde bis moderate Hörminderungen, da eine zu hohe Verstärkung zu akustischen Rückkopplungen führt und eine Verstärkung im Hochtonbereich nur begrenzt möglich ist
- der Direktschall, der meistens seinen spektralen Schwerpunkt bei den tiefen Frequenzen hat, maskiert das verstärkte Signal vom Hörsystem (Aufwärtsmaskierung); dadurch verlieren Hörsystem-Features, wie z. B. die Störgeräuschunterdrückung, an Wirkung

Schlussendlich überwiegen die Vorteile einer offenen Versorgung die Nachteile, weshalb zu beachten ist, dass eine Hörsystemversorgung stets so offen wie möglich und lediglich so geschlossen wie nötig gestaltet werden sollte. Ob eine offene Versorgung möglich ist, hängt jedoch auch maßgeblich vom Grad der Hörminderung ab. Hierbei gilt: Umso hochgradiger die Hörminderung, umso geschlossener muss die Hörsystemversorgung erfolgen, um z. B. akustische Rückkopplungen und Leistungsverluste zu vermeiden.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde mit HdO-Hörsystemen gearbeitet. Die akustische Ankopplung an das Ohr der Testpersonen sowie die Weiterleitung des verstärkten Schallsignals vom Hörsystem zum Trommelfell erfolgt über einen Mini-Schlauch (engl.: slim tube) (Abb. 2.8), welcher durch einen kleinen offenen Fixierschirm (engl.: dome) (Abb. 2.8) im Gehörgang fixiert ist. Die Auswahl der Länge des Slim Tubes sowie die Größe des Domes erfolgt nach den spezifischen anatomischen Gegebenheiten der Testpersonen (siehe Kapitel 3.5.1).

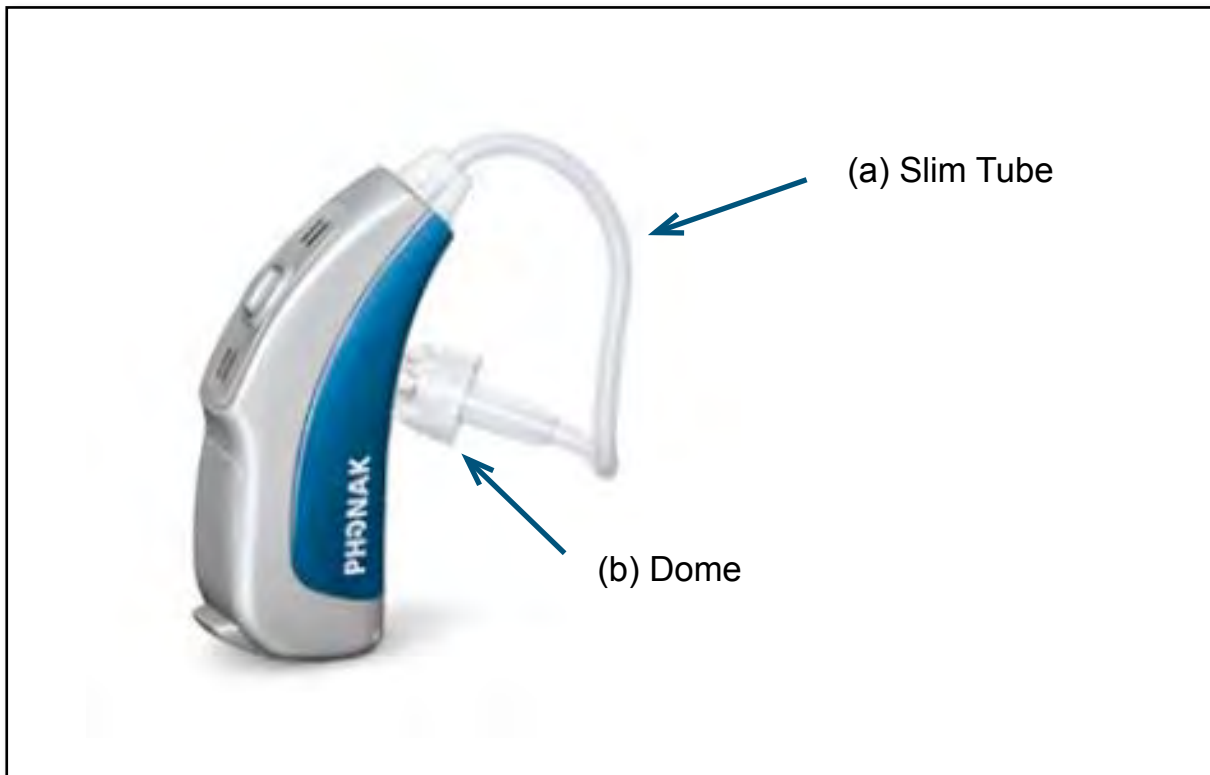


Abb. 2.8: HdO-Hörsystem mit (a) Slim Tube und (b) Dome

2.3 Sprachverstehen, Lautstärkeempfinden und Klangqualität

In diesem Kapitel wird eine Übersicht über die Frequenzbereiche gegeben, welche für das Sprachverstehen, das Lautstärkeempfinden sowie für die Klangqualität von wichtiger Bedeutung sind. Dieses Wissen bildet die Grundlage für die wissenschaftliche Untersuchung im Rahmen dieser Bachelorarbeit.

Abb. 2.9 zeigt, dass die Grundtöne der Sprache im Bereich von ca. 100 Hz bis 250 Hz liegen. Die Lage der Grundfrequenz von männlichen (ca. 100 Hz bis 150 Hz) und weiblichen (ca. 200 Hz bis 250 Hz) Sprechern unterscheidet sich hierbei [35]. Die hier ansässigen Vokale haben einen sehr hohen Energie- und vergleichsweise wenig Informationsgehalt. Die Konsonanten und Obertöne der Vokale sind im mittleren Frequenzbereich von ca. 300 Hz bis 4000 Hz angesiedelt, dienen hauptsächlich der Sprachverständlichkeit und haben daher einen hohen Informationsgehalt. Die für das Sprachverstehen wichtigsten Konsonanten liegen dabei im Bereich des 3. und 4. Formanten zwischen ca. 2000 Hz bis 4000 Hz. Die hohen Konsonanten befinden sich im Frequenzbereich oberhalb von ca. 4000 Hz [23].

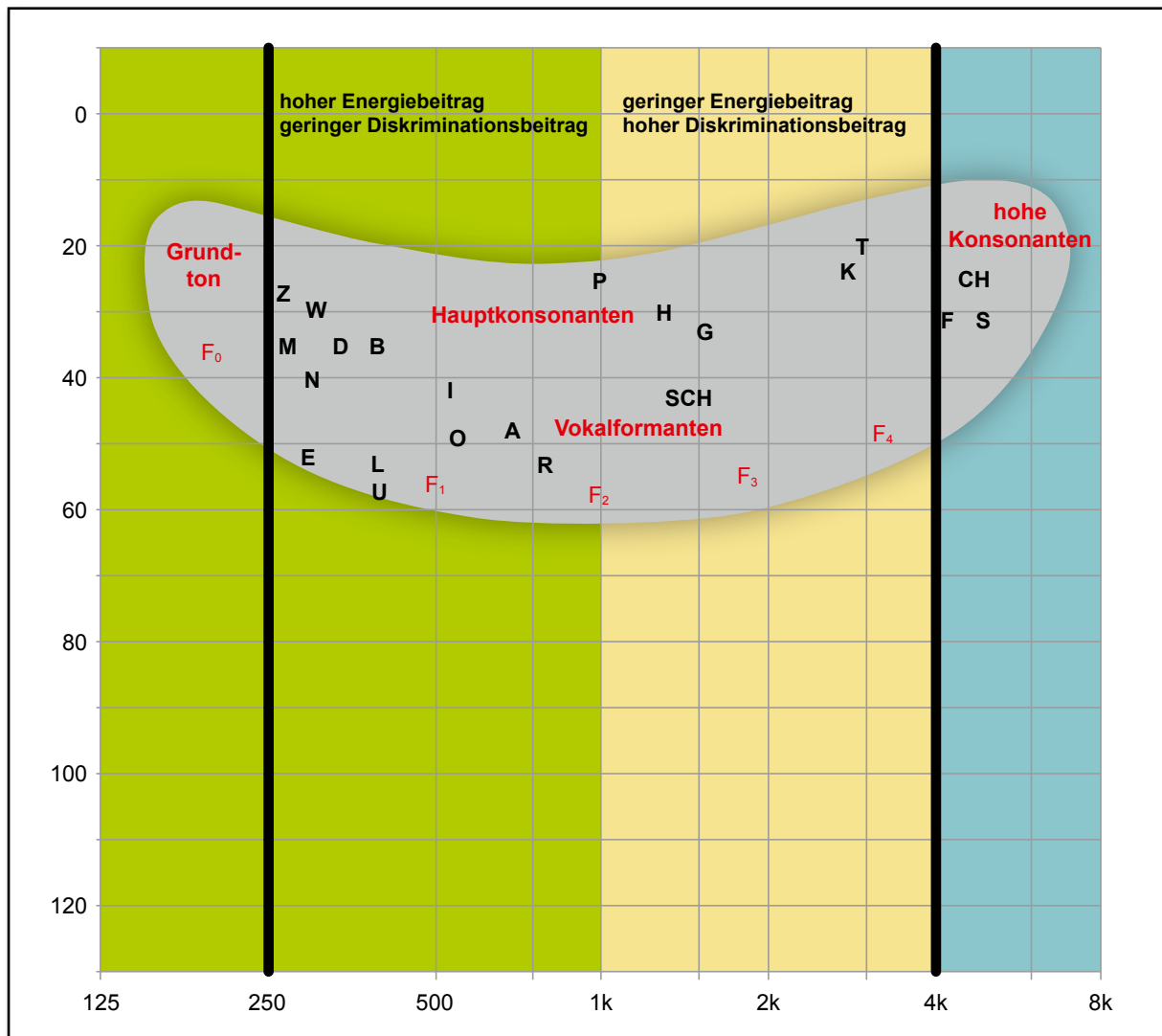


Abb. 2.9: Sprachfeld in dB (HL) mit Schwerpunkten der Energie- und Diskriminationsbeiträge [35]. Die y-Achse zeigt den Lautstärkepegel in dB (HL), auf der x-Achse ist die Frequenz in Hz aufgetragen.

Studien haben gezeigt, dass der Frequenzbereich oberhalb von 4000 Hz ebenfalls einen hohen Beitrag zur Sprachdiskrimination liefert [27]. Zuvor wurde angenommen, dass dieser Frequenzbereich vorwiegend zur Klangqualität beiträgt.

2.4 Der Artikulationsindex (AI)

Wie im vorangegangenen Kapitel 2.3 beschrieben, ist der Beitrag zur Sprachdiskrimination frequenzabhängig. Der Artikulationsindex (AI) (Tab. 2.1) beschreibt hierfür den frequenzgruppenspezifischen relativen Beitrag zur Sprachdiskrimination [26].

Tab. 2.1 zeigt die Gewichtungsfunktion für die Berechnung des AI für die Frequenzen 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz und 4000 Hz:

Frequenz	Anteil an Sprachdiskrimination
500 Hz	20%
1000 Hz	23%
2000 Hz	33%
4000 Hz	24%

Tab. 2.1: Gewichtungsfunktion zur Berechnung des Artikulationsindex [24].

2.5 Sprachtests im deutschsprachigen Raum

2.5.1 Übersicht

Für die Ermittlung der Sprachverständlichkeit gibt es im deutschsprachigen Raum verschiedene Sprachtests. Bei der Sprachaudiometrie ist ein aktives Mitwirken der Testperson erforderlich.

Folgende am weitesten verbreitete Sprachtests stehen für den deutschen Sprachraum zur Verfügung:

- Freiburger Sprachverständlichkeitstest (DIN 45621)
- Marburger Satztest
- Göttinger Satztest
- HSM-Satztest
- Oldenburger Satztest
- Baseler Satztest
- Reimtest nach Sotcheck
- Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier
- Sprachtest nach Feldmann
- Aalener Satztest
- Mainzer Kindersprachtest
- Göttinger Kindersprachtest
- Oldenburger Kinderreimtest

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sind für die Ermittlung der Sprachverständlichkeit in Ruhe der „Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier“ (WAKO) sowie für die Ermittlung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch der „Oldenburger Satztest“ (OLSA) zum Einsatz gekommen. Auf diese wird in den nächsten Kapiteln 3.5.2 sowie 3.5.3 detailliert eingegangen.

2.5.2 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)

Der Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (1989) (WAKO) ist ein audiometrischer Test zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit in Prozent und kann in Ruhe oder im Störgeräusch durchgeführt werden. Der WAKO ist eine Modifikation des Reimtests nach Sot-scheck [32]. Beim WAKO handelt es sich um einen geschlossenen Test mit fünf Antwortalternativen sowie einem Ankündigungssatz. Die Signaldarbietung der Sprache erfolgt aus einem Lautsprecher aus 0° aus Sicht der Testperson. Der Testperson werden nach dem Ankündigungssatz („Bitte markieren Sie das Wort“) und der darauf folgenden akustischen Darbietung des einsilbigen Wortes der Form „Konsonant – Vokal – Konsonant“ (z. B. „Schiff“), fünf Antwortalternativen visuell auf einem Touchscreen-Display angezeigt (z. B. Schaf – schief – schuf – schaff – Schiff). Die Antwortalternativen unterscheiden sich lediglich im initialen Anlaut, dem medialen Vokal oder dem finalen Konsonanten. Die Aufgabe des Probanden ist es, aus diesen fünf Antwortalternativen das akustisch dargebotene Wort zu erkennen und auf dem Touchscreen-Display zu markieren. Der Test verfügt über insgesamt 10 Testlisten mit einer Länge von 72, 47 und 25 Wörtern, welche in jedem Testteil phonematisch ausgeglichen sind und keine signifikanten Unterschiede in ihrer Verständlichkeit aufweisen [19]. Bei einer Länge von 25 Wörtern bietet sich der WAKO als eine Alternative zum Freiburger Wörtertest an, da er ungefähr dem gleichen Zeitaufwand entspricht und sowohl für Normalhörende, Hörgeminderte als auch für Träger von Cochlea-Implantaten geeignet ist. Das Störgeräusch des WAKO ist ein kontinuierliches Rauschen und entspricht genau dem Langzeitspektrum des verwendeten Sprachmaterials [37].

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wird der WAKO für die Ermittlung der Sprachverständlichkeit in Ruhe angewandt. Es werden Testlisten mit einer Länge von 25 Wörtern verwendet.

2.5.3 Oldenburger Satztest (OLSA)

Entwickelt von Wagener et al. 1999a in Anlehnung an den schwedischen Satztest von Hagerman (1982), ist der Oldenburger Satztest (OLSA) ein adaptiver audiometrischer Test, welcher der Ermittlung der Sprachdiskrimination in Ruhe und im Störgeräusch dient [38]. Gemessen wird der SRT (engl.: speech reception threshold, SRT), welcher der Schwelle entspricht, bei der die Testperson genau 50 % der Sprache richtig verstanden hat.

Beim Oldenburger Satztest stehen Testlisten mit 10, 20 und 30 Testsätzen zur Verfügung. Die Messgenauigkeit steigt mit der Anzahl verwendeter Testsätze. Die Sätze haben die Form „Name – Verb – Zahlwort – Adjektiv – Objekt“, z. B. „Kerstin sieht neun kleine Tassen“. Das Störgeräusch des OLSA ist ein sprachsimulierendes Rauschen (sog. OLSA-Rauschen). Das OLSA-Rauschen wurde aus dem verwendeten Sprachmaterial erstellt, indem die einzelnen Wörter mehrfach zufällig überlagert wurden. Dadurch entspricht es in seinem Spektrum genau dem des verwendeten Sprachmaterials. Durch die hierdurch gewonnene optimale Verdeckung hat der OLSA bei Verwendung von 30 Testsätzen eine steile Diskriminationsfunktion von 17,1 % / dB bei Normalhörenden, was wiederum eine hohe

Messgenauigkeit zur Folge hat. Auch die Optimierung des OLSA bezüglich der Äquivalenz aller Testlisten in ihrer Verständlichkeit trägt zur steilen Diskriminationsfunktion bei [38].

Die Bestimmung des SRT erfolgt anhand einer adaptiven Steuerung. Hierbei wird das OLSA-Rauschen mit einem konstanten Pegel dargeboten, während der Pegel der Sprache nach jeder Darbietung adaptiv verändert wird.

Im Folgenden wird eine kurze Übersicht über die Zusammenstellung des OLSA gegeben:

- männlicher Sprecher (Dr. Sotscheck, Sprache: deutsch)
- Basisliste von jeweils 5 Wörtern (Phonemverteilung entspricht mittlerer Phonemverteilung deutscher Sprache)
- mittlere Sprechgeschwindigkeit (daher auch geeignet für stark schwerhörnde Probanden und Träger von Cochlea Implantaten [kurz: CI-Träger])
- zufällige Kombination der Sätze aus insgesamt 50 Wörtern, Bsp.: „Kerstin sieht neun kleine Tassen“
- Form der Sätze: Name – Verb – Zahlwort – Adjektiv – Objekt
- 40 Testlisten von jeweils 10, 20 und 30 Sätzen

Die Pegeländerung der Sprache orientiert sich hierbei an der Anzahl der pro Darbietung richtig nachgesprochener Wörter der Testperson. Da der OLSA-Test einen Lerneffekt aufweist, müssen vor der Testdurchführung zwei Übungslisten von jeweils 20 Sätzen durchgeführt werden. Im Rahmen dieser Bachelorarbeit kommt der AFM-OLSA (Audiology and Fitting Methods – OLSA) zum Einsatz. Hierbei handelt es sich um eine von der Firma Phonak modifizierte Variante des OLSA in Bezug auf das verwendete Störgeräusch.

Beim verwendeten Störgeräusch des AFM-OLSA handelt es sich um das sogenannte „OLSA Cafeteria Noise“, welches von Dr. Peter Derleth entwickelt wurde. Das originale OLSA-Rauschen wurde hierbei spektral analysiert und anschließend mit einem zeitlich dynamischen Störgeräusch aus einer Cafeteria-Situation überlagert und so dynamisch komprimiert, dass es kaum Fluktuationen aufweist. Laut Dr. Peter Derleth klingt das „OLSA Cafeteria Noise“ für die Testpersonen angenehmer und natürlicher und führt zu keiner Vergrößerung der Varianz im Vergleich zum Messverfahren mit dem OLSA-Rauschen.

Im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit wird auf die Begrifflichkeit des AFM-OLSA verzichtet und die Bezeichnung OLSA verwendet. Zu beachten ist jedoch, dass anstelle des OLSA-Rauschens das „OLSA Cafeteria Noise“ als Störgeräusch zum Einsatz kommt.

2.6 Klinische Studien und Ethikantrag

2.6.1 Klinische Studien

Diese Bachelorarbeit beruht auf den Messergebnissen einer klinischen Studie. Im Vorfeld einer klinischen Studie muss in der Schweiz bei der zuständigen Ethikkommission des jeweiligen Kantons (hier: Zürich) ein Ethikantrag eingereicht werden. Erst die Genehmigung dieses Ethikantrags erlaubt die Durchführung einer klinischen Studie.

Im Folgenden wird auf den Grund für klinische Studien bei Medizinprodukten sowie Inhalt und Zweck des Ethikantrags eingegangen:

Laut Medizinprodukterecht (MPR) zählen Hörgeräte zu Medizinprodukten der Risikoklasse IIa. Es handelt sich hierbei um nicht invasive Produkte, welche zur Kompensation von Krankheiten, Verletzungen oder Behinderungen dienen.

Seit dem 21. März 2010 legt die Fassung 2007/47/EG die grundlegenden Anforderungen an die Sicherheit, das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Medizinprodukten innerhalb der EU fest. Diese Fassung besagt, dass für alle Medizinprodukte der Klasse IIa eine klinische Prüfung erforderlich ist, ehe diese auf den europäischen Markt gebracht werden dürfen [36].

Die Absicht klinischer Studien besteht darin, wissenschaftliche Fragestellungen zu beantworten, um die medizinische Behandlung zu verbessern. Das erste Ziel einer klinischen Studie besteht darin, die Wirksamkeit und Verträglichkeit neuer Therapien zu testen [28]. Im 2. Abschnitt, Art. 54 (Heilmittelgesetz, HMG), wird festgelegt, welche Voraussetzungen vor der Durchführung einer klinischen Studie erfüllt sein müssen, um die teilnehmenden Versuchspersonen zu schützen. Außerdem legt der Abschnitt fest, dass eine Genehmigung der zuständigen Ethikkommission vorzuliegen hat [1].

In der Schweiz regelt das Bundesgesetz für Arzneimittel und Medizinprodukte (Heilmittelgesetz, HMG) den Umgang mit Heilmitteln, worunter neben Arzneimitteln auch Medizinprodukte fallen. In §§ 1 und 2 Art. 52, 2. Abschnitt, Kapitel 4, ist festgelegt, dass die Schweiz in Bezug auf klinische Versuche international anerkannte Richtlinien und Normen zu berücksichtigen hat. Zudem wird festgelegt, dass alle klinischen Versuche am Menschen nach den anerkannten Regeln der „Guten Praxis der klinischen Versuche“ (Guideline for Good Clinical Practice) durchzuführen sind [1].

Dabei handelt es sich um eine international anerkannte Richtlinie, in der Standards zur Planung, Sicherheit und Dokumentation klinischer Studien beschrieben werden.

Die Kosten klinischer Studien tragen in vollem Umfang die an den Ergebnissen interessierten Sponsoren (hier: Phonak AG, Stäfa).

2.6.2 Der Ethikantrag

Ziel und Aufgabe der Ethikkommission ist es, anhand der eingereichten Unterlagen die ethische Konformität sowie die Einhaltung der gesetzlichen Bestimmungen der klinischen Studie zu prüfen.

In einem sogenannten „Studienprotokoll“ muss der Antragsteller die geplante Studie ausführlich beschreiben. Inhalt dieser Beschreibung sind u. a. die zum Einsatz kommenden Medizinprodukte, vorbereitende Untersuchungen, Zielsetzungen und Zweck der Studie, Studiendesign, Auswahlkriterien der Versuchspersonen, Bewertung der Wirksamkeit und Sicherheit, zur Anwendung kommende Statistik, studienspezifische Vorsichtsmaßnahmen und Pflichten, ethische Überlegungen, Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung sowie zum Einsatz kommende Fragebögen.

Der Auftraggeber der Studie (hier: Phonak AG, Stäfa) ist zudem verpflichtet, die Versuchspersonen gegen etwaige Schädigungen im Rahmen der Studie zu versichern und diese Versicherung der Ethikkommission im Rahmen des Ethikantrags nachzuweisen.

Erst mit Genehmigung des Ethikantrags durch die Ethikkommission darf mit der klinischen Studie begonnen werden.

3. Studienablauf

3.1 Hintergrund, Fragestellung, Ziel und Hypothesen

3.1.1 Hintergrund

Bei der offenen Hörsystemversorgung milder bis moderater Hörminderungen wird auf eine Verstärkung der tiefen Frequenzanteile nahezu verzichtet. Dieser Verzicht kann dazu führen, dass wichtige, für das Sprachverstehen relevante Signalanteile mit nicht ausreichender Lautstärke am Trommelfell des Hörsystemträgers ankommen und somit Sprache, besonders in geräuschvoller Umgebung, schlechter verstanden wird. Ein weiterer Effekt der fehlenden Tieftonverstärkung kann ein unnatürlich schrilles Klangempfinden des Hörsystems für den Träger sein, da lediglich eine Verstärkung der hohen Frequenzanteile erfolgt [5].

3.1.2 Fragestellung

Diese Bachelorarbeit untersucht den Nutzen zusätzlicher Tieftonverstärkung bei offen versorgten milden bis moderaten Hörminderungen. Anhand von objektiven und subjektiven Messungen soll der Nutzen zusätzlicher Tieftonverstärkung beim Sprachverstehen in ruhiger sowie geräuschvoller Umgebung untersucht werden. Zusätzlich soll durch die Verstärkung der tiefen Frequenzanteile eine ausgewogenere Klangqualität bei gleichzeitig angenehmem Lautheitsempfinden für den Hörsystemträger erreicht werden.

In dieser Studie kommen Prototypen einer neuen Generation von HdO-Hörsystemen, basierend auf der neuen Chipplattform der Firma Phonak, zum Einsatz (siehe Kapitel 3.5.1). Die akustische Ankopplung erfolgt über einen Slim Tube und einen Dome mit jeweils kundenspezifischer Länge und Größe. Die objektiven Messungen umfassen einen Sprachtest in Ruhe (WAKO), einen Sprachtest im Störgeräusch (OLSA) sowie In-situ-Messungen vor dem Trommelfell der Testpersonen. Die subjektive Messung des zusätzlichen Nutzens erfolgt anhand eines Sound-Parcours, bei welchem mittels eines Paarvergleichs ein Fragebogen von den Testpersonen ausgefüllt wird.

Um möglichst definierte Messergebnisse zu erhalten, erfolgen alle Messungen unter Laborbedingungen in einem akustischen Labor der Firma Phonak. Eine Ausnahme bildet die Beurteilung der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ im Rahmen des Sound-Parcours (siehe Kapitel 3.6.5).

3.1.3 Ziel

Ziel dieser Studie ist es, zu untersuchen, ob offen versorgte Hörsystemträger mit milden bis moderaten Hörminderungen durch eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich von einem besseren Sprachverstehen in ruhiger und geräuschvoller Umgebung bei gleichzeitiger Klangusgewogenheit und angenehmer Lautheit profitieren können.

3.1.4 Hypothesen

Folgende Hypothesen werden aufgestellt:

Hypothese A:

Eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich („Bass Boost“) führt zu keiner Verbesserung der Sprachdiskrimination in ruhiger Umgebung (WAKO).

Hypothese B:

Eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich („Bass Boost“) führt zu keiner Verbesserung der Sprachdiskrimination in geräuschvoller Umgebung (OLSA).

Hypothese C:

Eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich („Bass Boost“) führt zu keiner subjektiven Bevorzugung der Klangausgewogenheit durch die Testpersonen gegenüber der Einstellung ohne Tieftonverstärkung (Sound-Parcours).

Hypothese D:

Eine zusätzliche Verstärkung im Tieftonbereich („Bass Boost“) führt zu keinem angenehmeren Lautstärkeempfinden durch die Testpersonen gegenüber keiner zusätzlichen Tieftonverstärkung (Sound Parcours).

3.2 Studiendesign

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über den Aufbau und Inhalt der Sitzungen dieser Studie. Insgesamt nehmen 20 Testpersonen an der Studie teil (siehe Kapitel 3.3.2). Die Studie ist auf zwei Sitzungen mit einer Dauer von jeweils ca. 2 Stunden aufgeteilt.

Der wesentliche Inhalt der 1. Sitzung ist die Ermittlung der audiometrischen Daten, die Programmierung der Hörsysteme und der Hörprogramme 1 bis 4 (siehe Kapitel 3.5.2) sowie die anschließenden Sprach- und In-situ-Messungen.

In der 2. Sitzung werden die Sprachmessungen aus der 1. Sitzung wiederholt, anschließend erfolgt die Darbietung des Sound-Parcours und die gleichzeitige Bewertung der Hörprogramme anhand eines Fragebogens (siehe Kapitel 3.6.5).

Die Messreihenfolge der Sprachtests wird für die 1. Sitzung für jede Testperson randomisiert. Eine Hälfte der Testpersonen startet hierbei mit dem OLSA, die andere mit dem WAKO („Crossover-Design“). Das „Crossover-Design“ ist eine Methode, um eine kontrollierte und randomisierte klinische Studie aufzubauen. Es erlaubt jeder Testperson, ihre eigene Kontrollperson zu sein, da jede Testperson dieselbe „Therapie“ bekommt, lediglich in randomisierter Reihenfolge. Beim „Crossover-Design“ werden die Testpersonen in zwei Gruppen eingeteilt, in welchen bei der einen Hälfte zunächst der WAKO und bei der anderen Hälfte der OLSA gemessen wird. In der 2. Sitzung wird die Reihenfolge getauscht.

Jede Testperson beginnt dann mit dem Sprachtest, welcher in der 1. Sitzung als Zweites gemessen wurde [39].

Die Reihenfolge der Konfiguration (ohne Hörsystem, First Fit, Bass Boost) wird für beide Sitzungen ebenfalls randomisiert, unabhängig von der Reihenfolge der 1. Sitzung. Das „Crossover-Design“ kommt bei dieser Randomisierung jedoch nicht zum Einsatz.

Zur Verdeutlichung dient folgendes Beispiel:

Testperson VP05BB startet nach der Randomisierung der Messreihenfolge für die Sprachtests in der 1. Sitzung mit dem WAKO. Nach der Übungsrunde starten die randomisierten gültigen Messungen in den Konfigurationen „ohne Hörsystem“ sowie mit Hörsystemen in der Hörsystemeinstellung „First Fit“ (FF) und „Bass Boost“ (BB). Insgesamt ergeben sich drei Konfigurationen, welche randomisiert sind. Danach erfolgt die Messung des OLSA, beginnend mit zwei Übungsrunden ohne Hörsysteme, gefolgt von den gültigen Messungen in einer erneut randomisierten Reihenfolge der Konfigurationen.

Folgende Darstellung (Abb. 3.1) gibt nochmals einen bildlichen Überblick über das Verfahren der Randomisierung:

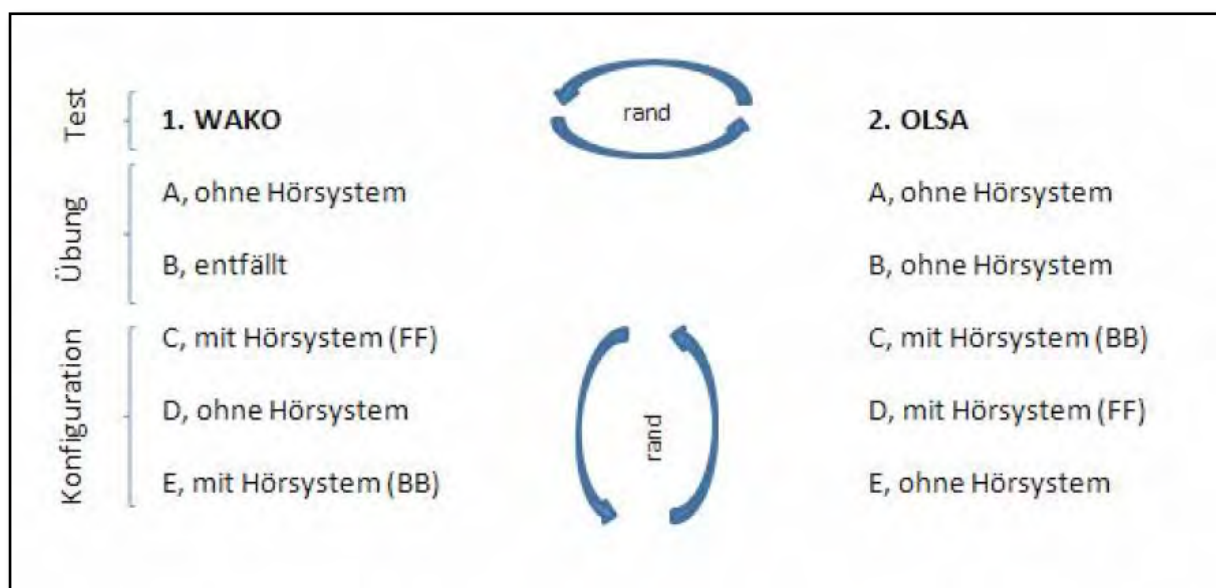


Abb. 3.1: Beispiel einer randomisierten Testreihenfolge und Konfiguration.

Die Darbietung und Bewertung der Klangbeispiele im Rahmen des Sound-Parcours in der 2. Sitzung erfolgt nicht randomisiert und für alle Testpersonen in der gleichen Reihenfolge (vgl. Kapitel 3.6.5.1).

3.3 Studienpopulation

Folgender Abschnitt gibt eine Übersicht über die Kriterien, welche die Testpersonen für die Teilnahme an dieser Studie erfüllen müssen, die Kriterien, welche eine Teilnahme ausschließen sowie allgemeine Informationen über die Testpersonen, welche an dieser Studie teilgenommen haben. Alle teilnehmenden Testpersonen wurden anhand der internen Probandendatenbank der Firma Phonak ausgewählt und rekrutiert. Bei der Auswahl der Testpersonen handelt es sich um eine randomisierte Stichprobe, d. h. die Auswahl der Stichprobe erfolgte zufällig.

3.3.1 Ein- und Ausschlusskriterien

3.3.1.1 Einschlusskriterien

Folgende wesentliche Anforderungen werden für die Teilnahme an der Studie an die Testpersonen gestellt:

- a. Erwachsene im Alter zwischen 18 und 90 Jahren
- b. Die тонаudiometrische Hörminderung (Luftleitung) der Testperson darf nicht außerhalb des in Abb. 3.2 gezeigten Bereiches liegen. Die Hörminderung, die mindestens vorhanden sein muss, wird als „min“ (gestrichelte Kurve) bezeichnet, die maximale Hörminderung, die vorliegen darf, als „max“ (durchgezogene Kurve):

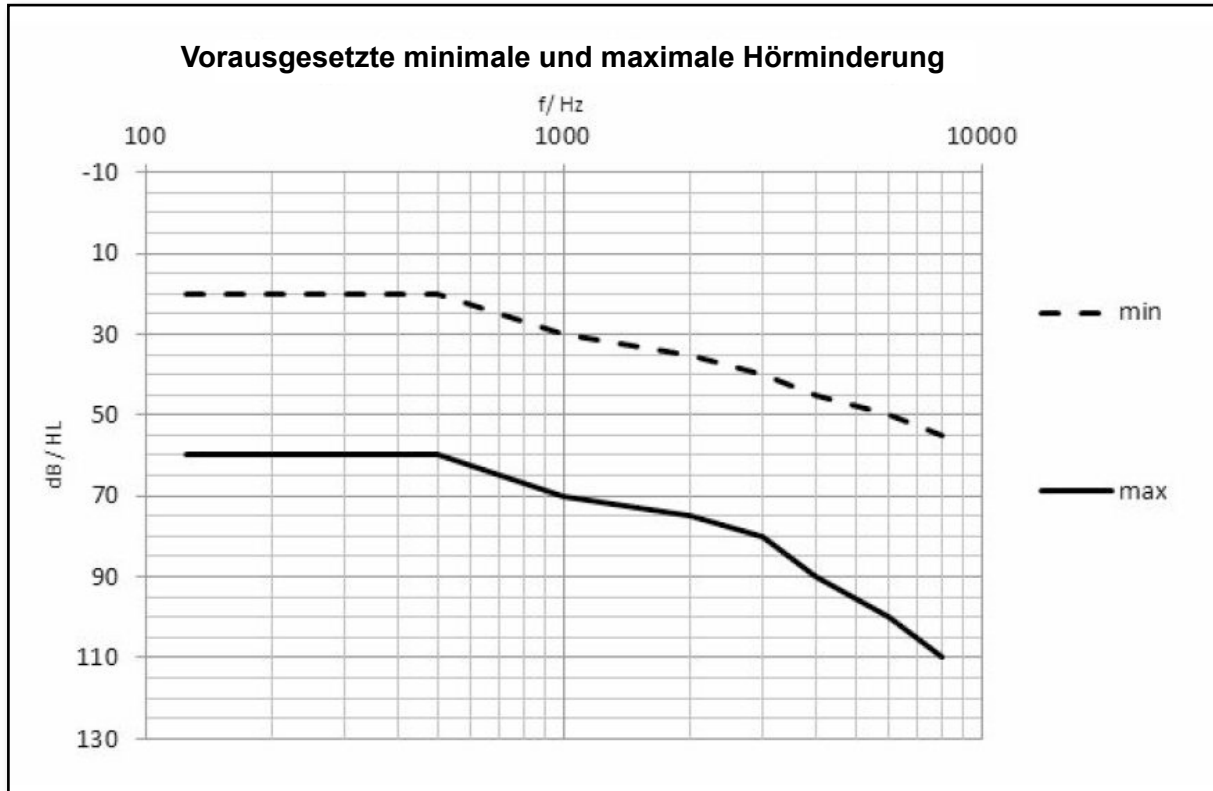


Abb. 3.2: Vorausgesetzter Bereich, in welchem die Hörminderung der Testpersonen für die Teilnahme an der Studie liegen muss. „min“ markiert dabei die Grenze, unterhalb welcher die Hörminderung mindestens liegen muss. „max“ markiert die Grenze, unterhalb derer die Hörminderung nicht liegen darf.

- c. alle Arten von Hörminderung (Schallempfindung-, Schalleitungs- und kombinierte Hörminderung), welche im Bereich von Punkt b (s. o.) liegen
- d. symmetrische beidseitige Hörminderung
- e. ausreichende Deutschkenntnisse (aufgrund der deutschsprachigen Sprachtests WAKO u. OLSA)

3.3.1.2 Ausschlusskriterien

Testpersonen, die folgende wesentliche Kriterien erfüllen, können für die Studie nicht berücksichtigt werden:

- a. asymmetrische Hörminderung
- b. zentrale Hörstörungen
- c. Hörminderungen außerhalb des relevanten Bereiches (siehe 3.3.1.1 Einschlusskriterien, Punkt b)
- d. stark eingeschränkte Möglichkeit, Höreindrücke zu beschreiben
- e. keine ausreichenden deutschen Sprachkenntnisse (aufgrund der deutschsprachigen Sprachtests WAKO u. OLSA)
- f. sonstige körperliche Beeinträchtigungen, welche die regelmäßige Wahrnehmung der Testtermine gefährdet

3.3.2 Testpersonen

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über Anzahl, Alter, Hörminderung und die Trageerfahrung der Testpersonen mit Hörsystemen. Insgesamt haben 20 Testpersonen ($N = 20$) an der Studie teilgenommen, welchen zur Anonymisierung die Probandenkürzel VP01BB bis VP20BB zugeordnet wurden.

Unter den 20 Testpersonen waren 4 weiblichen und 16 männlichen Geschlechts. Neun Testpersonen besitzen eigene Hörsysteme, elf Testpersonen haben keine eigenen Hörsysteme. Das Durchschnittsalter der Testpersonen liegt bei 73 Jahren. Die jüngste Testperson ist 65 Jahre, die älteste 84 Jahre.

Abb. 3.3 zeigt die gemittelten Hörminderungen der teilnehmenden Testpersonen für das rechte (rote Kurven) und das linke (blaue Kurven) Ohr. Abb. 3.4 zeigt die durchschnittliche Hörminderung der Testpersonen mit den zusammengefassten audiometrischen Daten beider Ohren. Zu sehen sind die geringste Hörminderung (min), die stärkste Hörminderung (max) sowie der Durchschnitt (engl.: average) der Hörminderungen.

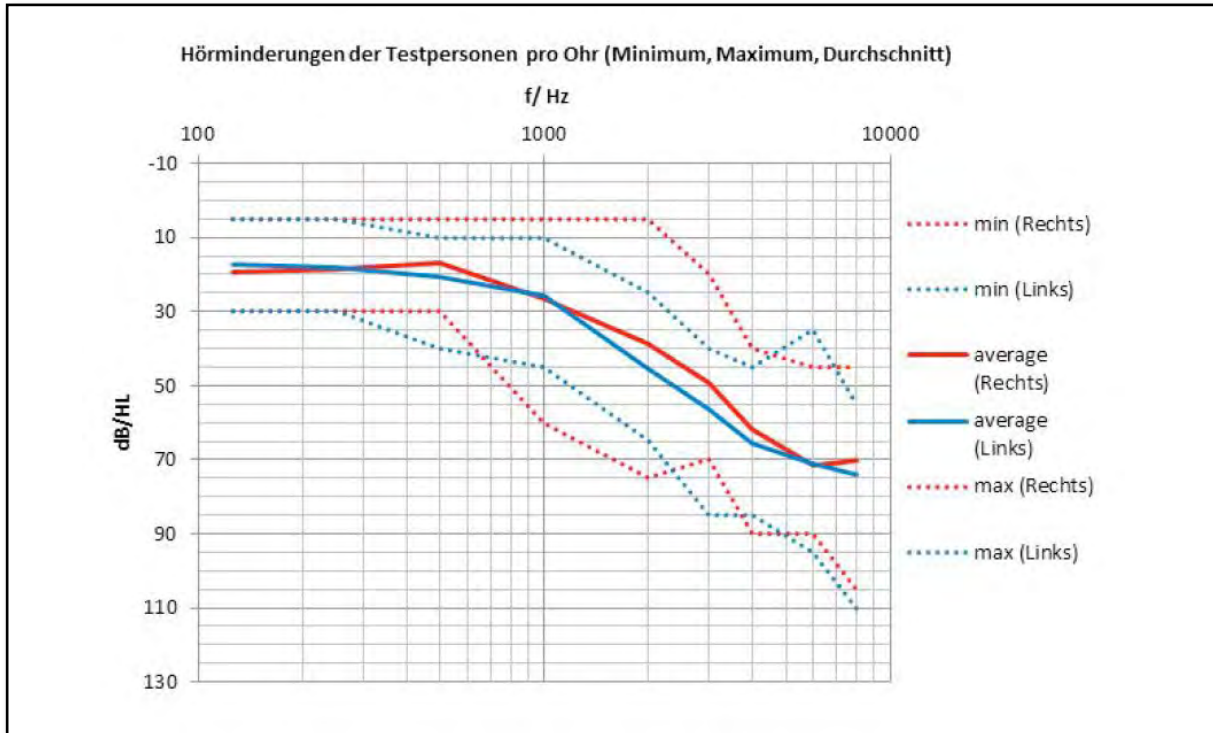


Abb. 3.3: Gemittelte Hörminderungen der Testpersonen in dB (HL) (y-Achse) in Abhängigkeit zur Frequenz in Hz (x-Achse) für das linke (blaue Kurven) und rechte (rote Kurven) Ohr. Die oberen beiden gepunkteten Kurven zeigen hierbei die minimale („min“) Hörminderung, die unteren beiden gepunkteten Kurven die maximale („max“) Hörminderung. Die durchgezogenen Kurven zeigen den Mittelwert („average“).

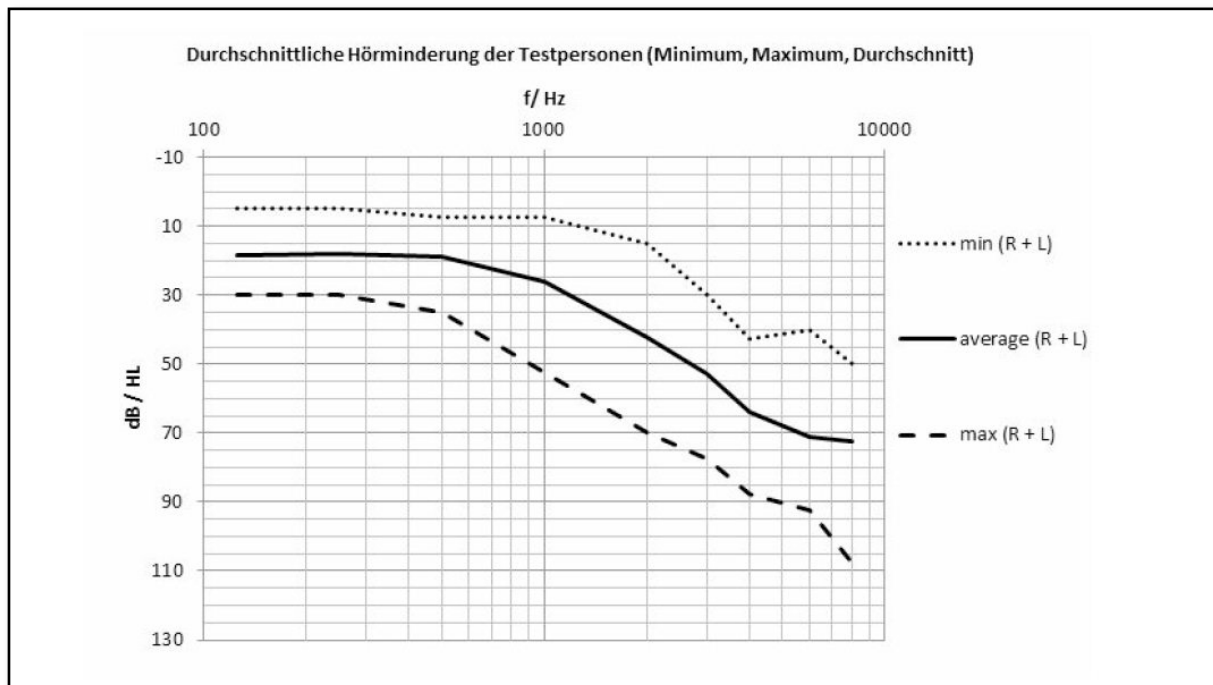


Abb. 3.4: Mittlere Hörminderungen der Testpersonen in dB (HL) (y-Achse) in Abhängigkeit zur Frequenz in Hz (x-Achse) für die von rechtem und linkem Ohr zusammengefassten audiometrischen Daten (min, max, average) aus Abb. 3.3. Die gepunktete Kurve markiert hierbei die mittlere minimale („min“) Hörminderung, die gestrichelte Kurve die mittlere maximale („max“) Hörminderung. Die durchgezogene Kurve zeigt den Mittelwert der zusammengefassten mittleren linken und rechten Hörminderung („average“).

3.4 Messraum und Messkabine

Um möglichst vergleichbare Messergebnisse zu erhalten, finden alle objektiven und subjektiven Messungen dieser Studie in einem akustischen Labor („Room Audiology“) der Firma Phonak (Stäfa) unter Laborbedingungen statt. Die einzige Ausnahme bildet hierbei die subjektive Bewertung der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ im Rahmen des Sound-Parcours (siehe Kapitel 3.6.5).

Im Messraum „Room Audiology“ befindet sich eine IAC-Messkabine (Industrial Acoustics Company, IAC) (siehe Abb. 3.5), welche bei einer Länge von 4,11 m, einer Breite von 3,13 m und einer Höhe von 2,32 m ein Gesamtvolumen von 29,85 m³ bietet. Die mittlere Nachhallzeit (engl.: reverberation time 60, RT60) beträgt im Frequenzbereich von 1 kHz bis 8 kHz 0.15 s.

In der Messkabine sind zwölf Lautsprecher der Firma GENELEC (Active Monitor, Typ 1029A) im Abstand von jeweils 30° zueinander kreisförmig installiert. Die Sitzposition der Testperson befindet sich genau mittig vom Lautsprecherkreis mit einem Abstand von jeweils 1,35 m zu jedem Lautsprecher. Die Sitzhöhe ist mit Hilfe eines höhenverstellbaren Stuhles so variabel, dass sich die Position der Ohren je nach der individuellen Körpergröße der Testperson auf eine horizontale Ebene zu den Lautsprechern einstellen lässt. Direkt vor der Testperson befindet sich in gut erreichbarer Entfernung und Höhe ein Touchscreen-Display, welches von der Testperson ohne Positionswechsel aus der Messposition heraus bedient werden kann. Über ein Fenster, welches sich im Bereich von 0° von der Testperson befindet, hat diese direkten Blickkontakt zum Prüfer. Zudem besteht über ein Mikrofon und einen separaten Lautsprecher in der oberen linken Ecke der Messkabine die ständige Möglichkeit des akustischen Austausches zwischen Testperson und Prüfer.

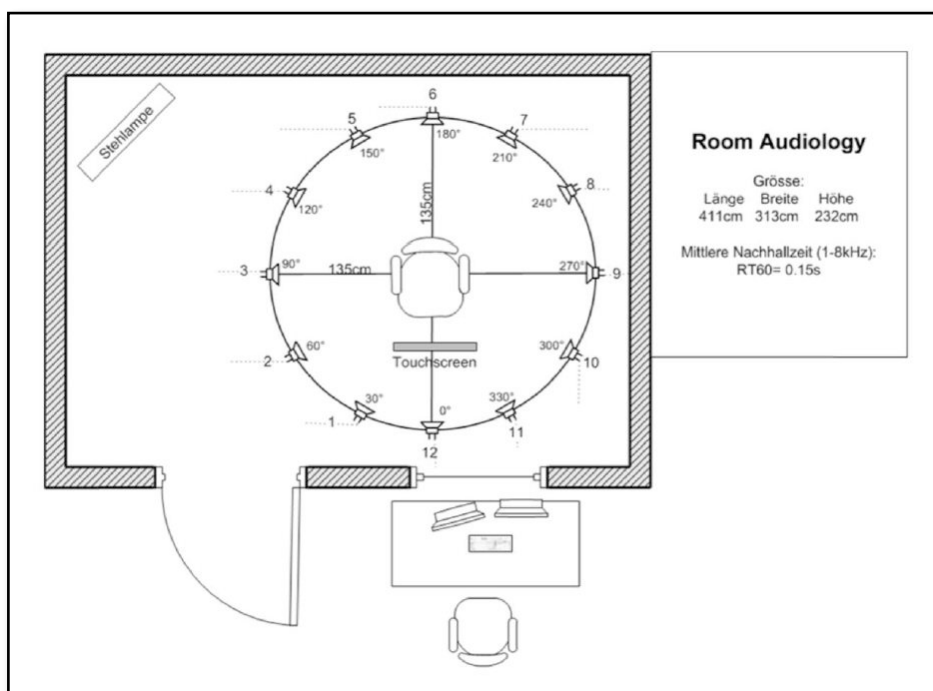


Abb. 3.5: Grundriss der IAC-Messkabine im „Room Audiology“ der Firma Phonak (Stäfa).

3.5 Hörsysteme, Hörsystemeinstellung, Messraum und Messverfahren

3.5.1 Hörsysteme

Die Studie für diese Bachelorarbeit wird mit Prototypen der neuesten Generation von HdO-Hörsystemen der Firma Phonak, basierend auf der neuen Chipplattform durchgeführt (siehe Anhang A und Anhang L). Die akustische Ankopplung an das Ohr der Testperson erfolgt mit einem Slim Tube und einem offenen Dome. Aufgrund der Zeitknappheit wird auf eine Anfertigung individueller Otoplastiken verzichtet.

Die Wahl der Länge der Slim Tubes sowie der Größe der Domes erfolgt anhand der individuellen anatomischen Gegebenheiten der jeweiligen Testperson.

Für die Slim Tubes stehen die Längen 0, 1, 2 und 3 zur Verfügung. Für die offenen Domes stehen die Größen S, M und L zur Verfügung.

3.5.2 Fitting Software und Hörsystemeinstellung

Für die Programmierung der Prototypen wird die Fitting Software „Phonak Target“ verwendet.

Die Berechnung der Zielverstärkung erfolgt auf Basis der Vorberechnungsformel APD sowie der mit Audiogram Direct ermittelten Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle. Audiogram Direct (Abb. 3.6) ist ein Messinstrument innerhalb der Fitting Software „Phonak Target“, welches die In-situ-Audiometrie direkt über die Hörsysteme unter Berücksichtigung der individuellen akustischen Ankopplung an das Ohr ermöglicht. Mit Hilfe des

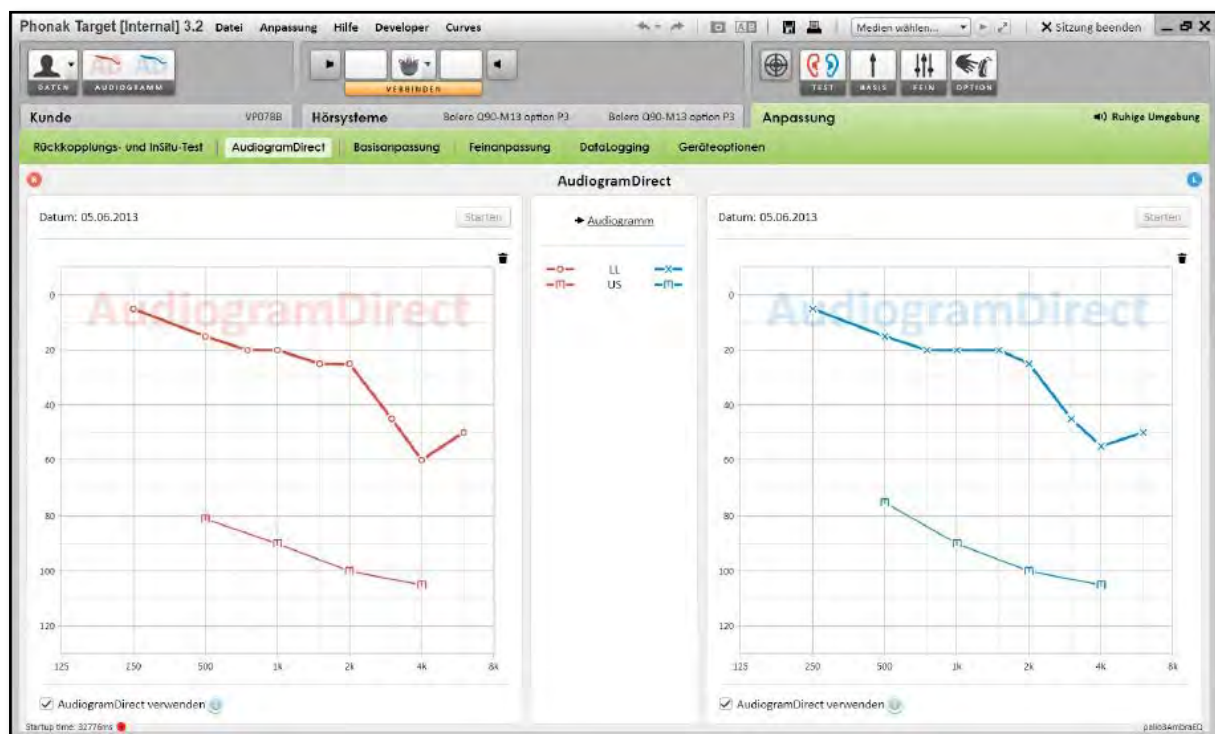


Abb. 3.6: Audiogramm einer Testperson, aufgenommen mit Audiogram Direct, einem Messinstrument innerhalb der Fitting Software „Phonak Target“, welches eine In-situ-Audiometrie ermöglicht.

Rückkopplungstests wird die frequenzspezifische Rückkopplungsschwelle ermittelt. Diese zeigt an, ab welcher Zielverstärkung mit einer akustischen Rückkopplung zu rechnen ist (Abb. 3.10). Zudem kann anhand des Rückkopplungstests die individuelle RECD (engl.: real-ear-to-coupler difference, RECD) geschätzt und bei der Berechnung der Zielverstärkung berücksichtigt werden (Abb. 3.7). Grundsätzlich ist zu beachten, dass es sich bei den Werten der Rückkopplungsschwelle und RECD um Näherungen handelt, da sich die Messungen lediglich am Pegel orientieren, die Phasen jedoch vernachlässigen [22].

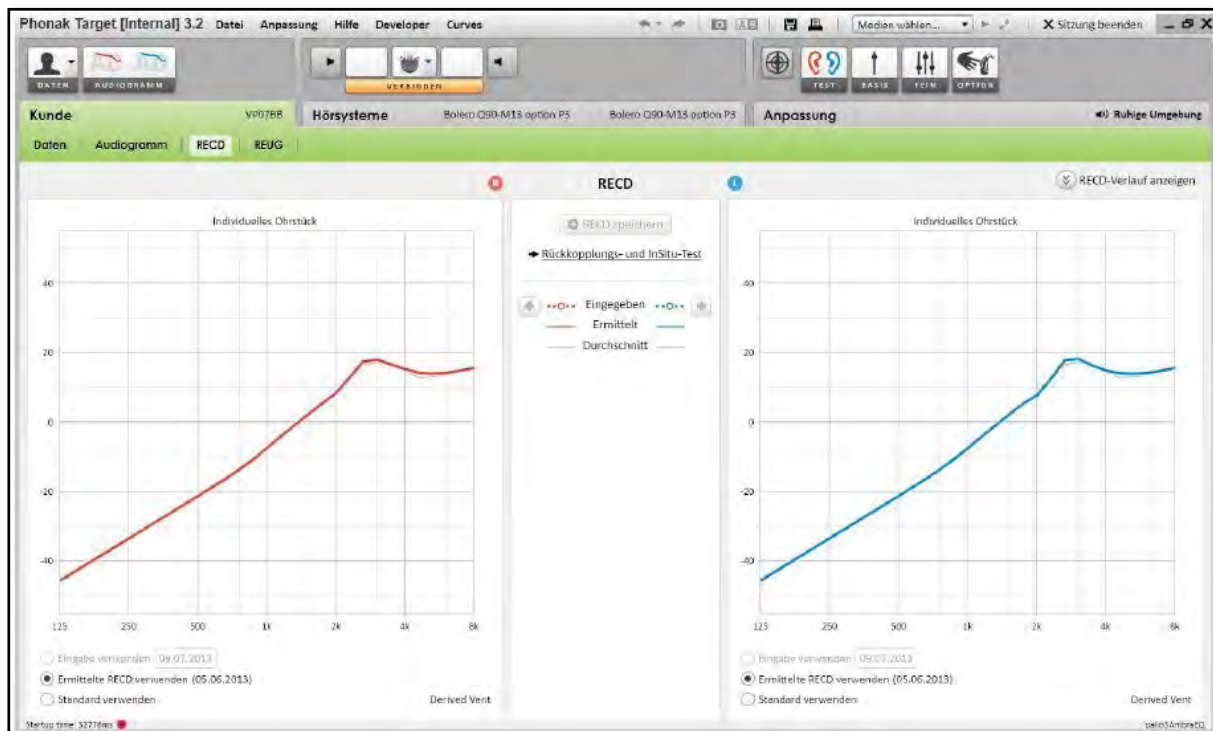


Abb. 3.7: RECDs einer Testperson für das rechte (rote Kurve) und linke Ohr (blaue Kurve), geschätzt anhand des Rückkopplungstests.

Aufgrund der Sprachmessungen in Ruhe und im Störgeräusch sowie der unterschiedlichen Klangbeispiele im Rahmen des Sound-Parcours werden folgende vier unterschiedliche Hörprogramme eingestellt (Abb. 3.8):

1. Ruhige Umgebung (First Fit, FF)
2. Ruhige Umgebung 1 (Bass Boost, BB)
3. Verstehen im Störgeräusch (First Fit, FF)
4. Verstehen im Störgeräusch 1 (Bass Boost, BB)

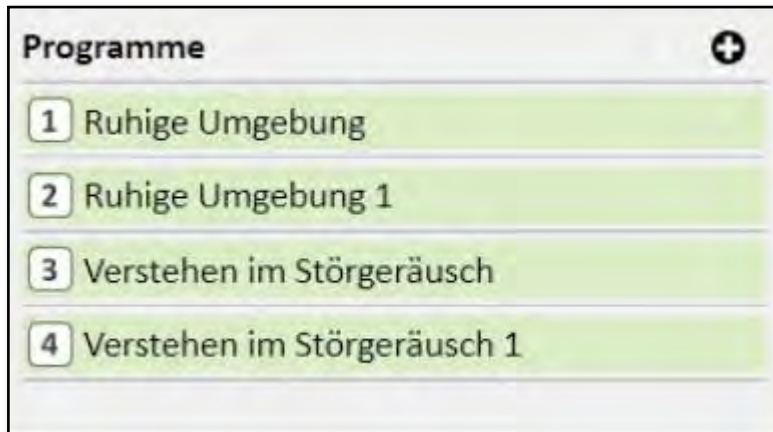


Abb. 3.8: Hörprogramme 1 bis 4 für die Sprachmessungen in Ruhe und im Störgeräusch sowie die unterschiedlichen Klangbeispiele im Rahmen des Sound-Parcours.

Programm 1 und Programm 3 basieren auf der aktuellen First-Fit-Vorberechnung der Vorberechnungsformel APD und werden nicht modifiziert. Nach Rücksprache mit der Testperson erfolgt in diesen Programmen lediglich eine individuelle Anpassung der Gesamtlautstärke über die Festlegung der Zielverstärkung zwischen 70 % und 110 % (Abb. 3.9), welche unter anderem von der Erfahrung der jeweiligen Testperson mit dem Tragen von Hörsystemen abhängt. Die hier festgelegte Zielverstärkung ist für alle Hörprogramme gleich. Weitere Modifikationen werden in Programm 1 und Programm 3 nicht vorgenommen.



Abb. 3.9: Auswahl der möglichen Zielverstärkungen für die Vorberechnungsformel APD von 70 %-110 % je nach Testperson.

In Abb. 3.10 ist der Einfluss der Direktschallkompensation (engl.: Direct Sound Compensation, DSC) zu sehen, deren fest hinterlegte Werte im Rahmen dieser Bachelorarbeit modifiziert wurden. Die Aufgabe der DSC ist es, den Schalldruckpegel des Direktschalls abzuschätzen und mit dem Schall, welcher vom Hörsystem abgegeben werden würde, zu vergleichen. Das Ziel der DSC ist es, Kammfiltereffekte zu vermeiden, welche durch eine phasenverschobene Überlagerung von Direktschall mit dem vom Hörgerät verstärkten entstehen [13] [21]. Die in der Phonak Target dargestellte Insertion Gain (IG) (Abb. 3.10) beinhaltet den vom Vent abhängigen, angenommenen Direktschall sowie die Verstärkung des Hörsystems. Liegt der Schalldruckpegel des Direktschalls über dem Schall, welcher vom Hörsystem verstärkt abgegeben werden würde, wird auf eine Schallabgabe von Seiten des Hörsystems verzichtet. Es kommt somit nur der Direktschall über das Vent

am Ohr an. Liegt der Schall, welcher das Hörsystem verstärkt abgeben würde, über dem Schalldruckpegel des Direktschalls, erfolgt die akustische Schallausgabe des verstärkten Schalls von Seiten des Hörsystems. In Abb. 3.10 ist zu sehen, dass die dargestellte IG im Bereich von ca. 350 Hz bis ca. 750 Hz abfällt. Die IG fällt in diesem Bereich ab, da die fest in der Target hinterlegten Werte für den vom Vent abhängigen angenommenen Direktschall modifiziert wurden. Die Werte wurden in der Form modifiziert, dass die Hörsysteme nun davon ausgehen, dass es in diesem Frequenzbereich keinen Direktschall gibt, wodurch in diesem Frequenzbereich eine vom Direktschall unabhängige Verstärkung stattfindet.

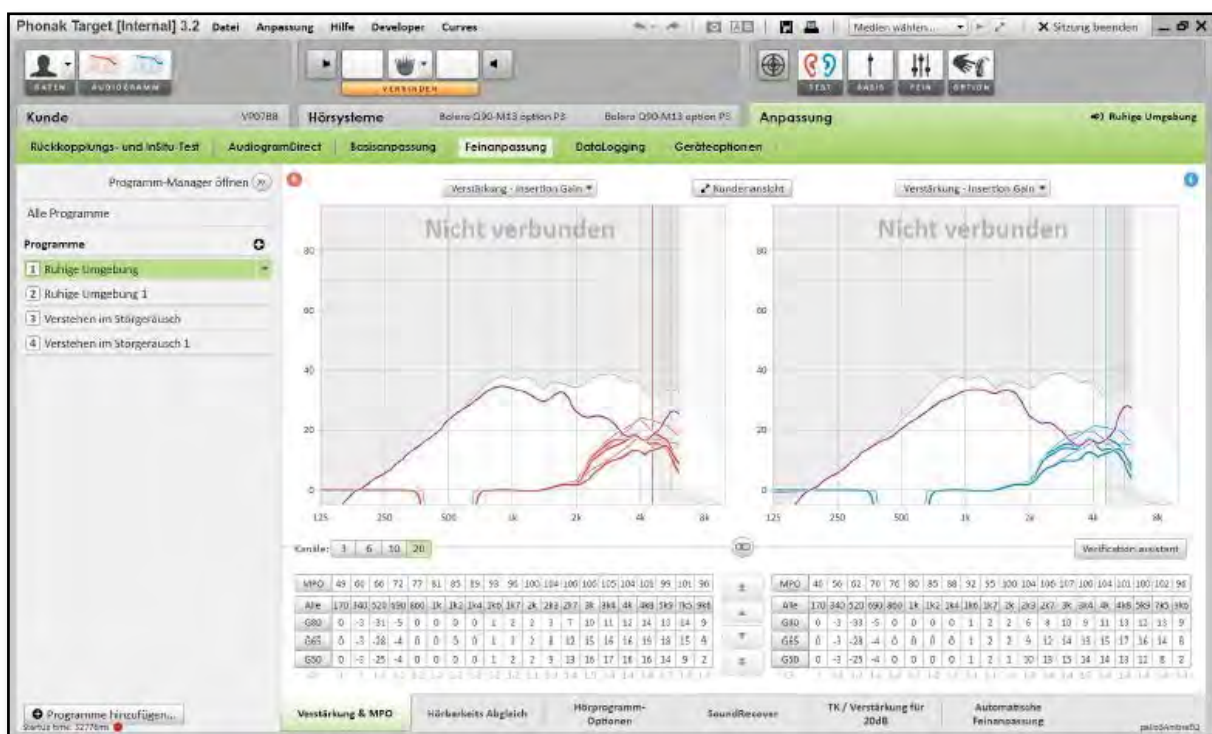


Abb. 3.10: Beispiel eines First Fit (FF) nach Auswahl der geeigneten individuellen Zielverstärkung (Programm 1: Ruhige Umgebung, First Fit). Zu sehen sind die frequenz- und pegelspezifischen IGs für das rechte (rote Kurven) und linke (blaue Kurven) Ohr. Die lila Kurven stellen die anhand des Rückkopplungstests geschätzten Rückkopplungsschwellen dar.

Programm 2 und Programm 4 basieren auf dem First Fit und der gegebenenfalls vorgenommenen Anpassung der Zielverstärkung des Programms 1 für Programm 2 sowie des Programms 3 für Programm 4.

Im Gegensatz zu Programm 1 und Programm 3 erfolgt bei Programm 2 und Programm 4 eine Anhebung der Verstärkung im Frequenzbereich um 500 Hz („Bass Boost“, BB) über möglichst alle Eingangspegel. Wie viel zusätzliche Verstärkung in diesem Bereich gegeben wird, hängt von der Akzeptanz der jeweiligen Testperson ab. In einer kurzen spontanen Bewertung sollen von der Testperson die Gesamtlautstärke, Lautstärke und Klang der eigenen Stimme sowie Lautstärke und Klang einer fremden Stimme beurteilt werden. Die Verstärkung im Bereich um 500 Hz wird anhand einer Feinanpassung so lange variiert, bis

eine für den Testkunden angenehme und akzeptable Einstellung gefunden wird (siehe Abb. 3.11). Die anhand der Feinanpassung in Programm 2 vorgenommene Anhebung der Tieftonverstärkung wird auf das Programm 4 übertragen.

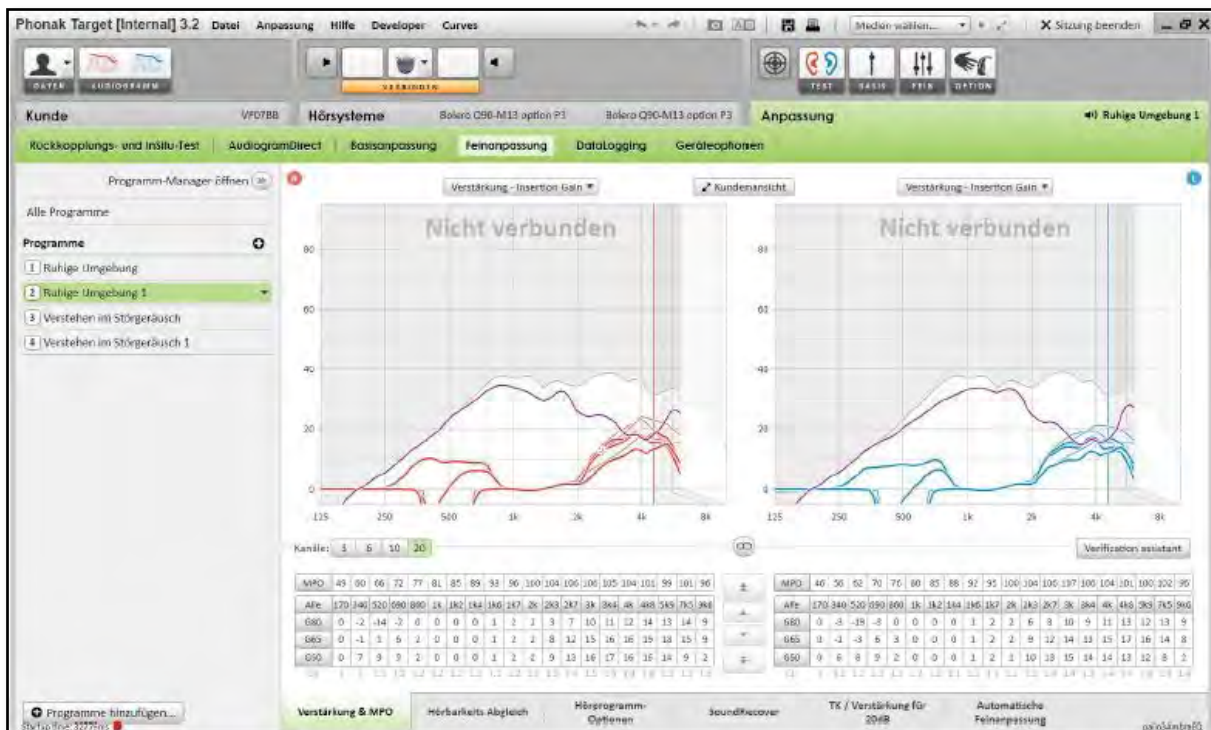


Abb. 3.11: Beispiel einer Hörsystemeinstellung in Programm 2 mit zusätzlicher Tieftonverstärkung im Bereich um ca. 500 Hz (Bass Boost) basierend auf dem First Fit aus Programm 1.

Im Kapitel 4 wird auf die durchschnittliche zusätzliche Verstärkung, welche im Rahmen der Tieftonanhebung im Bereich von 500 Hz gegeben wurde, näher eingegangen.

Für die Sprachmessungen in ruhiger Umgebung (WAKO) werden Programm 1 und 2 verwendet. Bei der Ermittlung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch (OLSA) finden Programm 3 und Programm 4 Anwendung.

Bei der Darbietung des Sound-Parcours erfolgt ebenfalls eine situationsabhängige Programmwahl. Für die Hörsituationen in Ruhe und mit Musik werden die Hörprogramme 1 und 2 verwendet. Für die Hörsituationen mit Störgeräusch werden die Hörprogramme 3 und 4 verwendet. Hierauf wird im späteren Kapitel 3.6.5 genauer eingegangen.

Die Programme 3 und 4, mit welchen die Messungen im Störgeräusch verwendet werden, unterscheiden sich von den Programmen 1 und 2 in der Hinsicht, dass die Hörprogramm-Optionen (engl.: Features) für die Situation im Störgeräusch optimiert sind.

Die Features unterscheiden sich hierbei bezüglich des Features „Noise Block“ sowie des „Mikrofon-Modus“. Der „Noise Block“ ist für die Unterdrückung von Störgeräuschen zuständig, welche nicht dem Muster von Sprache entsprechen und durch ihre verdeckende Wirkung auf Sprache die Diskrimination erschweren. Dieses Feature ist in den Program-

men 3 und 4 stärker „eingeregelt“ als in den Programmen 1 und 2, die Absenkung dieser Geräusche erfolgt also in höherem Maße. Zudem ist der Mikrofonmodus, welcher sich in den Programmen 1 und 2 im „Real Ear Sound“ befindet, in den Programmen 3 und 4 im Modus „Ultra Zoom & SNR Boost“. Die unterschiedlichen Einstellungen sind in Abb. 3.12 und Abb. 3.13 zu sehen. Im Mikrofon-Modus „Real Ear Sound“ wird die natürliche Richtcharakteristik der Ohrmuschel (Pinna-Effekt) nachgebildet, indem in den Frequenzbändern der tiefen Frequenzen eine omnidirektionale Mikrofon-Charakteristik gewählt wird und in den höheren Frequenzbändern eine Nieren-Charakteristik (vgl. Anhang M). Die Charakteristik im Modus „Ultra Zoom & SNR Boost“ entspricht der einer Hyperniere. Dies geschieht in insgesamt 32 Frequenzbändern einzeln und adaptiv („adaptiver Multiband Beamformer“). Die Nullstelle orientiert sich hierbei an der Richtung, aus der das maximale Störgeräusch kommt.

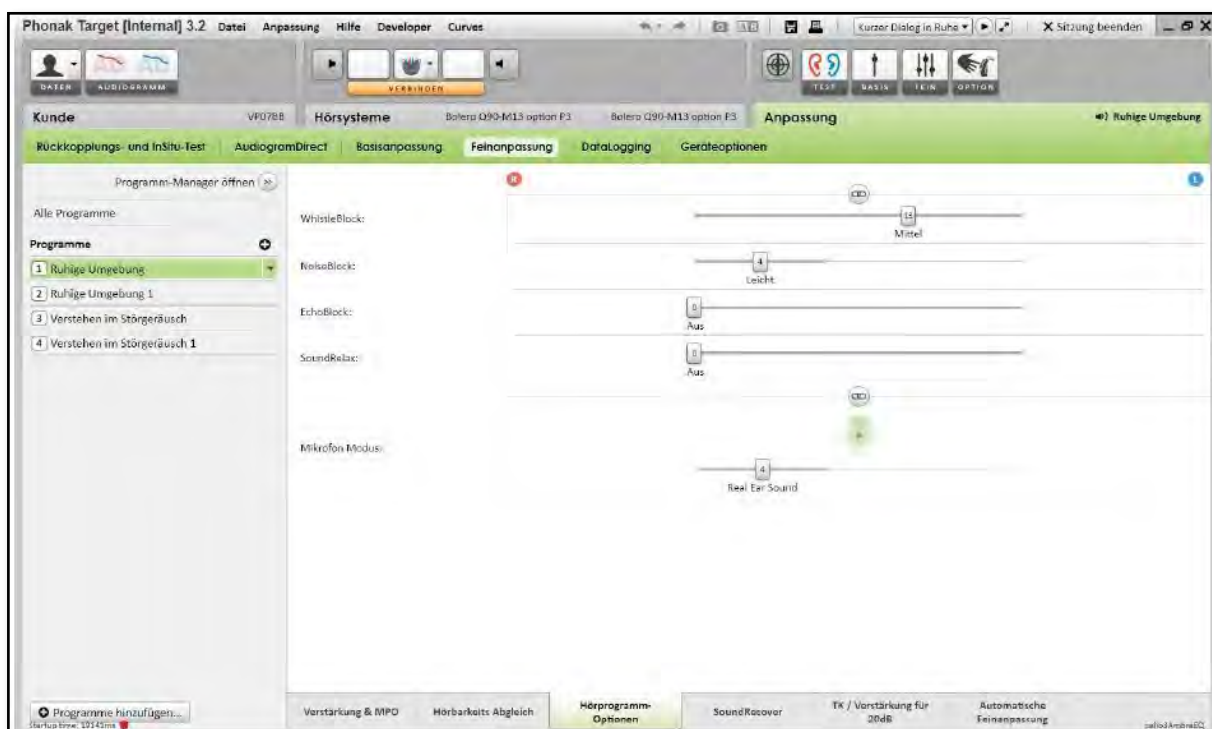


Abb. 3.12: Einstellung der Features für das Hörprogramm 1 (ruhige Umgebung, First Fit). Im Hörprogramm 2 (ruhige Umgebung 1, Bass Boost) sind diese Features genauso eingestellt.

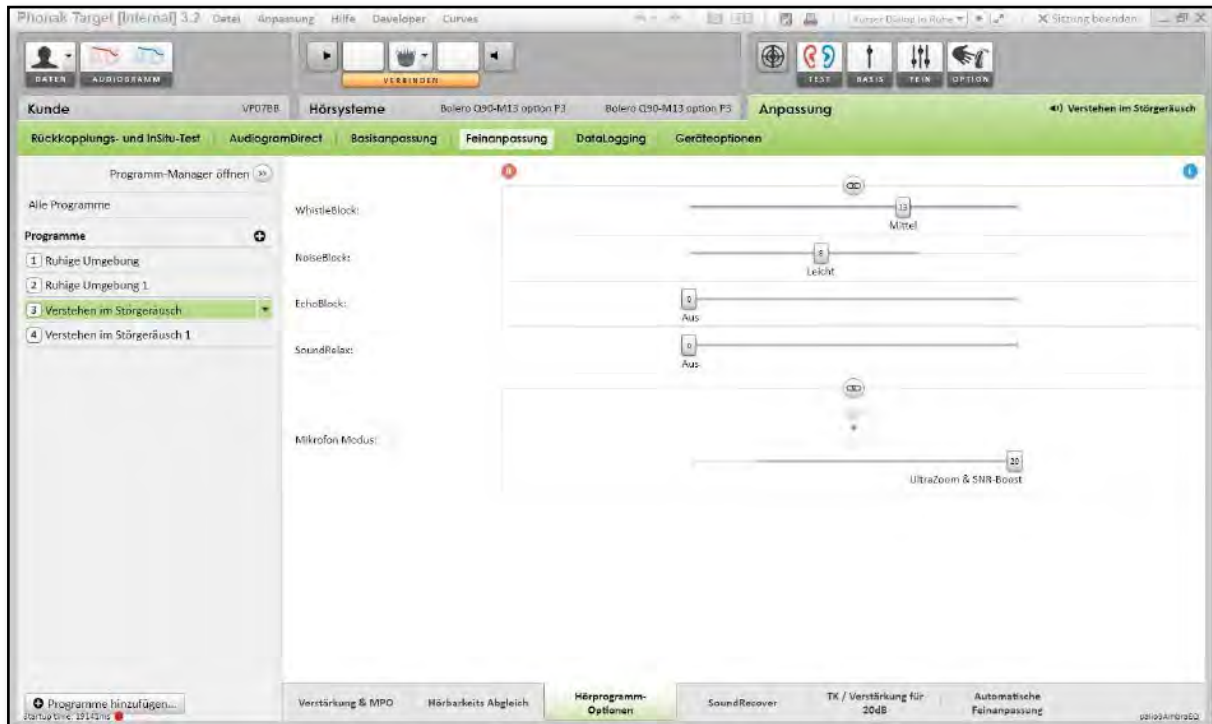


Abb. 3.13: Einstellung der Features für die Hörprogramme 3 und 4 (Verstehen im Störgeräusch).

3.6 Verwendete Messverfahren und Messeinstellungen

Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über die im Rahmen dieser Bachelorarbeit zum Einsatz gekommenen objektiven und subjektiven Messverfahren.

Für die objektiven Messungen werden In-situ-Messungen, der WAKO sowie der OLSA eingesetzt.

Die subjektiven Messungen finden anhand eines Sound-Parcours und einer Bewertung der einzelnen Hörprogramme in den unterschiedlichen Hörsituationen durch einen Fragebogen statt.

3.6.1 Audiogram Direct, Rückkopplungstest und RECD

Audiogram Direct:

Die Ermittlung der Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle erfolgt mit Hilfe von Audiogram Direct (Abb. 3.14). Audiogram Direct ist ein Messinstrument innerhalb der Phonak Target Fitting Software, welches die Bestimmung dieser Schwellen direkt über die eingesetzten Hörsysteme ermöglicht. Der Vorteil dieser Audiometrie ist, dass sie mit der tatsächlichen akustischen Ankopplung geschieht – hier mit Slim Tube und Dome – so, wie sie die Testperson später im Alltag tragen würde.

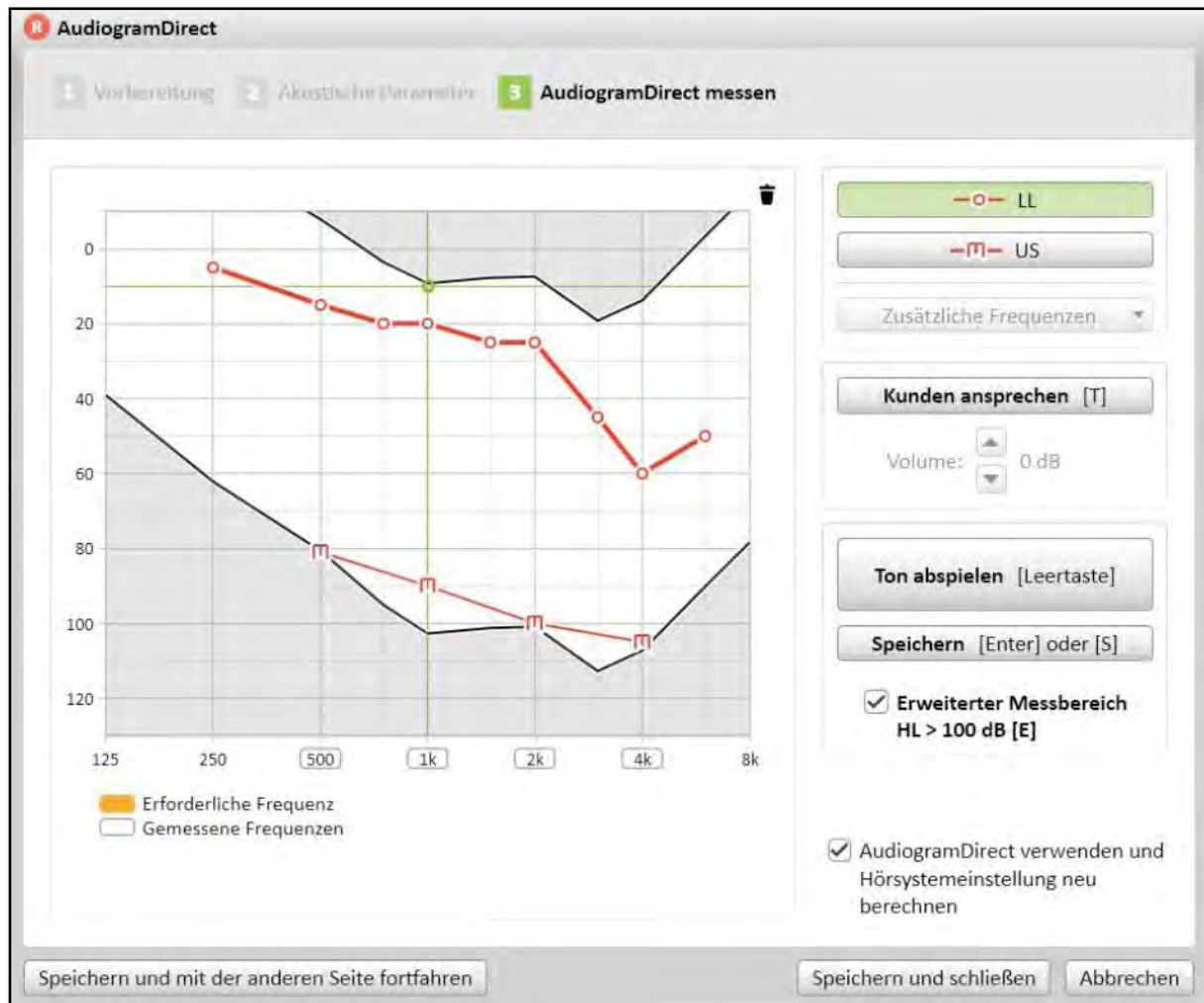


Abb. 3.14: Dargestellt ist das Messinstrument Audiogram Direct. Es dient der Ermittlung der Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle direkt über die Hörsysteme und der individuellen akustischen Ankopplung an das Ohr der Testperson – so, wie sie diese auch später im realen Leben täglich tragen wird.

Rückkopplungstest und RECD (engl.: real-ear-to-coupler difference, RECD):

Der Rückkopplungstest ermittelt die individuelle Rückkopplungsschwelle mit der individuellen akustischen Ankopplung. Diese zeigt an, ab welchen Verstärkungswerten frequenzspezifisch akustische Rückkopplungen auftreten (Abb. 3.10). Gleichzeitig wird anhand dieser Messung die RECD geschätzt, welche im weiteren Verlauf des First Fit und somit der Berechnung der Zielverstärkung Berücksichtigung findet.

3.6.2 In-situ-Messungen

Die Aufnahme der REAR (engl.: real ear aided response, REAR) erfolgt anhand von In-situ-Messungen mit der Aurical 2 der Firma GN Otometrics. Die REAR zeigt den frequenzspezifischen Schalldruckpegel an, welcher mit eingesetzten und eingeschalteten Hörsystemen am Trommelfell der Testperson ankommt.

Vor jedem Testdurchlauf erfolgt eine Kalibrierung des Messraums und der Sondenschläuche. Für die Messung der REARs werden die Sondenschläuche der In-situ-Messanlage ca. 3 mm vor dem Trommelfell des linken und rechten Ohres der Testperson positioniert.

Die Testperson sitzt im Messraum „Room Audiology“ im Abstand von 1 m vor einem Lautsprecher der In-situ-Messanlage, welcher in einem Winkel von 0° vor der Testperson aufgestellt ist. Aus diesem Lautsprecher erfolgt die akustische Darbietung des verwendeten Messsignals ISTS (engl.: International Speech Test Signal, ISTS) mit den Signalpegeln von 50 dB und 65 dB in jedem der vier Hörprogramme.

3.6.3 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)

Der WAKO wird zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit in Ruhe angewendet. Es findet eine Messwiederholung in Form von Test (1. Sitzung) und Retest (2. Sitzung) statt. Als Sprachsignal dient das Sprachmaterial der 25er-Testlisten des WAKO. Die Testperson sitzt in der Messkabine mittig im Lautsprecherkreis (siehe Kapitel 3.4, Abb. 3.5). Direkt vor der Testperson ist ein Touchscreen-Display aufgebaut. Die Signaldarbietung erfolgt aus Sicht der Testperson über den Lautsprecher aus 0°. Die Durchführung des WAKO erfordert, dass im Vorfeld der „gültigen Messungen“ eine Testliste zur Übung durchlaufen wird, welche somit auch nicht der Randomisierung der Testreihenfolge und Testlisten unterliegt, wobei eine einmalig verwendete Testliste nicht noch einmal verwendet wird. Die Ergebnisse des Übungsdurchgangs gehen nicht in die Auswertung mit ein. Anschließend an die Übungsrunde folgen die „gültigen Messungen“ in den Konfigurationen „ohne Hörsystem“, „mit Hörsystem (First Fit, FF)“ sowie „mit Hörsystem (Bass Boost, BB)“. Für die Messung der Sprachverständlichkeit in Ruhe befinden sich die Hörsysteme im Programm 1 (FF) sowie Programm 2 (BB).

Folgende Messungen (Tab. 3.1) finden im Anschluss an den Übungsdurchgang in randomisierter Reihenfolge statt:

	Konguration	Hörprogramm	Testliste	Signalpegel
1.	ohne Hörsystem	–	25 Wörter	35 dB (A)
2.	mit Hörsystem (FF)	ruhige Umgebung (FF)	25 Wörter	35 dB (A)
3.	mit Hörsystem (BB)	ruhige Umgebung (BB)	25 Wörter	35 dB (A)

Tab. 3.1: Messungen im Rahmen des WAKO.

3.6.4 Oldenburger Satztest (OLSA)

Der OLSA wird zur Ermittlung der Sprachverständlichkeit im Störgeräusch angewendet. Verwendet werden die Testlisten mit 20 Testsätzen. Als Störgeräusch dient im Gegensatz zum „OLSA-Rauschen“ das „Cafeteria Noise“. Es findet eine Messwiederholung in Form von Test (1. Termin) und Retest (2. Termin) statt.

Die Testperson sitzt in der Messkabine mittig im Lautsprecherkreis (vgl. Kapitel 3.4, Abb. 3.5). Die Darbietung des Störgeräusches erfolgt über Adobe Audition und fünf Kanäle der Soundkarten Fireface 800 und Fireface 400 der Firma RME. Aus Sicht der Testperson betrifft das die Lautsprecher aus 45°, 135°, 180°, 225° sowie 315° (vgl. Kapitel 3.4, 3.5). Zur Vermeidung additiver Überlagerungen durch das phasengleiche Abspielen aller fünf Kanäle erfolgt die Darbietung über die Kanäle 2 und 4 leicht phasenverschoben (inkohärent).

Die Darbietung des Sprachsignals erfolgt über die Testsoftware des OLSA und über einen Kanal der Soundkarte Fireface 400, aus Sicht der Testperson betrifft das den Lautsprecher aus 0°.

Die Lautstärke des Störgeräusches beträgt in der 1. Sitzung (Test) konstante 65 dB (A). Um eine realistischere Störgeräuschsituation zu erschaffen, wurde für die 2. Sitzung (Retest) der Lautstärkepegel des Störgeräusches auf konstante 70 dB (A) angehoben. Der sich adaptiv ändernde Lautstärkepegel der Sprachdarbietung startet in beiden Sitzungen mit einem Lautstärkepegel von 65 dB (A).

Die Durchführung des OLSA erfordert, dass im Vorfeld der „gültigen Messungen“ zwei Übungsdurchläufe stattfinden. Die Übungsdurchgänge fließen nicht in die Auswertung ein und erfolgen immer ohne Hörsysteme. Zudem sind diese von der Randomisierung der Testreihenfolge und Testlisten ausgeschlossen (siehe Kapitel 3.2), wobei eine einmalig verwendete Testliste nicht nochmals bei derselben Testperson verwendet wird.

Folgende Messungen (Tab. 3.2) finden im Anschluss an die Übungsdurchgänge in randomisierter Reihenfolge statt:

	Konguration	Hörprogramm	Testliste
1.	ohne Hörsystem	–	20er Testliste
2.	mit Hörsystem (FF)	Sprache im Störgeräusch (FF)	20er Testliste
3.	mit Hörsystem (BB)	Sprache im Störgeräusch (BB)	20er Testliste

Tab. 3.2: Messungen im Rahmen des OLSA.

3.6.5 Sound-Parcours

Für die Messung der subjektiven Einflussgrößen wird ein Sound-Parcours eingesetzt. In diesem Kapitel wird eine Übersicht über Inhalt und Aufbau sowie über das methodische Vorgehen bei der Darbietung des Sound-Parcours gegeben.

3.6.5.1 Aufbau und verwendete Klangbeispiele

Der Sound-Parcours besteht aus den insgesamt sieben im Folgenden aufgeführten Hörsituationen, welche anhand des Fragebogens (siehe Kapitel 3.6.6 sowie Anhang C) bewertet werden:

1. eigene Stimme
2. Sprache in Ruhe
3. Sprache im Störgeräusch - Straßenlärm
4. Sprache im Störgeräusch - Partylärm
5. Musik in Zimmerlautstärke
6. laute dynamische Musik
7. halliges Treppenhaus

Folgende Klangbeispiele (Tab. 3.3) werden für die Bewertung der Hörsituationen in der Messkabine dargeboten:

	Hörsituation	Klangbeispiel
1.	eigene Stimme	siehe Text Anhang D
2.	Sprache in Ruhe	„Dialog in Ruhe“ (Phonak Target)
3.	Sprache im Störgeräusch – Straßenlärm	„TrafficRightAndSpeechLeft“ (Phonak Target)
4.	Sprache im Störgeräusch – Partylärm	„DialogInNoiseSNR3“ (Phonak Target)
5.	Musik in Zimmerlautstärke	„SemiLoudPopMusic“ (Phonak Target)
6.	Musik – laut und dynamisch	„Scherzo“ (Forellenquintett von Franz Schubert)
7.	halliges Treppenhaus	Dialog zwischen Testperson und Prüfer

Tab. 3.3: Sound-Parcours: Hörsituationen und zugehörige Klangbeispiele.

Zur Bewertung der eigenen Stimme wird der Testperson ein Text vorgelegt (siehe Anhang D), welcher von der Testperson laut vorgelesen wird.

3.6.5.2 Darbietungswinkel

Die Demonstration der Klangbeispiele erfolgt über den Lautsprecherkreis in der Messkabine des „Room Audiology“.

Die Testperson sitzt in der Mitte des Lautsprecherkreises (siehe Kapitel 3.4, Abb. 3.5).

Die Darbietung der Klangbeispiele erfolgt über Adobe Audition und die Soundkarten Fireface 800 sowie Fireface 400 der Firma RME.

Jedes Klangbeispiel erfordert eine individuelle Ansteuerung der 12 Lautsprecher im Hinblick auf Lautsprecheranzahl und Darbietungswinkel. Folgende Tabelle (Tab. 3.4) gibt eine Übersicht über die Lautsprecherausgabe pro Klangbeispiel:

Klangbeispiel	Signalart	Lautsprecher
1.	eigene Sprache	–
2.	Sprecher Sprecherin	60° 300°
3.	Straßenlärm Sprecherin	120° u. 180° 300°
4.	Partylärm Sprecher Sprecherin	120° u. 180° 60° 300°
5.	Musik	0°, 60° u. 300°
6.	Musik	0°, 60° u. 300°
7.	Sprache	–

Tab. 3.4: Übersicht über die Signalarten und Darbietungswinkel der Klangbeispiele (vgl. Abb. 3.5).

Die Beurteilung der „eigenen Stimme“ (1.) erfolgt anhand eines Textes (siehe Anhang D), welcher von der Testperson laut gelesen werden soll. Die Bewertung der Situation „halliges Treppenhaus“ (7.) erfolgte anhand eines Dialoges zwischen Testperson und Prüfer im halligen Treppenhaus der Firma Phonak (Stäfa).

3.6.5.3 Kalibrierung und energieäquivalente Dauerschalldruckpegel

Die Kalibrierung der Klangbeispiele erfolgt in der Mitte des Lautsprecherkreises (siehe Kapitel 3.4, Abb. 3.5) im Abstand von 135 cm zu jedem Lautsprecher und auf horizontaler Ebene zu den Lautsprechern über den Schallpegelmesser Norsonic Typ 116 (Eichung bis 12/2013). Als Kalibriersignal dient ein weißes Rauschen mit einem energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel (L_{eq}) von 80 dB (A).

Folgende Übersicht (Tab. 3.5) zeigt die A- und C-bewerteten energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel (gesamt) der Klangbeispiele:

Klangbeispiel	gesamt L_{eq} in dB (A)	gesamt L_{eq} in dB (C)
1.	–	–
2.	56,1	63,5
3.	68,6	77,4
4.	64,9	68,3
5.	57,6	63,4
6.	70,6	76
7.	–	–

Tab. 3.5: Übersicht der A- und C-bewerteten energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel (gesamt).

Die Klangbeispiele, welche im Störgeräusch dargeboten werden, bieten unterschiedliche Signal-Rausch-Abstände (engl.: signal-to-noise ratio, SNR). Betroffen sind hiervon die Klangbeispiele 3. („TrafficRightAndSpeechLeft“) und 4. („DialogInNoise“). Folgende Übersicht zeigt anhand der L_{eq} die SNR-Unterschiede des jeweiligen Klangbeispiels A- und C-bewertet an:

Klangbeispiel	Leq Sprache	Leq Störgeräusch	Leq SNR (Leq Sprache - Leq Störgeräusch)
3.	62,2 dB (A) 65,6 dB (C)	66 dB (A) 69 dB (C)	-3,4 dB(A) -3,4 dB(C)
4.	61 dB (A) 62,6 dB (C)	66,9 dB (A) 77,4 dB (C)	-5,9 dB(A) -14,8 dB(C)

Tab. 3.6: Übersicht der A- und C- bewerteten SNR-Unterschiede der energieäquivalenten Dauerschall-druckpegel.

3.6.5.4 Methodisches Vorgehen

Die Testperson sitzt in der Messkabine in der Mitte des Lautsprecherkreises. Der Prüfer sitzt außerhalb der Messkabine hinter der Glasscheibe mit Sichtkontakt zur Testperson (siehe Kapitel 3.4, Abb. 3.5). Über ein Mikrofon und einen separaten Lautsprecher erfolgt der akustische Austausch zwischen Testperson und Prüfer.

Für die Hörsituationen „Sprache im Störgeräusch – Straßenlärm“ sowie „Sprache im Störgeräusch – Partylärm“ werden die Hörprogramme 3 und 4 verwendet. Diese sind für das Verstehen in geräuschvoller Umgebung optimiert (siehe Kapitel 3.5.2).

Für alle anderen Hörsituationen befinden sich die Hörsysteme in den Hörprogrammen 1 und 2. Diese sind für das Hören in Situationen ohne Störgeräusche optimiert (siehe Kapitel 3.5.2).

Die Bewertung der Hörsituationen erfolgt anhand eines Paarvergleichs durch ständiges Hin- und Herschalten zwischen den Programmen 1 und 2 bzw. den Programmen 3 und 4.

Der Paarvergleich ist eine Testmethode, bei welcher die Testperson die in Bezug auf eine Eigenschaft zu bewertenden Objekte oder Stimuli abwechselnd dargeboten bekommt. Die Testperson hat jederzeit die Möglichkeit, während der Darbietung des Klangbeispiels zwischen den beiden Einstellungen zu wechseln.

Da die verwendeten Hörsysteme „Paris“ im aktuellen Entwicklungsstand noch nicht mit den Fernbedienungen kompatibel sind, erfolgt der Paarvergleich (Programmwechsel), indem die Testperson ein Blatt mit einer „2“ nach oben hält. Sobald die Testperson die „2“ nach oben hält, schaltet der Prüfer über einen Laptop, welches über ein NOAHlink mit den Hörsystemen verbunden ist, in das gewünschte Hörprogramm. In dem Moment, in dem die Testperson die „2“ nicht mehr nach oben hält, schaltet der Prüfer wieder in das Ausgangsprogramm.

Dies ermöglicht der Testperson das aktive Hin- und Herschalten zwischen den unterschiedlichen Hörprogrammen. Zudem behält die Testperson einen Überblick darüber, in welchem Hörprogramm sie sich befindet. Für den Prüfer ergibt sich der Vorteil, dass er kontrolliert umschalten kann und Bedienungsfehler beim Umschalten zwischen den Hörprogrammen durch die Testperson ausgeschlossen werden können.

3.6.5.5 Fragebogen

Im Rahmen des Sound-Parcours erfolgt eine Bewertung der verschiedenen Hörsituationen und Hörprogramme anhand eines Fragebogens (siehe Anhang C). Dieser wurde im Vorfeld speziell für diese Bachelorarbeit entworfen. Dieses Kapitel gibt eine Übersicht über den Aufbau und Inhalt des verwendeten Fragebogens.

Der Fragebogen orientiert sich am evaluierten Fragebogen SSQ-C (engl.: Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale), welcher speziell für Paarvergleiche entworfen wurde [14].

Der in dieser Studie verwendete Fragebogen bezieht sich auf den Vergleich von zwei unterschiedlichen Hörprogrammen in verschiedenen Hörsituationen. Die unterschiedlichen Hörsituationen des Sound-Parcours sind im vorangegangenen Kapitel beschrieben.

Die von der Testperson zu beantwortenden Fragen sind von der zu bewertenden Hörsituation abhängig. Zum Beispiel wird bei den Klangbeispielen mit Sprachinhalt die „Natürlichkeit“ abgefragt. Bei der Darbietung von Musik wird anstelle der „Natürlichkeit“ die „Klangqualität“ abgefragt. Die unterschiedlichen Hörsituationen werden von der Testperson anhand von zwei unterschiedlichen Absolutskalen bewertet (Abb. 3.15 u. 3.16).

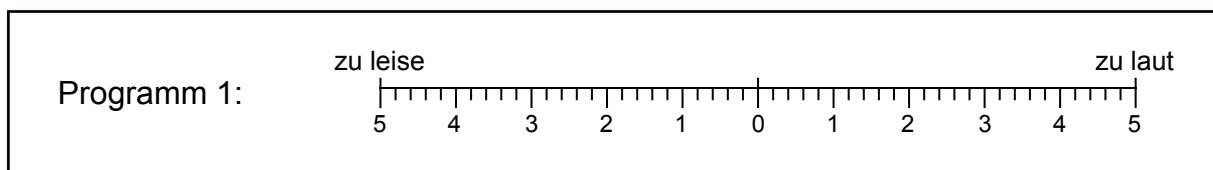


Abb. 3.15: Absolutskala am Beispiel der Bewertung der Lautstärke für Programm 1 mit einer Genauigkeit einer Schrittweite von 0.2.

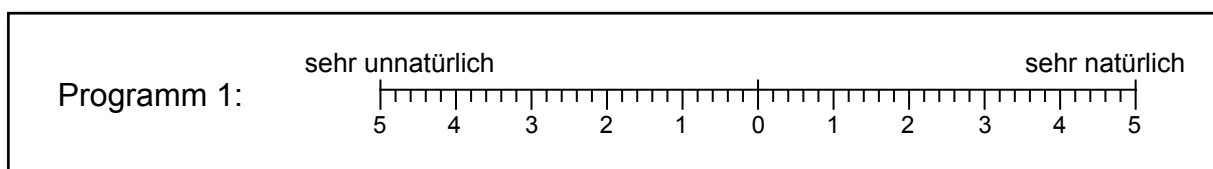


Abb. 3.16: Absolutskala am Beispiel der Bewertung der Natürlichkeit für Programm 1 mit einer Genauigkeit einer Schrittweite von 0.2.

Die Absolutskala in Abb. 3.15 ist von den Testpersonen so auszufüllen, dass wenn z. B. die Lautstärke der eigenen Stimme beurteilt werden soll, das Kreuz bei „0“ gesetzt werden sollte, wenn die Lautstärke als „angenehm“ empfunden wird. Wird die eigene Stimme als „zu leise“ oder „zu laut“ empfunden, muss das Kreuz in die entsprechende Richtung erfolgen. Hierbei hat die Testperson die Möglichkeit, ihre Antwort zu gewichten, indem sie ihr Kreuz in die entsprechende Richtung zwischen „0“ und „5“ setzt. Zum Beispiel bedeutet ein Kreuz in Richtung „zu laut“ und eine Gewichtung von „1“, dass es der Testperson „etwas zu laut“ ist, während eine Gewichtung von „5“ bedeutet, dass es der Testperson „viel zu laut“ ist. Die Gewichtung kann von der Testperson mit einer Genauigkeit von einer 0.2-Schrittweite vorgenommen werden.

Anhand der Absolutskala in Abb. 3.16 erfolgt von Seiten der Testperson die Bewertung so, dass wenn z. B. die „Natürlichkeit“ der eigenen Stimme bewertet werden soll, das Kreuz zwischen „0“ und „10“ gesetzt wird. Setzt die Testperson das Kreuz z. B. bei „0“, bedeutet dies, dass der Klang der eigenen Stimme als „sehr unnatürlich“ empfunden wird. Setzt die Testperson das Kreuz bei „10“, bedeutet das, dass die Testperson den Klang der eigenen Stimme als „sehr natürlich“ empfindet. Auch bei dieser Absolutskala können die Antworten mit einer Genauigkeit von einer 0.2-Schrittweite angegeben werden.

Die Bewertung erfolgt zunächst für jedes Programm einzeln. Am Ende einer jeden Frage soll die Testperson die mögliche Bevorzugung angeben (siehe Abb. 3.17). Kann die Testperson keinen Unterschied zwischen den Hörprogrammen feststellen, setzt sie ihr Kreuz bei „0“, was bedeutet, dass kein Hörprogramm bevorzugt wird („beide gleich“). Bevorzugt die Testperson eines der Hörprogramme, setzt sie ihr Kreuz in die entsprechende Richtung sowie mit der entsprechenden Gewichtung von 0.2 bis 5.

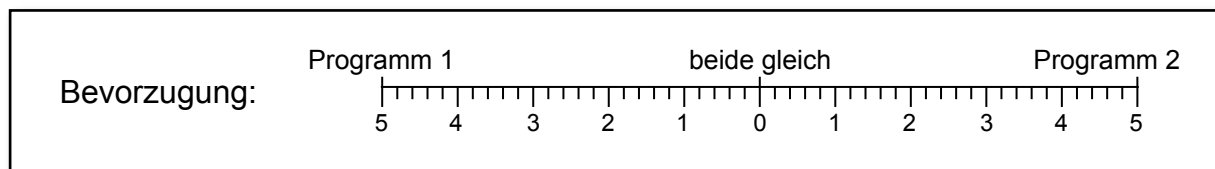


Abb. 3.17: Beurteilung der Bevorzugung am Ende einer jeden Frage.

Direkt vor der Darbietung des Sound-Parcours und der parallel stattfindenden Beurteilung anhand des Fragebogens bekommen die Testpersonen eine ausführliche Einweisung, wie der Fragebogen auszufüllen ist. Die Testpersonen werden besonders für die wechselnden Skalen sensibilisiert, um das Risiko einer falschen Bewertung auf ein Minimum zu reduzieren.

4. Ergebnisse und statistische Auswertung

In diesem Kapitel erfolgt eine Darstellung und statistische Auswertung der objektiven und subjektiven Messergebnisse. Die Diskussion der Ergebnisse erfolgt in Kapitel 5.

4.1 In-situ-Messungen

Im Rahmen der In-situ-Messungen wurde die REAR folgender Hörprogramme und Hörsystemeinstellungen aufgenommen:

1. Ruhige Umgebung (FF)
2. Ruhige Umgebung (BB)
3. Verstehen im Störgeräusch (FF)
4. Verstehen im Störgeräusch (BB)

Die Auswertung beinhaltet die messtechnisch ermittelten Daten von 19 Testpersonen (N = 19). Die Daten von Testperson VP18BB konnten nicht mit in die Auswertung eingehen, da ein Fehler beim Abspeichern der Messergebnisse aufgetreten ist.

Als Eingangssignal diente das in der Aurical 2 (GN Otometrics) zur Verfügung stehende ISTS bei einem Eingangspegel von 50 dB sowie 65 dB.

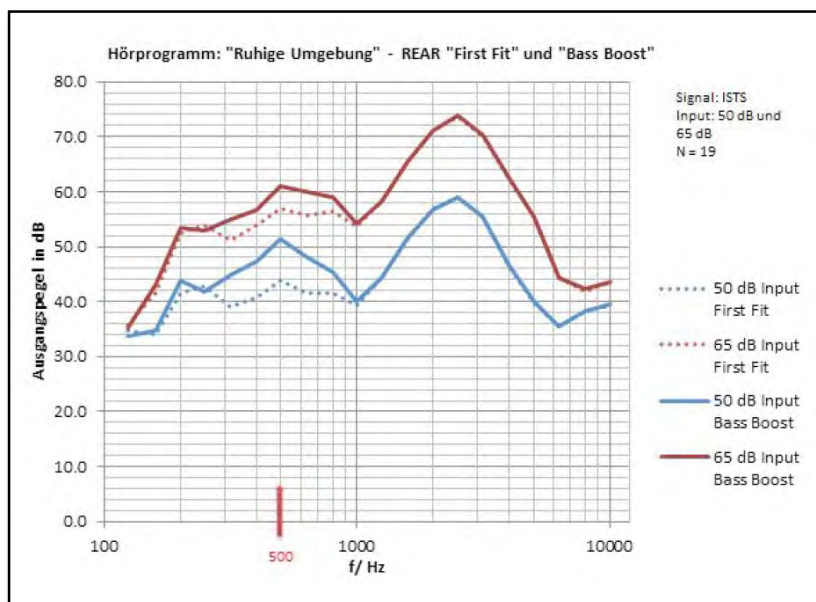


Abb. 4.1: Dargestellt sind die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse), in situ gemessenen Ausgangsschalldruckpegel in dB (SPL) (y-Achse) für die Hörprogramme 1 und 2 („Ruhige Umgebung“). Die Ergebnisse der First-Fit-Einstellung (Hörprogramm 1) sind als gepunktete Kurven dargestellt, die der Bass-Boost-Einstellung (Hörprogramm 2) als durchgezogene Linien. Als Eingangssignal diente das ISTS bei Eingangspegeln von 50 dB (blaue Kurven) und 65 dB (rote Kurven).

Abb. 4.1 zeigt die Mittelwerte der in situ gemessenen REARs der Hörsystemeinstellungen „First Fit“ (gepunktete Kurven) und „Bass Boost“ (durchgezogene Kurven) für die Eingangspegel von 50 dB (blaue Kurven) und 65 dB (rote Kurven) in den Hörprogrammen 1 und 2 („Ruhige Umgebung“).

In Abb. 4.2 sind die Mittelwerte der in situ gemessenen REARs der beiden Hörsystemeinstellungen für die Hörprogramme 3 und 4 („Verstehen im Störgeräusch“) abgebildet.

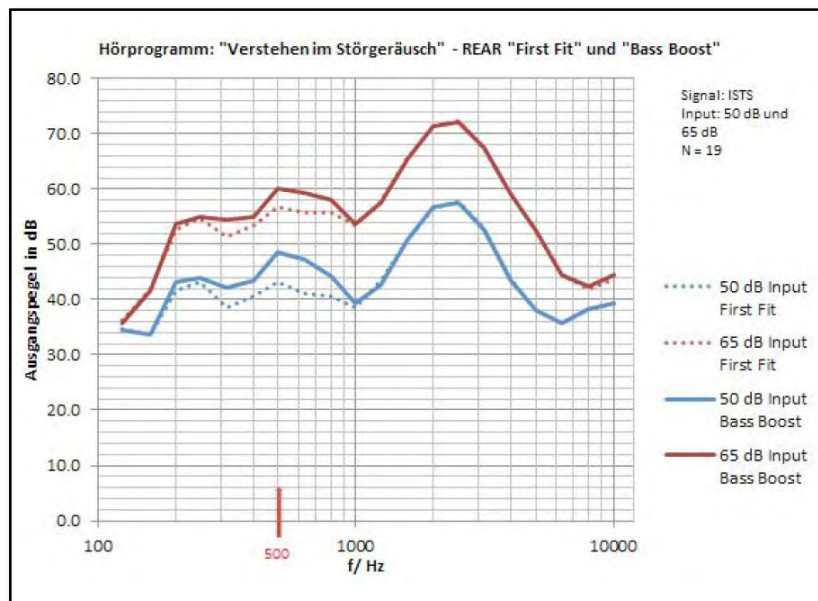


Abb. 4.2: Dargestellt sind die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse), in situ gemessenen Ausgangsschalldruckpegel in dB (SPL) (y-Achse) für die Hörprogramme 3 und 4 („Verstehen im Störgeräusch“). Die Ergebnisse der First-Fit-Einstellung (Hörprogramm 3) sind als gepunktete Kurven dargestellt, die der Bass-Boost-Einstellung (Hörprogramm 4) als durchgezogene Linien. Als Eingangssignal diente das ISTS bei Eingangspegeln von 50 dB (blaue Kurven) und 65 dB (rote Kurven).

Am höheren Ausgangsschalldruckpegel der Hörsystemeinstellung „Bass Boost“ im modifizierten Frequenzbereich um ca. 500 Hz ist die in der Fitting Software Target vorgenommene Anhebung der Verstärkung im Vergleich zum „First Fit“ gut zu erkennen.

Aus den ermittelten Werten der REARs wurde jeweils die Differenz der Hörsystemeinstellungen „First Fit“ gegenüber „Bass Boost“ ermittelt, welche in Abb. 4.3 für „Ruhige Umgebung“ und Abb. 4.4 für „Verstehen im Störgeräusch“ dargestellt sind. In Abb. 4.3 ist zu erkennen, dass im Hörprogramm „Ruhige Umgebung“ bei der Frequenz von 500 Hz und einem Eingangspegel von 50 dB eine mittlere zusätzliche Verstärkung von ca. 7,5 dB vorgenommen und toleriert wird. Dieser Wert stellt gleichzeitig auch den Spitzenwert dar. Bei einem Eingangspegel von 65 dB beträgt die im „Bass Boost“ gemessene zusätzliche Verstärkung ca. 4 dB. Der Spitzenwert des Mittelwertes liegt bei ca. 630 Hz und 6,2 dB. Der Grund, weshalb der Unterschied zwischen „First Fit“ und „Bass Boost“ bei einem Eingangspegel von 65 dB geringer ist als bei einem Eingangspegel von 50 dB, liegt darin, dass bei lauten Eingangspegeln (hier: 65 dB) eine höhere Kompression wirkt als bei leisen Eingangspegeln (hier: 50 dB). Leise Eingangspegel werden also mehr verstärkt als laute Eingangspegel, wodurch der Ausgangspegel des Hörsystems näher am Lautstärkepegel des Direktschalls liegt und von der DSC beeinflusst wird.

In den Hörprogrammen „Verstehen im Störgeräusch“ liegt die durch die Tieftonanhebung zusätzliche Verstärkung beim Eingangspegel von 50 dB bei ca. 5,4 dB. Der Spitzenwert liegt bei ca. 630 Hz und 6,2 dB. Beim Eingangspegel von 65 dB liegt die zusätzliche Verstärkung bei 500 Hz bei ca. 3,4 dB. Der Spitzenwert bei ca. 630 Hz und 3,7 dB.

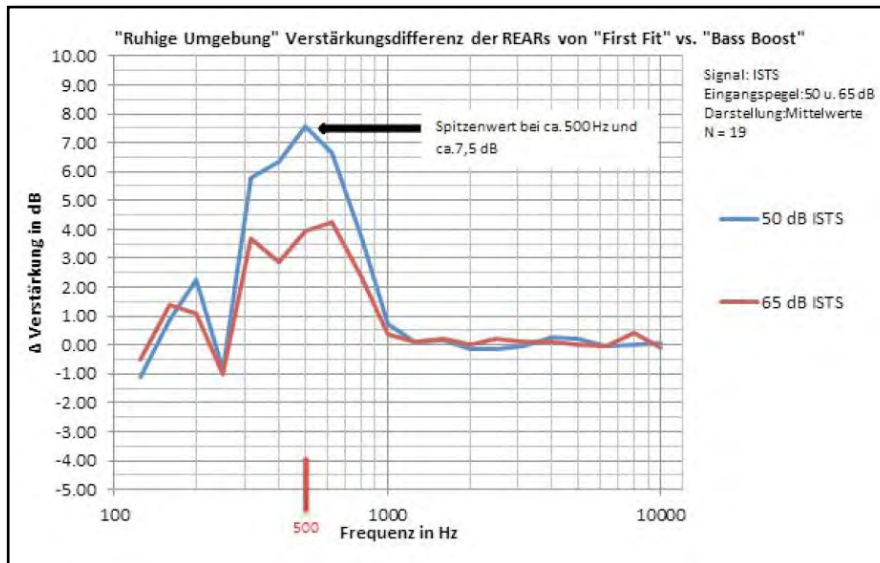


Abb. 4.3: Dargestellte Kurven zeigen die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse) Differenz der Verstärkung in dB (SPL) (y-Achse) zwischen den gemessenen REARs in den Hörprogrammen 1 und 2 („Ruhige Umgebung“) mit dem ISTS bei 50 dB und 65 dB.

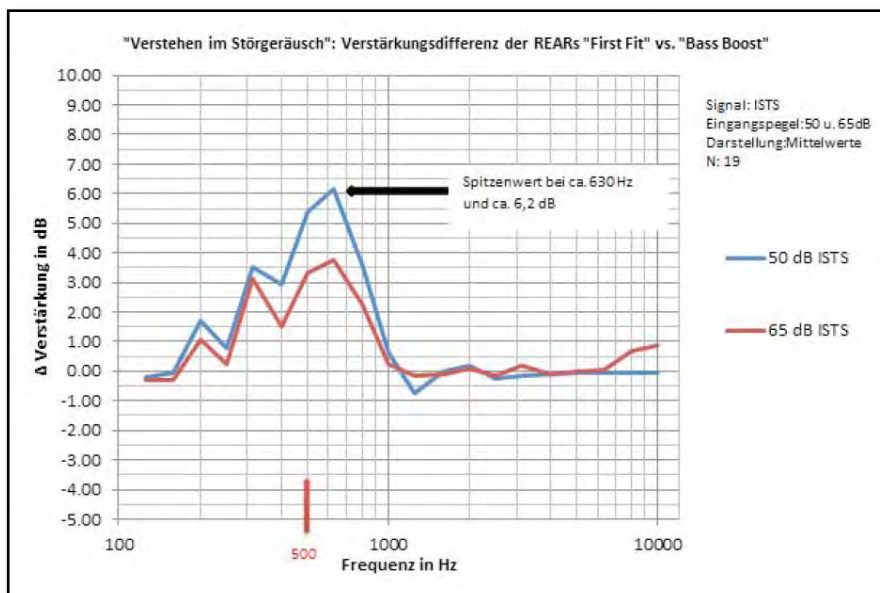


Abb. 4.4: Dargestellte Kurven zeigen die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse) Differenz der Verstärkung in dB (SPL) (y-Achse) zwischen den gemessenen REARs in den Hörprogrammen 3 und 4 („Verstehen im Störgeräusch“) mit dem ISTS bei 50 dB und 65 dB.

4.2 Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)

In diesem Kapitel erfolgt die statistische Auswertung der Ergebnisse des WAKO mit der Software „Statistica“.

Für die Auswertung der Messergebnisse des WAKO wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse (engl.: analysis of variance, ANOVA) mit Messwiederholungen durchgeführt. Die ANOVA überprüft, ob sich die Mittelwerte von zwei oder mehr Stichproben voneinander unterscheiden. Die mehrfaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen untersucht den Einfluss mehrerer unabhängiger Faktoren mit p verschiedenen Ausprägungen auf mehrere abhängige Variablen. Für die Auswertung des WAKO wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholungen gewählt (Tab. 4.1):

	Faktor	Faktorausprägungen (p)
1.	Sitzungen	Test u. Retest
2.	Kongurationen	„ohne HS“, „First Fit“, „Bass Boost“

Tab. 4.1: Übersicht der zwei Faktoren und der Faktorausprägungen der auf den WAKO angewendeten zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen.

Die Voraussetzungen für eine ANOVA sind, dass die Stichprobe randomisiert ist, es sich um unabhängige Messungen handelt, die Abweichungen vom Mittelwert der Stichprobe normalverteilt sind sowie dass gleiche Varianzen vorliegen [34]. Bei den vorliegenden Daten handelt es sich um Messergebnisse einer randomisierten Stichprobe (siehe Kapitel 3.3). Da die Messungen durch den Test und Retest abhängig sind, wird die ANOVA mit „Messwiederholungen“ verwendet. Die Messgrößen des WAKO sind wertemäßig begrenzt und quantisiert und somit nicht normalverteilt. Die Analyse der Daten mit dem Shapiro-Wilk-Test [31] zeigt jedoch, dass von einer annähernden Normalverteilung ausgegangen werden kann (siehe Anhang G). Sollten sich anhand der ANOVA signifikante Effekte zwischen FF und BB aufzeigen, werden die Daten nochmals mit einem nicht-parametrischen Test (vgl. Anhang H) analysiert. Für die Auswertung des WAKO wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ gewählt.

4.2.1 Test vs. Retest

Im weiteren Verlauf dieser Bachelorarbeit betrifft die Bezeichnung „Test“ die Messergebnisse der 1. Sitzung und die Bezeichnung „Retest“ die Ergebnisse der 2. Sitzung.

Abb. 4.5 zeigt die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aller 20 Testpersonen (N = 20) nach der 1. Sitzung (Test). Der Mittelwert ergibt sich durch das Aufsummieren der Messergebnisse aller Testpersonen und der anschließenden Division durch die Gesamtanzahl der Testpersonen. Das 95%-Konfidenzintervall zeigt den Bereich an, in welchem der Mittelwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % liegt [3]. Die mittlere Sprachdiskrimination aller Testpersonen lag in der Konfiguration „ohne HS“ bei 63 % und bei den Einstellungen „First Fit“ und „Bass Boost“ einheitlich bei 69 %.

Die auf die drei Konfigurationen angewendete ANOVA (Tab. 4.2) liefert einen p-Wert von $p = 0.083795$.

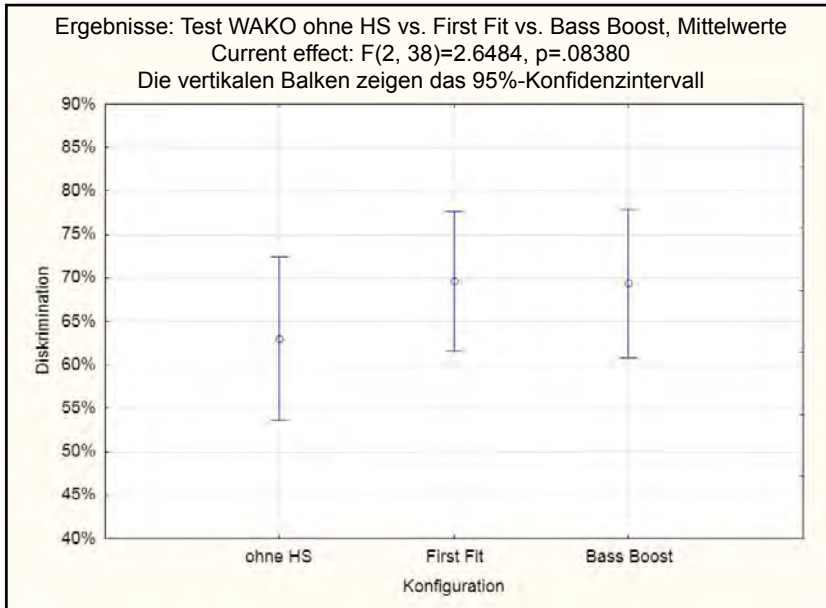


Abb. 4.5: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. Sitzung (Test) des WAKO für alle Testpersonen (N = 20).

	p
ohne HS vs. FF vs. BB	0.083795

Tab. 4.2: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Ergebnisse der drei Konfigurationen nach der 1. Sitzung (siehe Abb. 4.5).

Abb. 4.6 zeigt die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aller 20 Testpersonen (N = 20) nach der 2. Sitzung (Retest). Die mittlere Sprachdiskrimination aller Testpersonen lag in der Konfiguration „ohne HS“ bei 59 %, in der Konfiguration „FF“ bei 68 % und in der Konfiguration „BB“ bei 69 %.

Die Anwendung der ANOVA auf die drei Konfigurationen (Tab. 4.3) liefert hierfür einen p-Wert von $p = 0.003$.

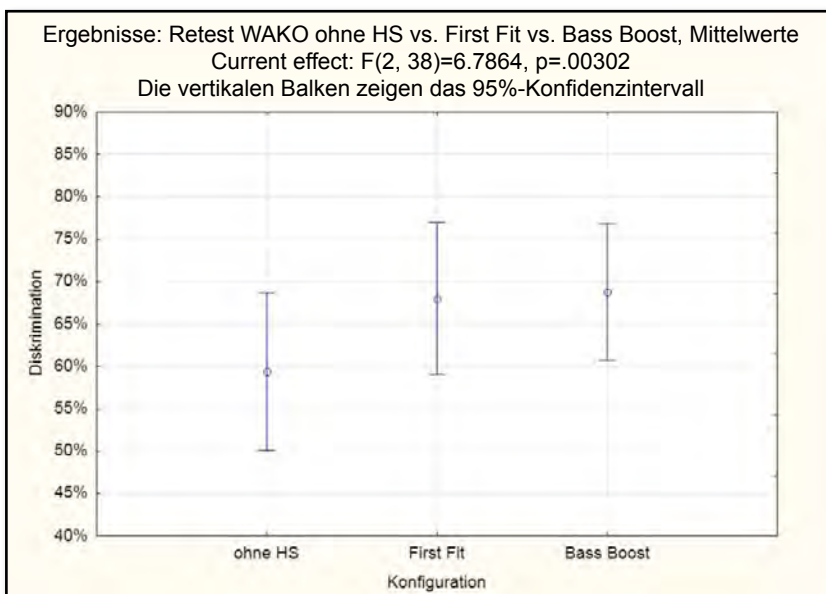


Abb. 4.6: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 2. Sitzung (Retest) des WAKO für alle Testpersonen (N = 20).

	p
ohne HS vs. FF vs. BB	0.003019

Tab. 4.3: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Ergebnisse der drei Konfigurationen nach der 2. Sitzung (siehe Abb. 4.6).

Abb. 4.7 stellt die Ergebnisse von Test und Retest gegenüber.

Das Ergebnis der ANOVA in Bezug auf „Test vs. Retest“ (Tab. 4.4) ergibt einen p-Wert von $p = 0.326908$. Da sich hier kein signifikanter Unterschied zeigt, dürfen die Ergebnisse aus Test und Retest zusammengefasst werden. Der Effekt des zweiten Faktors „ohne HS“ vs. „First Fit“ vs. „Bass Boost“ (Tab. 4.4) liefert einen p-Wert von $p = 0.003482$. Die Analyse in Bezug auf eine Interaktion zwischen den beiden Faktoren „Test und Retest“ und den drei Konfigurationen „ohne HS, FF und BB“ (Tab. 4.4) liefert einen p-Wert von $p = 0.70027$.

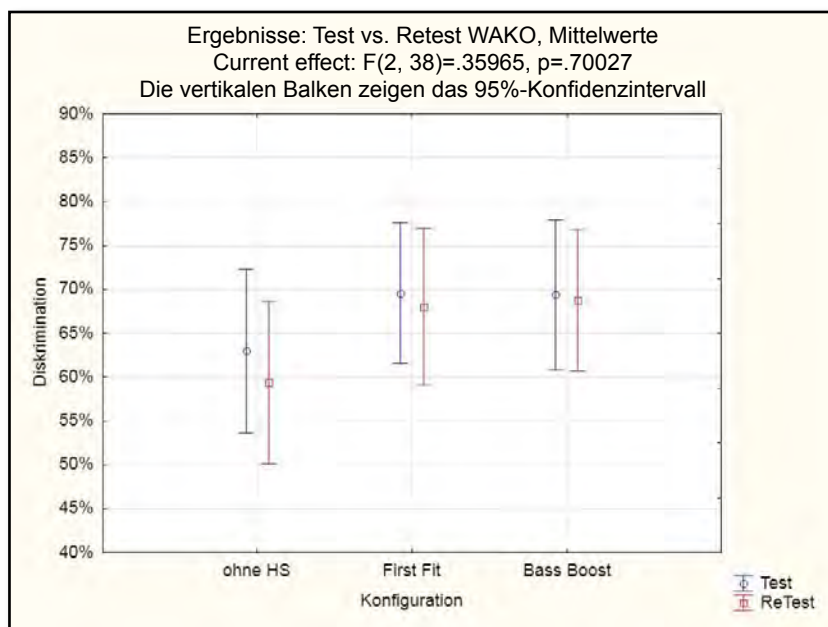


Abb. 4.7: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. und 2. Sitzung (Test und Retest) des WAKO für alle Testpersonen ($N = 20$).

	p
Test vs. Retest	0.326908
ohne HS vs. FF vs. BB	0.003482
Test u. Retest vs. ohne HS, FF u. BB	0.700268

Tab. 4.4: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Test- und Retest-Abhängigkeit, der Abhängigkeit der drei Konfigurationen untereinander sowie des Test- und Retest-Einflusses auf die Konfigurationen (siehe Abb. 4.7 u. 4.8).

Abb. 4.8 zeigt die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der zusammengefassten Ergebnisse von Test und Retest. Die Zahl der Messergebnisse pro Konfiguration hat sich auf 40 erhöht. In der Konfiguration „ohne HS“ ergibt sich bei der Betrachtung des Mittelwertes eine Sprachdiskrimination von 61 %, für die Konfigurationen „FF“ und „BB“ haben die Testpersonen jeweils eine Sprachdiskrimination von 69 % erreicht.

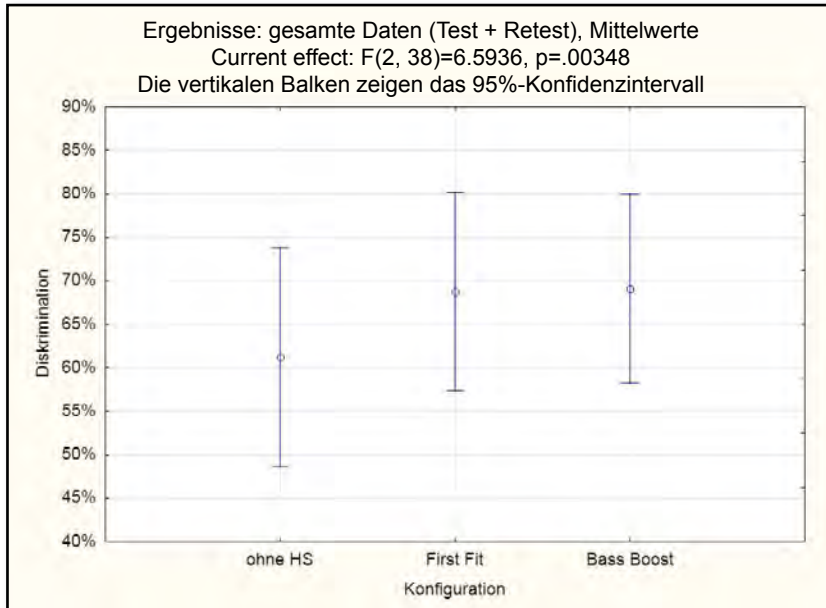


Abb. 4.8: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) der zusammengefassten Daten aus Test und Retest des WAKO (N = 20).

4.2.2 First Fit vs. Bass Boost

In Abb. 4.9 sind die Ergebnisse der Konfigurationen „FF“ und „BB“ gegenübergestellt. Wie zuvor in Abb. 4.8 zu sehen, liegt die Sprachdiskrimination für beide Konfigurationen bei 69 %. Der zweite Faktor der ANOVA hat hierbei die Ausprägungen „First Fit“ und „Bass Boost“. Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.5) auf „Test vs. Retest“ für diese beiden Konfigurationen liefert einen p-Wert von $p = 0.598559$. Auch die Anwendung der ANOVA auf die einzelnen Konfigurationen „First Fit vs. Bass Boost“ zeigt einen p-Wert von $p = 0.839402$, die Überprüfung auf eine Interaktion, also den Einfluss von Test und Retest auf die Konfigurationen, ergibt einen p-Wert von $p = 0.811421$.

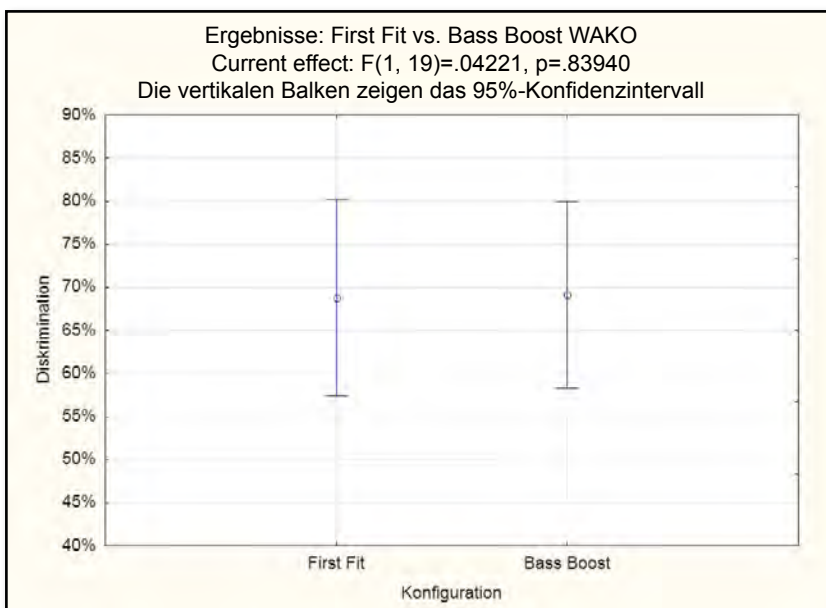


Abb. 4.9: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) aus den zusammengefassten Daten von Test und Retest des WAKO für die Konfigurationen (x-Achse) „First Fit“ und „Bass Boost“.

	p
Test vs. Retest	0.598559
FF vs. BB	0.839402
Test u. Retest vs. ohne HS, FF u. BB	0.811421

Tab. 4.5: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (Abb. 4.9).

4.3 Oldenburger Satztest (OLSA)

In diesem Kapitel erfolgt die statistische Auswertung der Ergebnisse des OLSA.

Bei den vorliegenden Daten handelt es sich wie beim WAKO um Messergebnisse einer randomisierten Stichprobe (siehe Kapitel 3.3). Da die Messungen durch den Test und Retest nicht unabhängig voneinander sind, wird die ANOVA mit Messwiederholungen verwendet. Die Messgrößen des OLSA sind wie die des WAKO wertemäßig begrenzt und quantisiert und somit nicht normalverteilt. Die Analyse der Messergebnisse des OLSA mit dem Shapiro-Wilk-Test [31] zeigt jedoch, dass davon ausgegangen werden kann, dass die Daten annähernd normalverteilt sind (Anhang G). Um bei der Vielzahl der gesammelten Daten einen schnellen Überblick über mögliche signifikante Effekte zu erhalten, wird trotz der lediglich annähernd normalverteilten Daten die ANOVA angewendet, da diese relativ robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilung ist. Ergebnisse, welche nach Anwendung der ANOVA Tendenzen zu einer Signifikanz zwischen FF und BB vermuten lassen, werden einzeln, anhand eines nicht-parametrischen Tests, dem Wilcoxon-Matched-Pair-Test, untersucht (Anhang H). Für die Auswertung des OLSA wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ gewählt.

	Faktor	Faktorausprägungen (p)
1.	Sitzungen	Test u. Retest
2.	Kongurationen	„ohne HS“, „First Fit“, „Bass Boost“

Tab. 4.6: Übersicht der zwei Faktoren und der Faktorausprägungen der auf den OLSA angewendeten zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen.

4.3.1 Test vs. Retest

Abb. 4.10 zeigt die Mittelwerte sowie das 95%-Konfidenzintervall aller 20 Testpersonen des OLSA nach der 1. Sitzung (Test). Angegeben ist der SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse).

In der Konfiguration „ohne HS“ liegt das Ergebnis bei einem SRT von -4,4 dB, in der Konfiguration „First Fit“ liegt der SRT bei -6,2 dB und im „Bass Boost“ bei -7 dB. Für die spätere Betrachtung der Ergebnisse der 2. Sitzung ist zu beachten, dass der Signalpegel des Störgeräusches „Cafeteria Noise“ in der 1. Sitzung bei konstanten 65 dB (A) lag, während dieser für die 2. Sitzung auf einen konstanten Pegel von 70 dB (A) kalibriert wurde. Die Genauigkeit der Kalibrierung lag bei ca. ± 1 dB.

Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.7) auf die Messergebnisse der drei Konfigurationen der 1. Sitzung führt zu einem p-Wert von $p = 0.000002$.

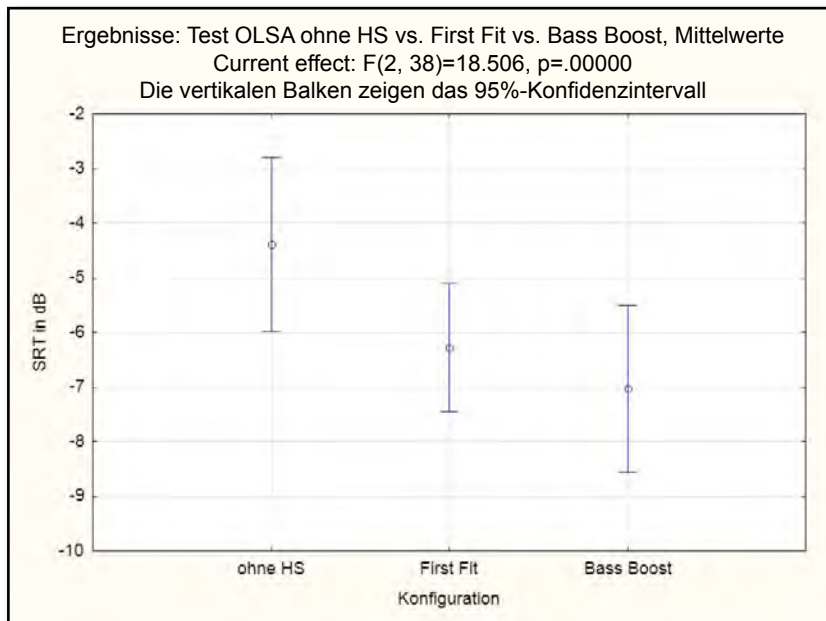


Abb. 4.10: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle des OLSA als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. Sitzung (Test) für alle 20 Testpersonen (N = 20).

	p
ohne HS vs. FF vs. BB	0.000002

Tab. 4.7: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Messergebnisse der 1. Sitzung des OLSA (Abb. 4.10)

Abb. 4.11 zeigt die Ergebnisse für die 2. Sitzung (Retest) an. Der Pegel des Störgeräusches wurde von 65 dB (A) aus der 1. Sitzung auf 70 dB (A) für die 2. Sitzung neu kalibriert. Die Genauigkeit der Kalibrierung lag bei ca. ± 1 dB.

In der Konfiguration „ohne HS“ liegt der ermittelte SRT bei -5,8 dB, für die Konfiguration „First Fit“ bei -7,6 dB und beim „Bass Boost“ bei -7,9 dB.

Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.8) auf die Messergebnisse der drei Konfigurationen der 2. Sitzung zeigt einen p-Wert von $p = 0.000049$ an.

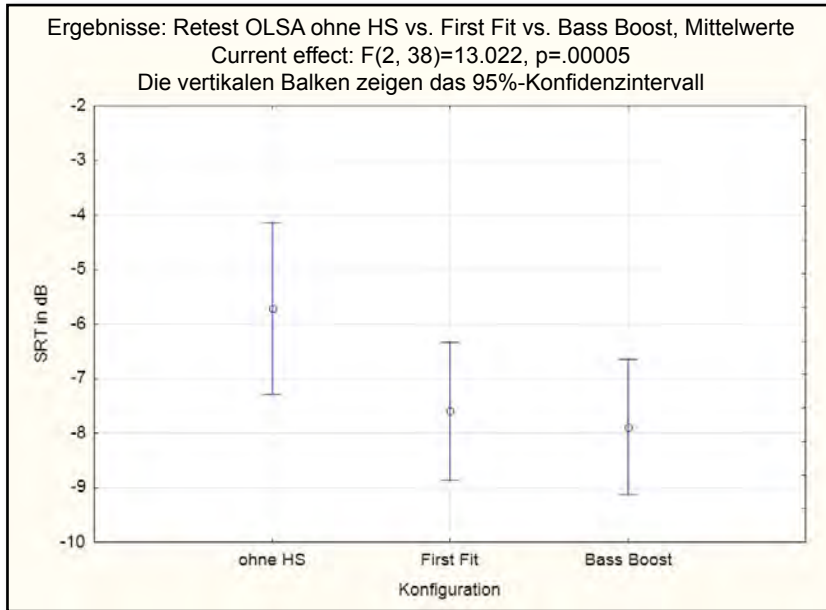


Abb. 4.11: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle des OLSA als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 2. Sitzung (Retest) für alle 20 Testpersonen (N = 20).

	p
ohne HS vs. FF vs. BB	0.000049

Tab. 4.8: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Messergebnisse der 2. Sitzung des OLSA (siehe Abb. 4.11).

In Abb. 4.12 sind die Ergebnisse von Test und Retest gegenübergestellt. Hierbei zeigt sich, dass die Mittelwerte des Retests über alle Konfigurationen um etwa 1 dB verschoben sind.

Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.9) zeigt einen p-Wert von $p = 0.007512$ beim Vergleich von Test und Retest an. Bezüglich der Konfigurationen untereinander liefert die ANOVA einen p-Wert von $p = 0.000001$. Die Untersuchung bezüglich einer Interaktion zwischen Test und Retest und die Konfigurationen ergibt einen p-Wert von $p = 0.498616$.

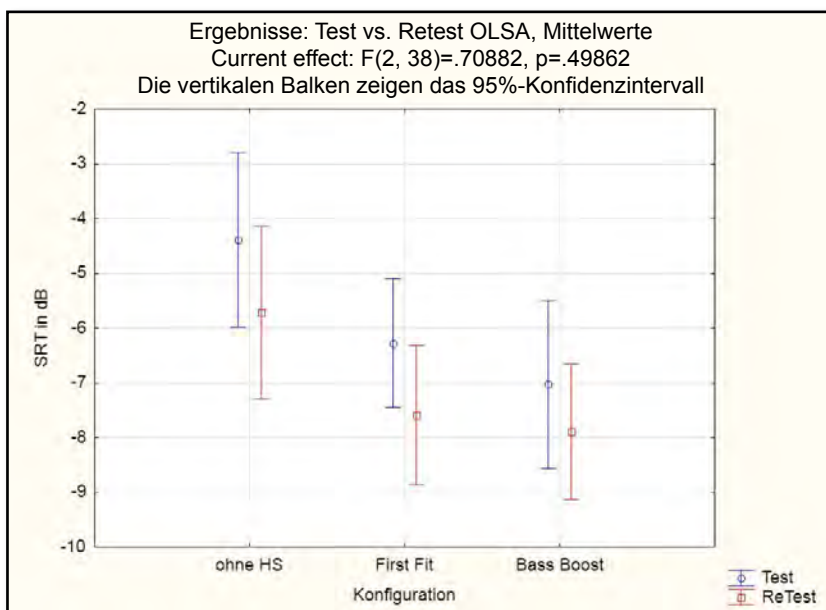


Abb. 4.12: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) von Test und Retest für alle Testpersonen (N = 20).

	p
Test vs. Retest	0.007512
ohne HS vs. FF vs. BB	0.000001
Test u. Retest vs. ohne HS, FF u. BB	0.498616

Tab. 4.9: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (Abb. 4.12).

Aufgrund des signifikanten Unterschieds zwischen Test und Retest ($p = 0.007512$, siehe Tab. 4.9) dürfen die Daten nicht zusammengelegt werden. Für den weiteren Verlauf der Auswertung erfolgt dennoch ein Zusammenfassen der Daten von Test und Retest, da sich die Differenz von 1 dB über alle Konfigurationen erstreckt und angenommen wird, dass die Differenz aufgrund der neuen Kalibrierung des Störgeräusches von 65 dB (A) in der 1. Sitzung auf 70 dB (A) in der 2. Sitzung mit einer Genauigkeit von ca. ± 1 dB für die Abweichung verantwortlich ist. Zudem könnte ein eintretender Lerneffekt oder der Hinweis an die Testpersonen, dass sich der Lautstärkepegel des Störgeräusches erhöht hat, Ursache dieser Abweichung sein.

Durch das Zusammenfassen der Messergebnisse von Test und Retest ergeben sich für jede Konfiguration insgesamt 40 Messergebnisse. Die Mittelwerte der SRTs liegen für die Konfigurationen „ohne HS“ bei -5 dB, „First Fit“ bei -7 dB und „Bass Boost“ bei -7,5 dB (Abb. 4.13).

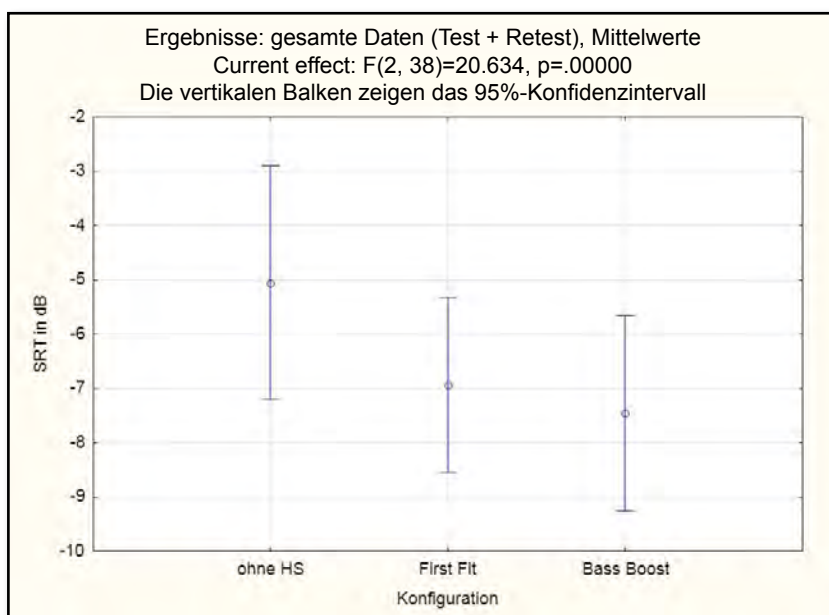


Abb. 4.13: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) der zusammengefassten Daten aus Test und Retest des OLSA ($N = 20$).

4.3.2 First Fit vs. Bass Boost

Abb. 4.14 stellt die Ergebnisse der Konfigurationen „First Fit“ und „Bass Boost“ in einer gesonderten Grafik gegenüber. Der zusätzliche Nutzen (engl. „benefit“) mit der Konfiguration „Bass Boost“ liegt im Vergleich zur Konfiguration „First Fit“ im Bereich von ca. 0,5 dB.

Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.10) ergibt beim Vergleich von Test und Retest einen p-Wert von $p = 0.015263$. Aus bereits erwähnten Gründen erfolgt dennoch die Zusam-

menlegung der Daten. Beim Betrachten der Konfigurationen „First Fit“ und „Bass Boost“ untereinander liefert die ANOVA einen p-Wert von $p = 0.061090$. Da der mit der ANOVA ermittelte p-Wert nur sehr knapp über dem Signifikanzniveau liegt, werden die Daten zur genaueren Abklärung nochmals mit dem nicht-parametrischen Wilcoxon-Matched-Pair-Test analysiert, hierbei ergibt sich ein p-Wert von $p = 0.026498$ (siehe Anhang H). Die Untersuchung im Hinblick auf die Abhängigkeit von Test und Retest auf die Konfigurationen ergibt $p = 0.382644$.

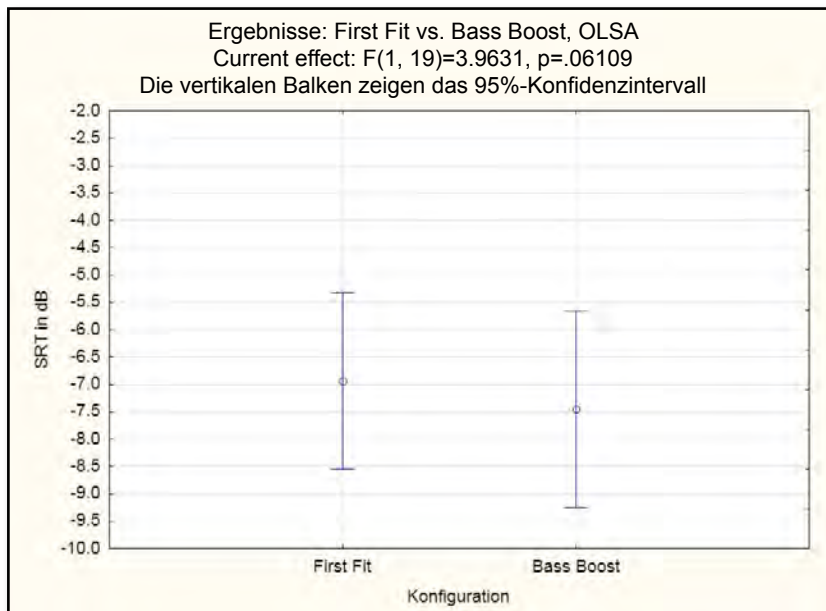


Abb. 4.14: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) der zusammengefassten Daten von Test und Retest in Abhängigkeit zu den Konfigurationen „First Fit“ und „Bass Boost“ ($N = 20$).

	p
Test vs. Retest	0.015263
FF vs. BB	0.061090
Test u. Retest vs. FF u. BB	0.382644

Tab. 4.10: Darstellung der Messergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (siehe Abb. 4.14).

4.4 Sound-Parcours und Fragebogen

In diesem Kapitel erfolgt die Auswertung der anhand des Fragebogens im Rahmen des Sound-Parcours gesammelten subjektiven Bewertungen der Testprobanden.

Die Auswertung erfolgt anhand einer mehrfaktoriellen ANOVA sowie des einseitigen T-Tests, welcher im späteren Verlauf dieser Arbeit genauer beschrieben wird. Die Messgrößen des Fragebogens sind wie die des OLSA und WAKO wertemäßig begrenzt und quantisiert und somit nicht normalverteilt. Die Analyse der Messergebnisse im Hinblick auf die Abweichung von der Normalverteilung mit dem Shapiro-Wilk-Test (Anhang G) zeigt, dass die erhobenen Daten des Fragebogens stark abweichen. Da die ANOVA jedoch relativ robust gegenüber der Verletzung der Normalverteilung ist, eignet sie sich gut, um einen schnellen Überblick über die Vielzahl an gesammelten Daten zu geben und Tendenzen

zu möglichen signifikanten Unterschieden aufzuzeigen. Sollte die ANOVA einen signifikanten Unterschied ergeben, wird dieser anhand eines nicht-parametrischen Tests, dem Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (siehe Anhang K), auf seine Beständigkeit geprüft werden. Für die Auswertung des Fragebogens wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ gewählt.

Für die unterschiedlichen Hörsituationen werden im weiteren Verlauf folgende Kürzel verwendet:

eS = eigene Stimme

SiR = Sprache in Ruhe

SiStr = Sprache im Störgeräusch – Straßenlärm

SiPar = Sprache im Störgeräusch – Partylärm

MuZi = Musik in Zimmerlautstärke

MuLaDy = Musik – laut und dynamisch

Die Absolutskalen, bei welchen eine Bewertung von „5“ bis „5“ erfolgt (siehe Abb. 3.15), wurden für die Auswertung in die Form von -5 bis +5 transformiert. Zudem wurde für die Auswertung die Bezeichnung der Hörprogramme von „Programm 1“ in „First Fit“ (FF) sowie „Programm 2“ in „Bass Boost“ (BB) umbenannt.

Da an der Beurteilung der Situation „halliges Treppenhaus“ nicht alle Testpersonen teilgenommen haben (N = 16), erfolgt die Auswertung dieser Hörsituation gesondert am Ende dieses Kapitels.

Die Grafiken zeigen jeweils die Mittelwerte der Antworten. Die vertikalen Balken zeigen das 95%-Konfidenzintervall an.

Abb. 4.15 zeigt die Bewertung der Gesamtlautstärke (y-Achse) für die Hörprogramme „First Fit“ und „Bass Boost“ in Abhängigkeit zur Hörsituation (x-Achse). Hat die Testperson das jeweilige Hörprogramm als „viel zu leise“ empfunden, wurde das Kreuz bei „-5“ gesetzt. Hat die Testperson das jeweilige Programm als „viel zu laut“ empfunden, wurde das Kreuz bei „5“ gesetzt. Wurde die Gesamtlautstärke als „angenehm“ empfunden, wurde das Kreuz bei „0“ gesetzt. Die Gewichtung in die jeweilige Richtung konnte in 0.2-Schritten vorgenommen werden.

Die Gesamtlautstärke der „eigenen Stimme“ wurde hierbei im Hörprogramm FF mit 0.1 und im Hörprogramm BB mit 0.2 bewertet. In der Hörsituation „Sprache in Ruhe“ wurde die Gesamtlautstärke in beiden Hörprogrammen mit 0 bewertet. Bei der Bewertung von „Sprache im Störgeräusch – Straßenlärm“ lagen die Antworten der Testpersonen im Mittel bei FF = -0.4 sowie BB = -0.5. Bei „Sprache im Störgeräusch – Partylärm“ lagen diese bei FF = -1 und BB = -0.8. In den Hörsituationen, in denen Musik dargeboten wurde, lagen

die Antworten im Mittel bei FF = 1.4 sowie BB = 1.5 für die Hörsituation „Musik in Zimmerlautstärke“ und für die Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ bei FF = 1 und BB = 1. Die auf die Ergebnisse angewendete ANOVA (Tab. 4.11) ergibt in Bezug auf „First Fit vs. Bass Boost“ einen p-Wert von $p = 0.201450$. Der Einfluss der Hörsituation auf die Konfigurationen ergibt $p = 0.766465$.

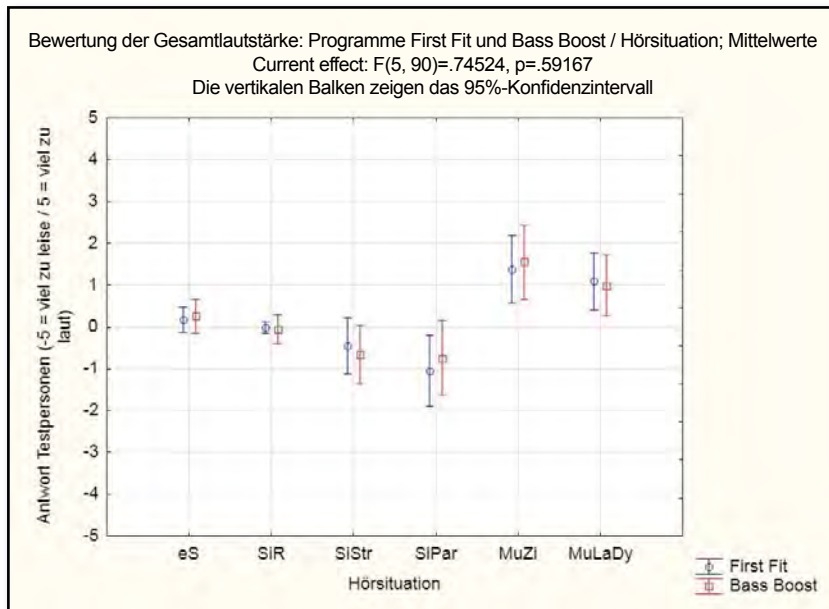


Abb. 4.15: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen anhand des im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogens. Die Gewichtung (-5 = viel zu leise / 5 = viel zu laut) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.201450
Hörsituation vs. FF u. BB	0.766465

Tab. 4.11: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die von der Hörsituation abhängigen Bewertungen der Gesamtlautstärke der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.15).

Abb. 4.16 zeigt die Antworten der Testpersonen bei der Frage nach der Bevorzugung der Hörprogramme bezüglich der Gesamtlautstärke in den jeweiligen Hörsituationen. Wurde das Hörprogramm „First Fit“ bevorzugt, erfolgte die Gewichtung zwischen 0 bis -5. Bei der Bevorzugung des Hörprogramms „Bass Boost“ erfolgte die Gewichtung zwischen 0 und 5. Die Hörsituationen wurden hierbei mit eS = -0.6, SiR = -0.9, SiStr = -0.1, SiPar = -0.3, MuZi = -0.2 sowie MuLaDy = 0.5 bewertet. Die ANOVA zeigt einen p-Wert von $p = 0.26454$ zwischen den Hörsituationen an.

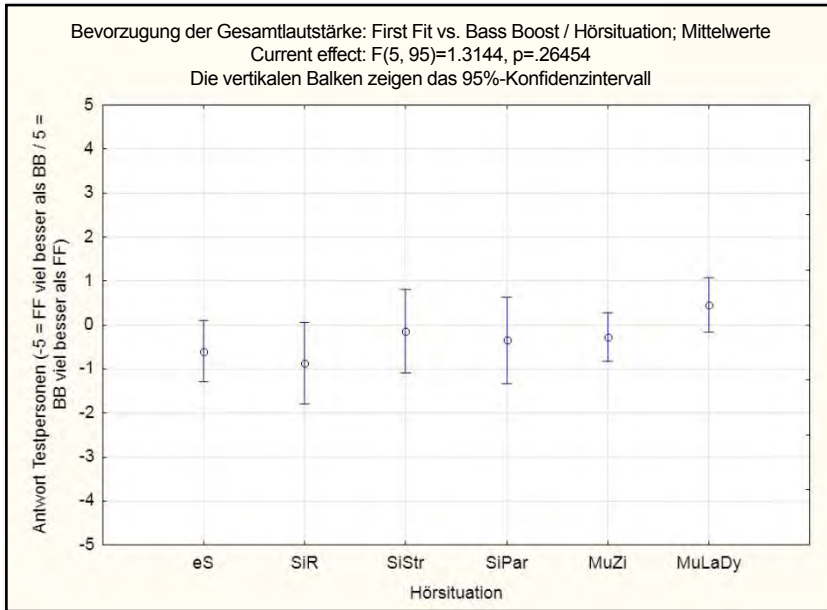


Abb. 4.16: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Gesamtlautstärke bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen sechs Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Abb. 4.17 zeigt die Bewertung der Natürlichkeit (x-Achse) für die Hörprogramme „First Fit“ und „Bass Boost“ in Abhängigkeit zur Hörsituation (y-Achse). Hat die Testperson im jeweiligen Programm sowie in der jeweiligen Hörsituation den Klang des Hörsystems als „sehr unnatürlich“ empfunden, wurde das Kreuz bei „0“ gesetzt. Wurde der Klang als „sehr natürlich“ empfunden, wurde das Kreuz bei „10“ gesetzt. Die Beurteilung konnte mit einer Genauigkeit von 0.2 erfolgen.

Die Bewertung der Natürlichkeit ergab für die Hörsystemeinstellung FF: eS = 7.8, SiR = 8, SiStr = 7.9 und SiPar = 7.5. Für die Hörsystemeinstellung BB ergaben sich die Werte: eS = 6, SiR = 7.8, SiStr = 7.1 sowie SiPar = 7.4.

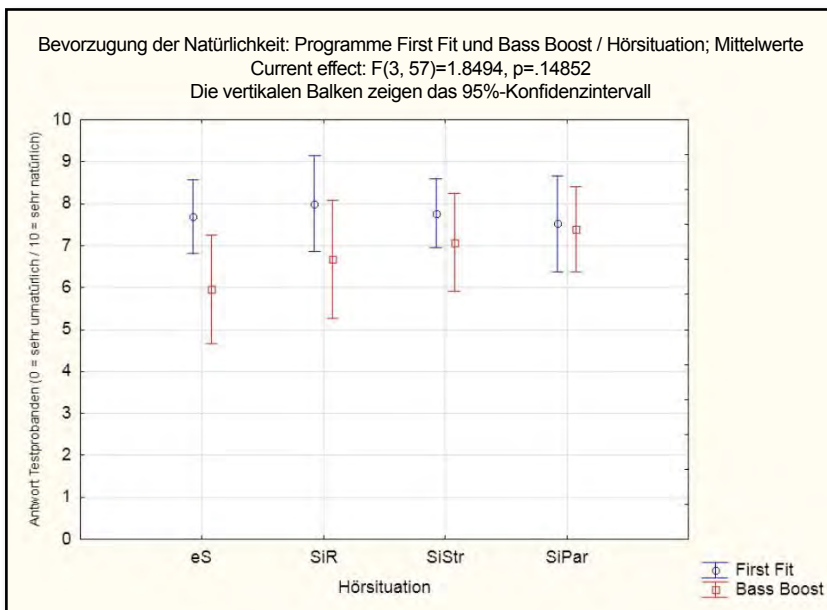


Abb. 4.17: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Natürlichkeit (y-Achse). Die vier Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.003521
Hörsituation	0.630092
Hörsituation vs. FF u. BB	0.148516

Tab. 4.12: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Natürlichkeit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.17).

Die Anwendung der ANOVA auf diese Ergebnisse ergibt bei der Gegenüberstellung von FF und BB einen p-Wert von $p = 0.003521$ (Tab. 4.12). Zwischen den Hörsituationen liefert die ANOVA einen p-Wert von $p = 0.630092$, die Prüfung auf Interaktion zwischen Hörsituation und Hörprogrammen ergibt einen p-Wert von $p = 0.148516$. Für die Hörsituation eS und SiR wurde zusätzlich ein nicht-parametrischer Test angewendet (siehe Anhang K). Dieser ergibt für die Hörsituation eS zwischen FF und BB einen p-Wert von $p = 0.022910$ sowie für die Hörsituation SiR einen p-Wert von $p = 0.059740$ (vgl. Abb. K.1 und Abb. K.2).

Abb. 4.18 zeigt die auf die Natürlichkeit bezogene Bevorzugung der Hörprogramme in Abhängigkeit zur Hörsituation. Die Bewertung der Testpersonen lag hierbei im Mittel bei eS = -1.2, SiR = -1.2, SiStr = -0.5 und SiPar = -0.3. Die ANOVA zeigt einen p-Wert von $p = 0.35261$ zwischen den Hörsituationen an.

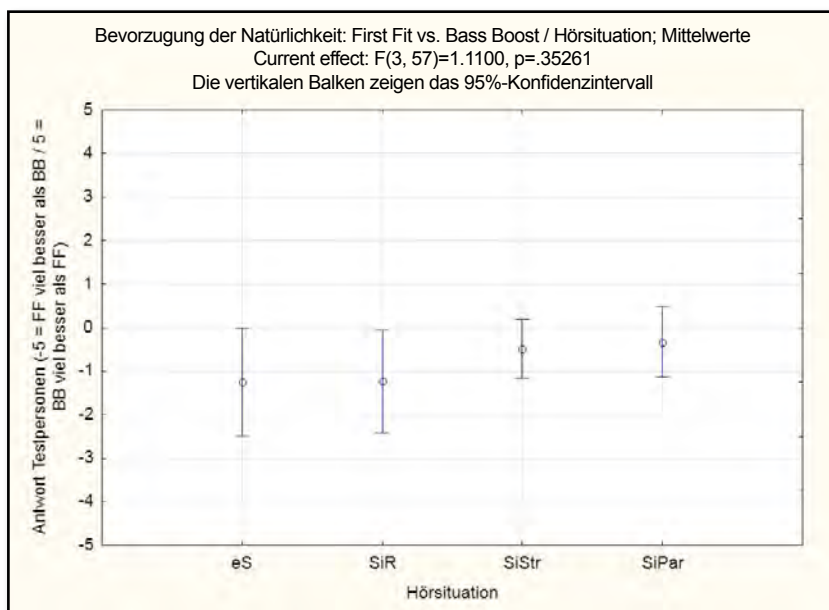


Abb. 4.18: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Natürlichkeit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Für die Hörsituationen „Musik in Zimmerlautstärke“ sowie „Musik – laut und dynamisch“ sollte anstelle der Natürlichkeit die Klangqualität bewertet werden (Abb. 4.19). Dies ergab für das Hörprogramm FF in den Hörsituationen MuZi = 8 und MuLady = 7.8. Für das Hörprogramm BB MuZi = 8.1 und MuLaDy = 8.5. Die Anwendung der ANOVA (Tab. 4.13) auf die Unterschiede zwischen den Hörprogrammen liefert einen p-Wert von $p = 0.091559$ sowie einen p-Wert von $p = 0.990487$ zwischen den Hörsituationen. Das Ergebnis der

Prüfung der Interaktion zwischen der Hörsituation und den Hörprogrammen liegt bei $p = 0.146542$.

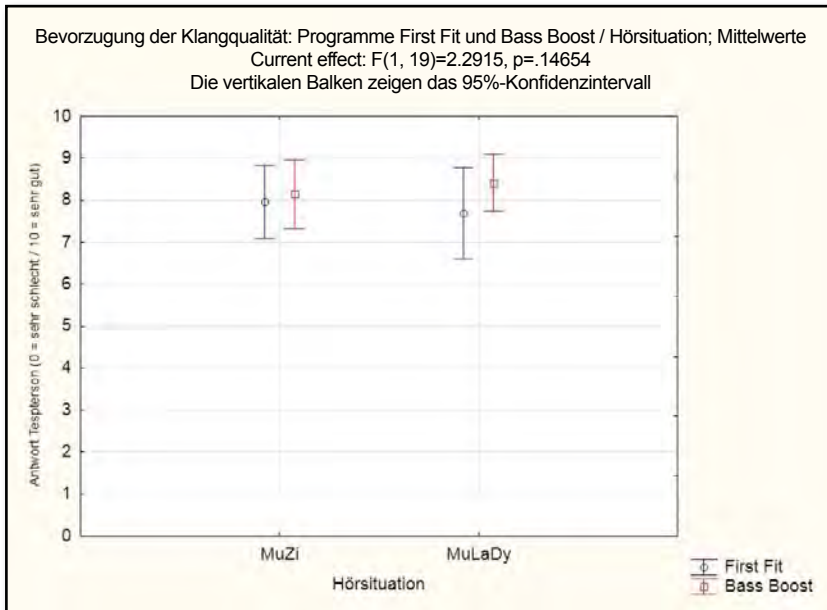


Abb. 4.19: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Klangqualität (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.091559
Hörsituation	0.990487
Hörsituation vs. FF u. BB	0.146543

Tab. 4.13: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Klangqualität der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.19).

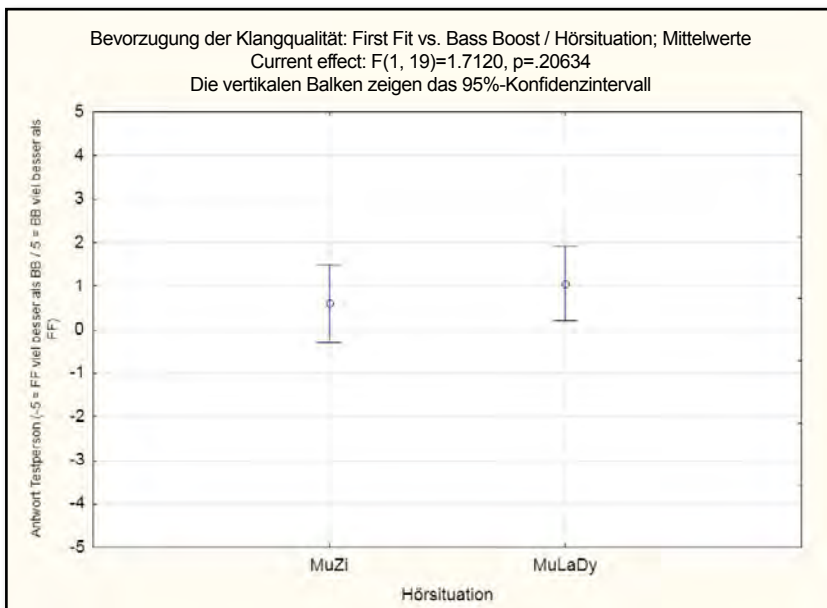


Abb. 4.20: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Klangqualität bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Abb. 4.20 zeigt die Ergebnisse für die Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms im Hinblick auf die Klangqualität an. Im Mittel wurde hierbei das Hörprogramm MuZi mit 0.6 und das Hörprogramm MuLaDy mit 1.1 bewertet. Die ANOVA zeigt einen p-Wert von $p = 0.20634$ zwischen den Hörsituationen an.

Abb. 4.21 zeigt die Bewertung bezüglich der Schrällheit der Hörprogramme für fünf unterschiedliche Hörsituationen. Hierbei wird das Hörprogramm FF wie folgt bewertet: SiR = 8.9, SiStr = 8.3, SiPar = 7.2, MuZi = 8.4 und MuLaDy = 7.1. Für das Hörprogramm BB ergeben sich im Mittel die Bewertungen SiR = 8.2, SiStr = 8.1, SiPar = 6.8, MuZi = 8.3 sowie MuLaDy = 8.

Die ANOVA (Tab. 4.14) ergibt einen p-Wert von $p = 0.720096$ zwischen den Hörprogrammen. Zwischen den Hörsituationen ergibt sich ein p-Wert von $p = 0.038368$. Die Betrachtung der Interaktion zwischen den verschiedenen Hörsituationen und den Hörprogrammen liefert einen p-Wert von $p = 0.074364$.

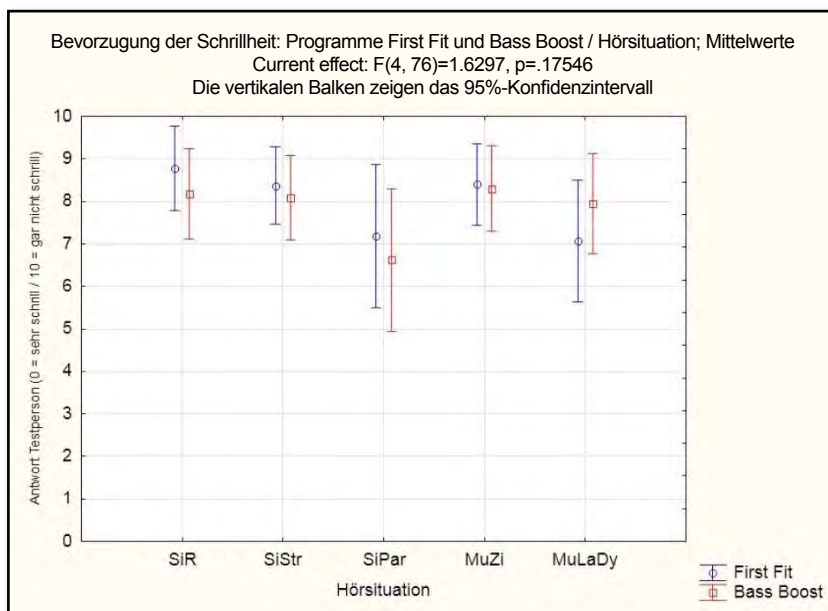


Abb. 4.21: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Schrällheit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.720096
Hörsituation	0.038368
Hörsituation vs. FF u. BB	0.074364

Tab. 4.14: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Schrällheit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.21).

Abb. 4.22 zeigt, welches Hörprogramm von den Testpersonen bezüglich der Schrällheit im Mittel bevorzugt wurde. Für die jeweilige Hörsituation ergibt sich hierbei: SiR = -0.9, SiStra = -0.5, SiPar = -0.3, MuZi = 0.3 sowie MuLaDy = 1.

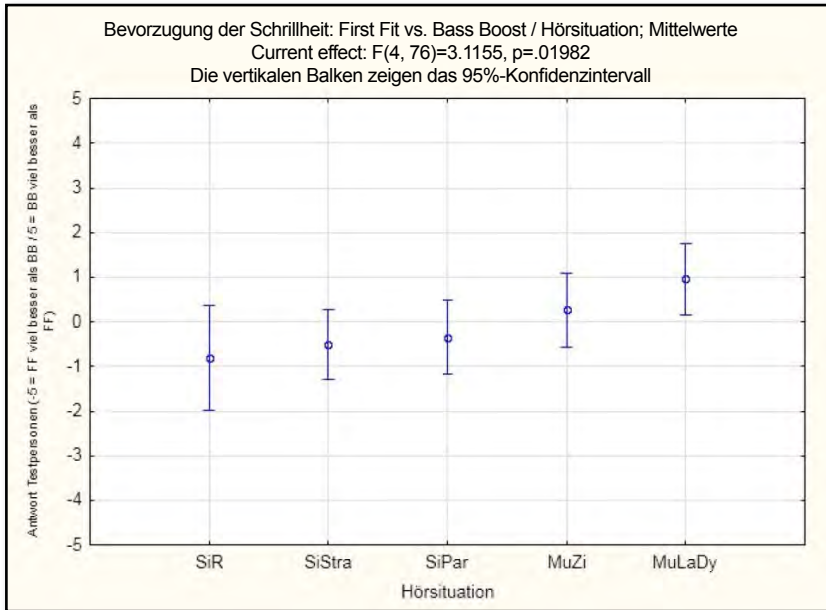


Abb. 4.22: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Schrillheit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Abb. 4.23 zeigt die Ergebnisse bei der Befragung nach der Dumpfheit. Das Hörprogramm FF wurde dabei mit SiR = 8.4, SiStr = 8.8, SiPar = 8.2, MuZi = 8.5 und MuLaDy = 9.1 bewertet, während das Hörprogramm BB mit SiR = 7.2, SiStr = 7.9, SiPar = 8.1, MuZi = 8.6 und MuLaDy = 9.2 bewertet wurde.

Die ANOVA (Tab. 4.15) zeigt für den Vergleich der Hörprogramme untereinander einen p-Wert von $p = 0.045431$. Zwischen den Hörsituationen ergibt sich ein p-Wert von $p = 0.022510$. Bei der Betrachtung der Interaktion zwischen der Hörsituation und den Hörprogrammen liefert die ANOVA einen p-Wert von $p = 0.011844$. Für die Hörsituation SiR und SiStra wurde zusätzlich ein nicht-parametrischer Test angewendet (siehe Anhang K). Dieser ergibt für die Hörsituation SiR zwischen FF und BB einen p-Wert von $p = 0.006911$ sowie für die Hörsituation SiStra einen p-Wert von $p = 0.128191$ (vgl. Abb. K.3 und Abb. K.4).

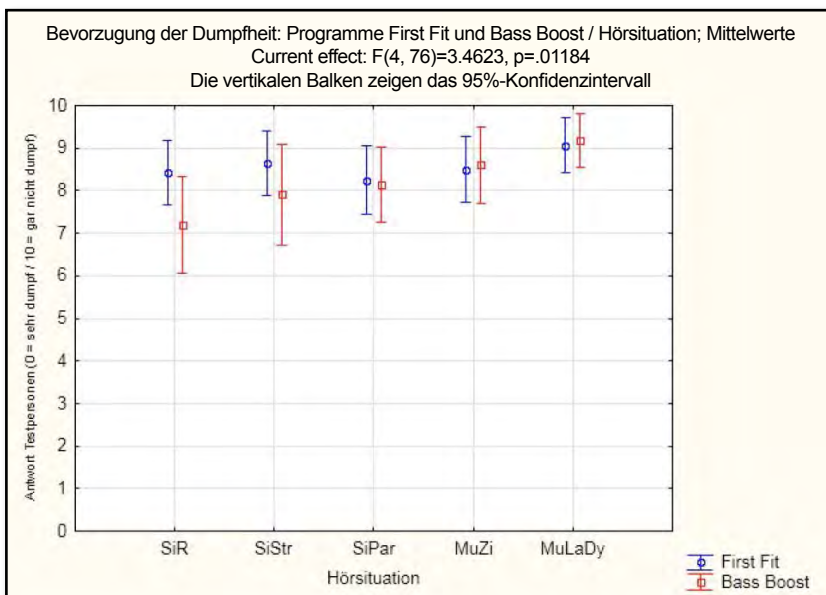


Abb. 4.23: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Dumpfheit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.045431
Hörsituation	0.022510
Hörsituation vs. FF u. BB	0.011844

Tab. 4.15: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Dumpfheit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.23).

Die Frage nach der Bevorzugung der Hörprogramme in Bezug auf die Dumpfheit in den verschiedenen Hörsituationen (Abb. 4.24) ergibt: SiR = -0.8, SiStra = -0.8, SiPar = -0.3, MuZi = 0.3 sowie MuLaDy = 0.4.

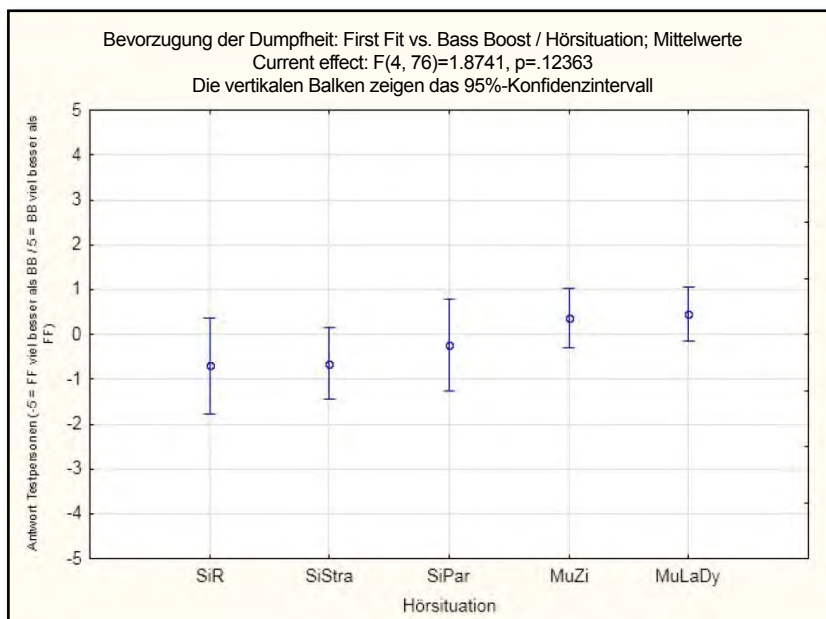


Abb. 4.24: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Dumpfheit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Abb. 4.25 zeigt das Ergebnis der Bewertung der Sprachverständlichkeit. Im Hörprogramm FF liegen die mittleren Antworten der Testpersonen bei SiR = 9.1, SiStr = 7.9 und SiPar = 6.8. Für das Hörprogramm BB liegen diese bei SiR = 8.9, SiStr = 7.8 sowie SiPar = 6.9. Die ANOVA (Tab. 4.16) zeigt einen p-Wert von $p = 0.577561$ zwischen den Hörprogrammen an. Zwischen den Hörsituationen ergibt sich ein p-Wert von $p = 0.002622$. In Bezug auf die Interaktion zwischen der Hörsituationen und den Hörprogrammen ergibt die ANOVA einen p-Wert von $p = 0.200502$.

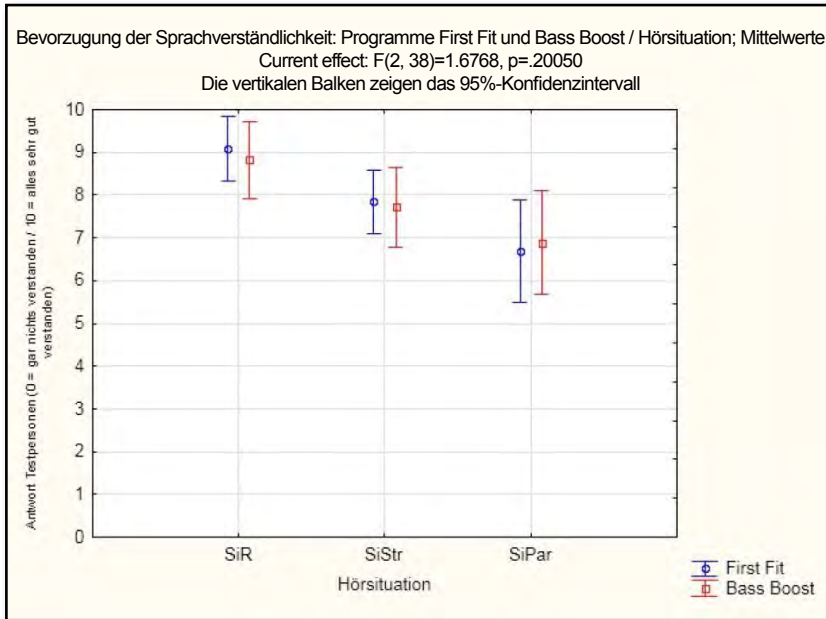


Abb. 4.25: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Sprachverständlichkeit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.577561
Hörsituation	0.002622
Hörsituation vs. FF u. BB	0.200502

Tab. 4.16: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Sprachverständlichkeit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.25).

Die Frage nach der Bevorzugung (Abb. 4.26) der Hörprogramme im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit pro Hörsituation ergibt für SiR = -0,5, SiStr = -0,5 und SiPar = -0,3.

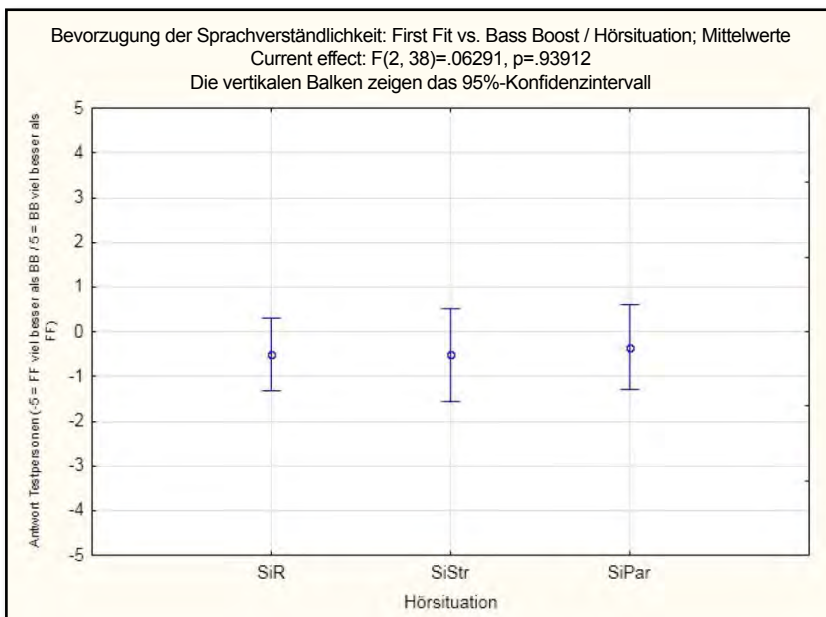


Abb. 4.26: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen.

Abb. 4.27 zeigt die Bewertung der Halligkeit in der Hörsituation „eigene Stimme“. Zu beachten ist, dass im Gegensatz zu den vorherigen Grafiken auf der x-Achse nun die Hörprogramme angezeigt sind. Das Hörprogramm FF wird von den Testpersonen mit 7 bewertet, das Hörprogramm BB mit 5.9.

Die ANOVA (Tab. 4.17) liefert für die Bewertung der Halligkeit in der Hörsituation „eigene Stimme“ einen p-Wert von $p = 0.234710$ zwischen den Hörprogrammen.

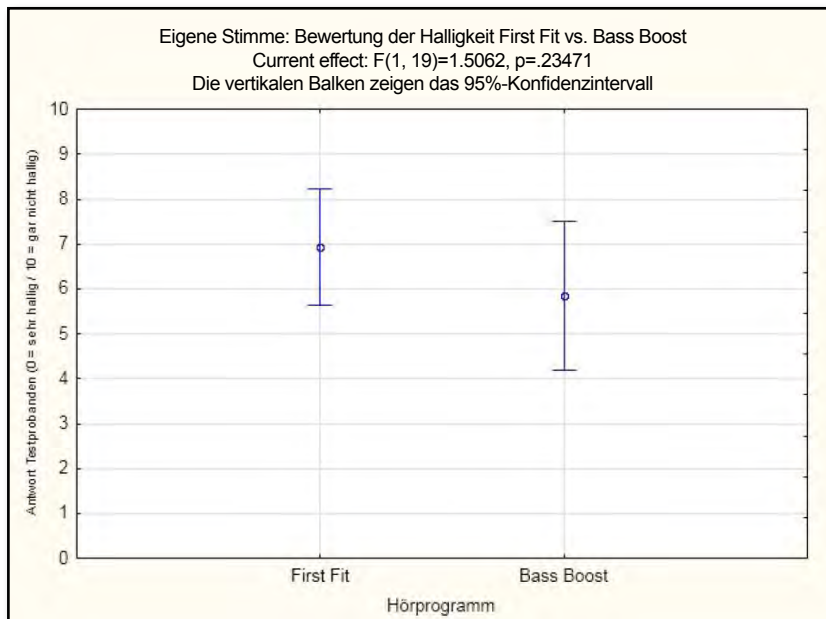


Abb. 4.27: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Halligkeit der eigenen Stimme bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (0 = sehr hallig / 10 = gar nicht hallig) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörprogramme sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.234710

Tab. 4.17: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Halligkeit der eigenen Stimme und der beiden Hörprogramme (Abb. 4.27).

Zum Ende einer jeden Hörsituation erfolgte eine allgemeine Bewertung der Hörprogramme. Hierbei musste sich die Testperson entscheiden, ob ein Hörprogramm, unter Berücksichtigung aller gesammelten Eindrücke, in der betreffenden Hörsituation bevorzugt wurde.

Abb. 4.28 zeigt an, welches Hörprogramm in der jeweiligen Hörsituation unter Berücksichtigung aller Einflüsse bevorzugt wurde. Hierbei wurden die Hörsituationen mit $eS = -0.5$, $SiR = -0.8$, $SiStr = -1$, $SiPar = -0.2$, $MuZi = 0.2$ sowie $MuLaDy = 1.2$ bewertet.

Die ANOVA (Tab. 4.18) ergibt für den Vergleich der Hörsituationen einen p-Wert von $p = 0.004673$.

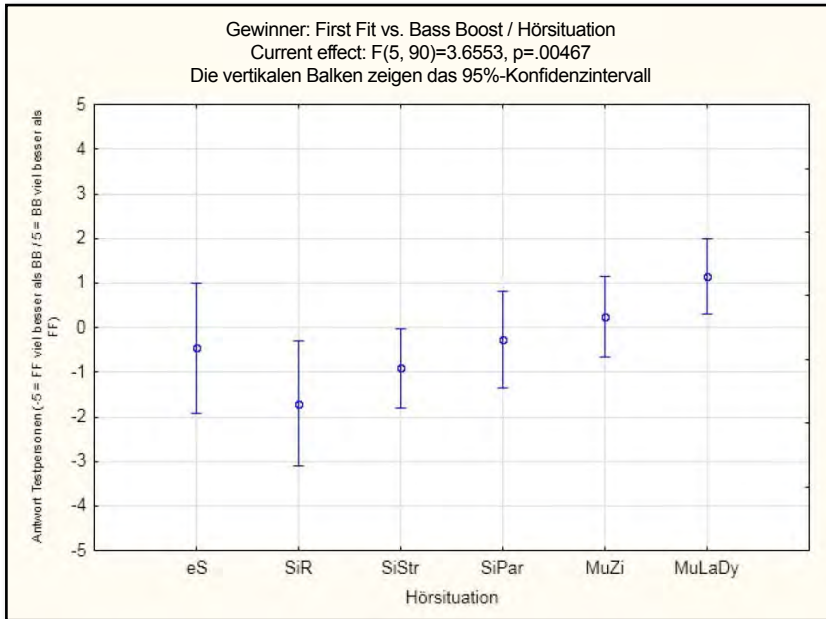


Abb. 4.28: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Bevorzugung der Hörprogramme im Hinblick auf alle gesammelten Eindrücke einer Hörsituation (x-Achse).

Hörsituationen	p
	0.004673

Tab. 4.18: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die sechs unterschiedlichen Hörsituationen (siehe Abb. 4.28).

Da nicht alle Testpersonen an der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ teilnehmen konnten, erfolgt diese Auswertung, wie zu Beginn erwähnt, separat. Insgesamt nahmen 16 Testpersonen (N = 16) von insgesamt 20 Testpersonen (N = 20) an der Beurteilung der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ teil.

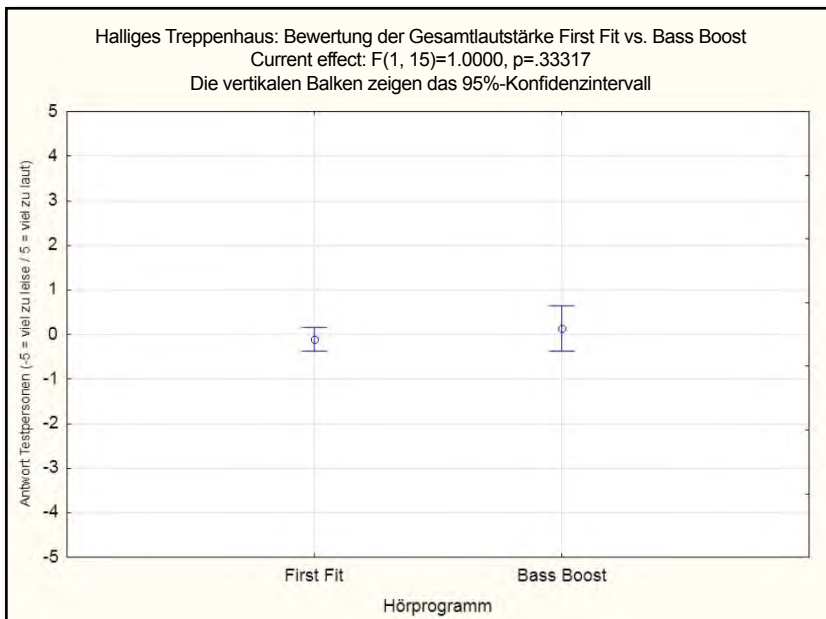


Abb. 4.29: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Beurteilung der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhaus in Bezug zum Hörprogramm (x-Achse).

Abb. 4.29 zeigt die Bewertung der Gesamtlautstärke in der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ für die einzelnen Hörprogramme. Dabei wird das Hörprogramm FF mit -0.1 und das Hörprogramm BB mit 0.1 bewertet.

Die ANOVA (Tab. 4.19) liefert für die Hörsituation „halliges Treppenhaus“ bei der Empfindung der Gesamtlautstärke einen p-Wert von $p = 0.333170$ zwischen FF und BB.

	p
FF vs. BB	0.333170

Tab. 4.19: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhaus und der beiden Hörprogramme (siehe Abb. 4.29).

Abb. 4.30 zeigt die Ergebnisse für die Bewertung der Halligkeit in der Hörsituation „halliges Treppenhaus“. Hierbei wurde das Hörprogramm FF mit 6.4 und das Hörprogramm BB mit 7 bewertet.

Die ANOVA (Tab. 4.20) zeigt für die Bewertung der Halligkeit in der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ einen p-Wert von $p = 0.244345$ an.

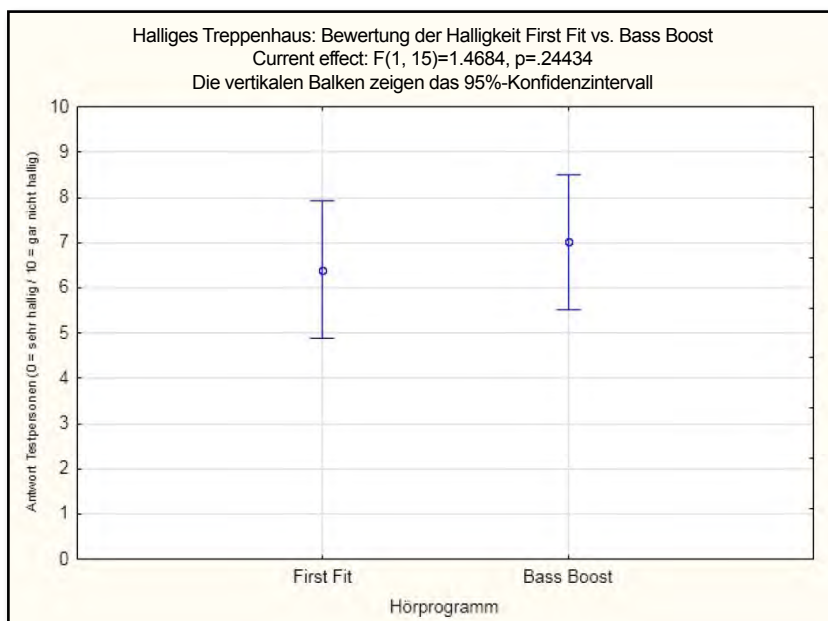


Abb. 4.30: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die y-Achse zeigt die Bewertung der Halligkeit im halligen Treppenhaus. Die beiden Hörprogramme sind auf der x-Achse aufgetragen.

	p
FF vs. BB	0.244345

Tab. 4.20: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Halligkeit im halligen Treppenhaus und der beiden Hörprogramme (siehe Abb. 4.30).

Abb. 4.31 zeigt die Ergebnisse für die Befragung nach der Bevorzugung der einzelnen Hörprogramme hinsichtlich der Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung sowie finalen Entscheidung. Für die Sprachverständlichkeit ergibt sich eine mittlere Bewertung von -0.6, für die Klangqualität eine Bewertung von -0.5. Die Zuhöranstrengung wird mit 0.2 bewertet. Die Berücksichtigung aller gesammelten Eindrücke („finale Entscheidung“) in der Hörsituation „halliges Treppenhaus“ wird mit -0.2 bewertet.

Die ANOVA (Tab. 4.21) zeigt zwischen den Kriterien einen p-Wert von $p = 0.064648$ an.

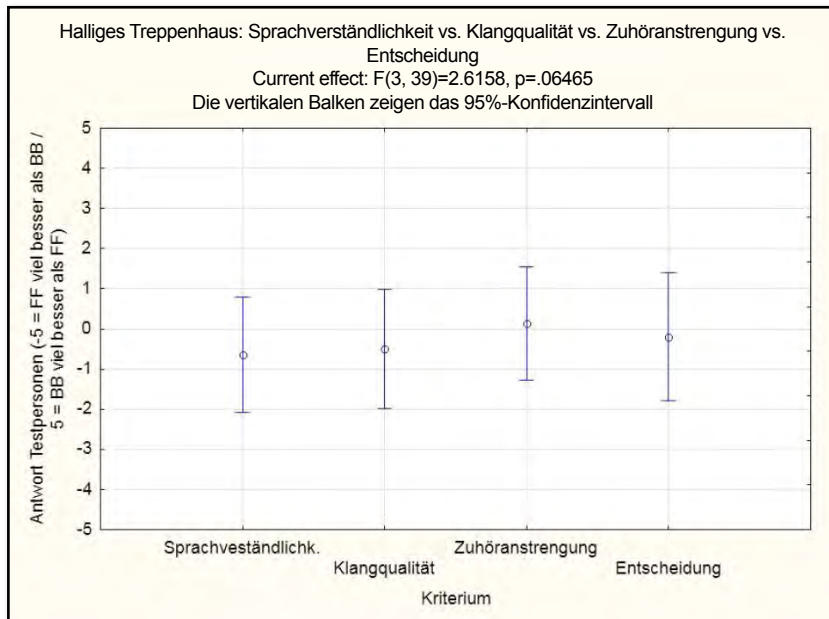


Abb. 4.31: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Bevorzugung der Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung und Entscheidung im halligen Treppenhaus in Bezug zum Hörprogramm (x-Achse).

	p
Kriterium	0.064648

Tab. 4.21: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Kriterien Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung sowie Entscheidung im halligen Treppenhaus (siehe Abb. 4.31).

Abb. 4.32 zeigt die Zusammenfassung der Antworten der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms in der jeweiligen Hörsituation im Hinblick auf die Gesamtlautstärke. Dargestellt sind die Antworten als sogenannte Boxplots, welche den Mittelwert (engl.: mean), den Mittelwert \pm Standardfehler (engl.: standard error, SE) sowie anhand der Antenne (engl.: whisker) den Mittelwert \pm Standardabweichung (engl.: standard deviation, SD) anzeigen. Für die Auswertung wurde ein einseitiger T-Test angewendet, welcher die Mittelwerte auf eine signifikante Abweichung gegen „0“ (engl.: reference constant), also der Bewertung als „beide gleich“, testet. Da es sich um einen einseitigen Test handelt, wird ein Signifikanzniveau von $\alpha=0.025$ gewählt. Die Voraussetzungen des T-Tests sind, dass es sich um unabhängige Stichproben handelt und dass die Daten normalverteilt sind. Bei den vorliegenden Daten handelt es sich um unabhängige Stichproben, eine Normalverteilung der Daten liegt jedoch nicht vor (siehe Anhang J).

Um Tendenzen zu erkennen, wird dennoch der T-Test verwendet. Zeigt der T-Test signifikante Unterschiede an, werden diese anhand eines nicht-parametrischen Tests nochmals überprüft. Bei dem dafür verwendeten nicht-parametrischen Test handelt es sich um den Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (U-Test)(siehe Anhang K).

Die exakten p-Werte des T-Tests sind aus Tab. 4.22 abzulesen. Der T-Test liefert bei der Betrachtung der p-Werte keine Hinweise auf eine signifikante Bevorzugung eines Hörprogramms in einer Hörsituation. Die sich ergebenden p-Werte des U-Tests zeigen wie der T-Test keine signifikanten Unterschiede (siehe Anhang K, Abb. K.5).

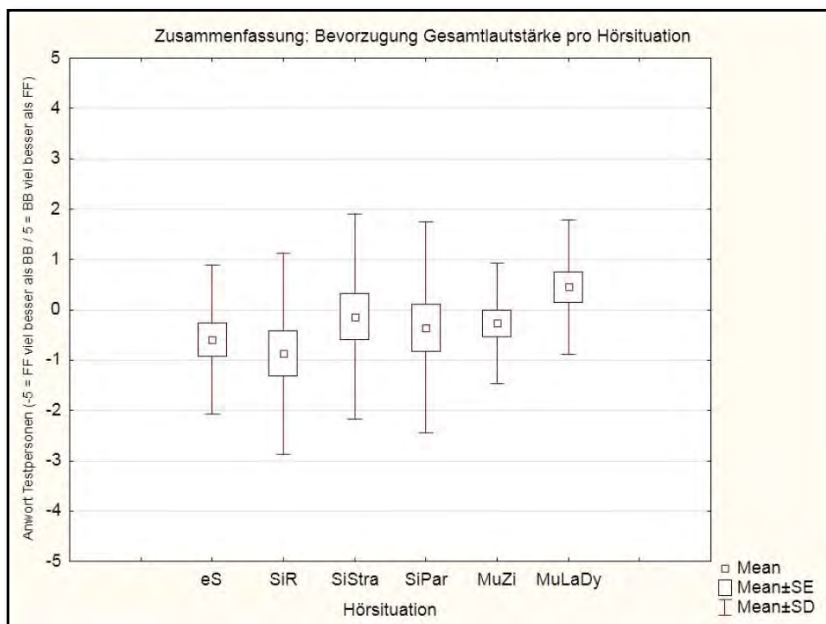


Abb. 4.32: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung einer Einstellung (y-Achse) im Hinblick auf die Gesamtlautstärke pro Situation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Reference-Constant	t-value	df	p
eS	-0.6	1.482539	20	0.331504	0	-1.80993	19	0.086153
SiR	-0.87	2.000289	20	0.447278	0	-1.94510	19	0.066714
SiStra	-0.14	2.040743	20	0.456324	0	-0.30680	19	0.762333
SiPar	-0.35	2.095484	20	0.468564	0	-0.74696	19	0.464230
MuZi	-0.27	1.189914	20	0.266073	0	-1.01476	19	0.322969
MuLaDy	0.45	1.331204	20	0.297666	0	1.51176	19	0.147050

Tab. 4.22: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.32, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.32).

In Abb. 4.33 sind die Ergebnisse bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms im Hinblick auf die Natürlichkeit dargestellt. Der angewendete T-Test (Tab. 4.23) zeigt anhand seiner p-Werte keine Signifikanzen an. Die sich ergebenden p-Werte des U-Tests zeigen ebenfalls keine Signifikanzen (siehe Anhang K, Abb. K.6).

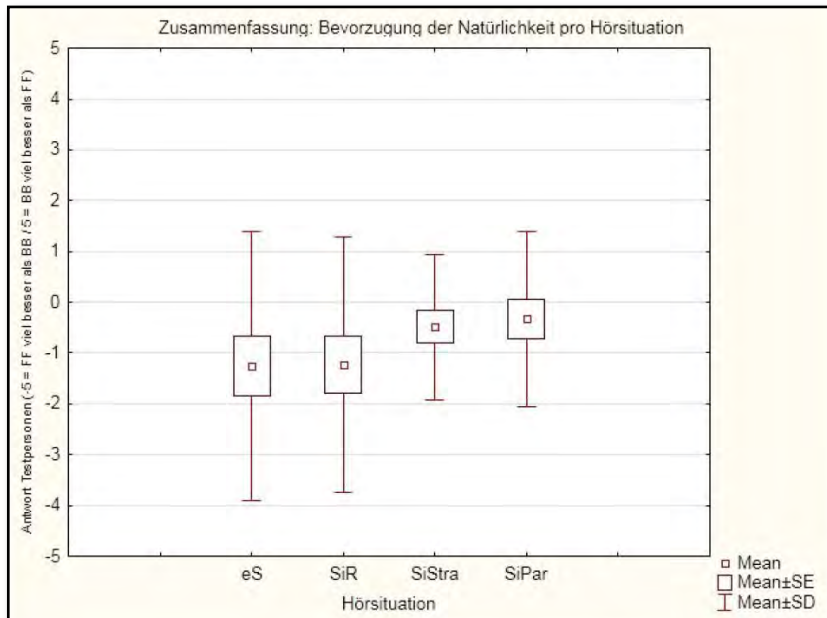


Abb. 4.33: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Natürlichkeit pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Ref.-Constant	t-value	df	p
eS	-1.25	2.653201	20	0.593274	0.00	-2.10695	19	0.048640
SiR	-1.23	2.514191	20	0.562190	0.00	-2.18787	19	0.041380
SiStra	-0.49	1.437066	20	0.321338	0.00	-1.52488	19	0.143763
SiPar	-0.33	1.725688	20	0.385876	0.00	-0.85520	19	0.403097

Tab. 4.23: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.33, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.33).

In Abb. 4.34 sind die Ergebnisse für die Bevorzugung eines Hörprogramms im Hinblick auf die Schrillheit und Dumpfheit dargestellt. Der angewendete T-Test (Tab. 4.24) zeigt für die Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ ($p = 0.021267$) eine signifikante Bevorzugung des Hörprogramms „Bass Boost“. Für alle anderen Hörsituationen zeigt der p-Wert keine signifikante Bevorzugung eines der Hörprogramme an. Der angewendete nicht-parametrische U-Test bestätigt anhand seines p-Wertes die signifikante Bevorzugung des Hörprogramms „Bass Boost“ in der Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ (siehe Anhang K, Abb. K.7).

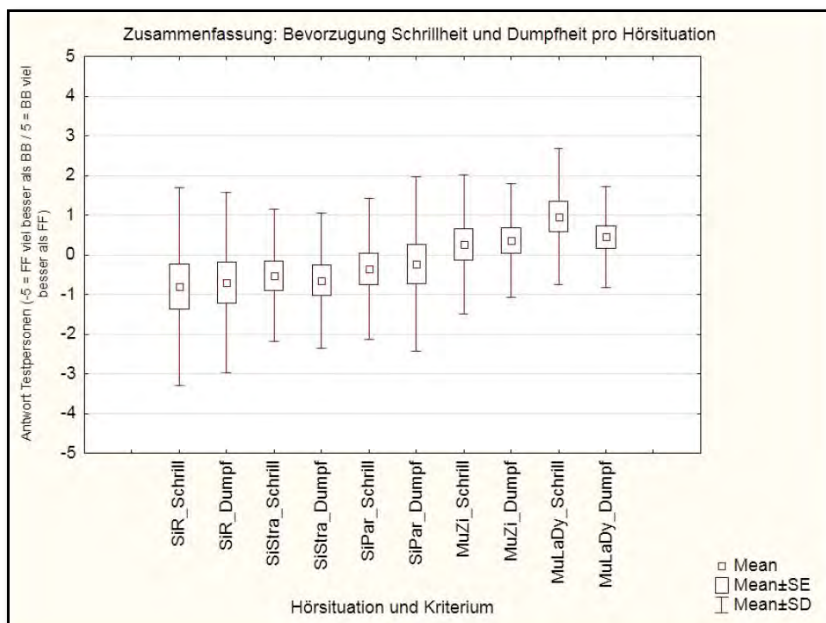


Abb. 4.34: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Schrillheit und Dumpfheit pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Ref.-Constant	t-value	df	p
SiR-Schrill	-0.80	2.504732	20	0.560075	0.00	-1.42838	19	0.169416
SiR-Dumpf	-0.70	2.273416	20	0.508351	0.00	-1.37700	19	0.184521
SiStra-Schrill	-0.52	1.673823	20	0.374278	0.00	-1.38934	19	0.180798
SiStra-Dumpf	-0.65	1.714182	20	0.383303	0.00	-1.69579	19	0.106251
SiPar-Schrill	-0.35	1.783993	20	0.398913	0.00	-0.87738	19	0.391237
SiPar-Dumpf	-0.24	2.200096	20	0.491956	0.00	-0.48785	19	0.631239
MuZi-Schrill	0.26	1.755712	20	0.392589	0.00	0.66227	19	0.515752
MuZi-Dumpf	0.36	1.437249	20	0.321379	0.00	1.12017	19	0.276600
MuLaDy-Schrill	0.96	1.710155	20	0.382402	0.00	2.51044	19	0.021267
MuLaDy-Dumpf	0.45	1.276302	20	0.285390	0.00	1.57679	19	0.131348

Tab. 4.24: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.34, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.34).

Abb. 4.35 zeigt die Ergebnisse der Bevorzugung in Bezug auf die Sprachverständlichkeit in den jeweiligen Hörsituationen. Alle p-Werte, die sich aus dem T-Test ergeben, liegen deutlich über dem Signifikanzniveau von $\alpha=0.025$ und sind somit nicht signifikant (Tab. 4.25). Auch die Analyse der Daten mit dem U-Test zeigt keine signifikante Bevorzugung eines der Hörprogramme in Bezug auf die Sprachverständlichkeit (siehe Anhang K, Abb. K.8).

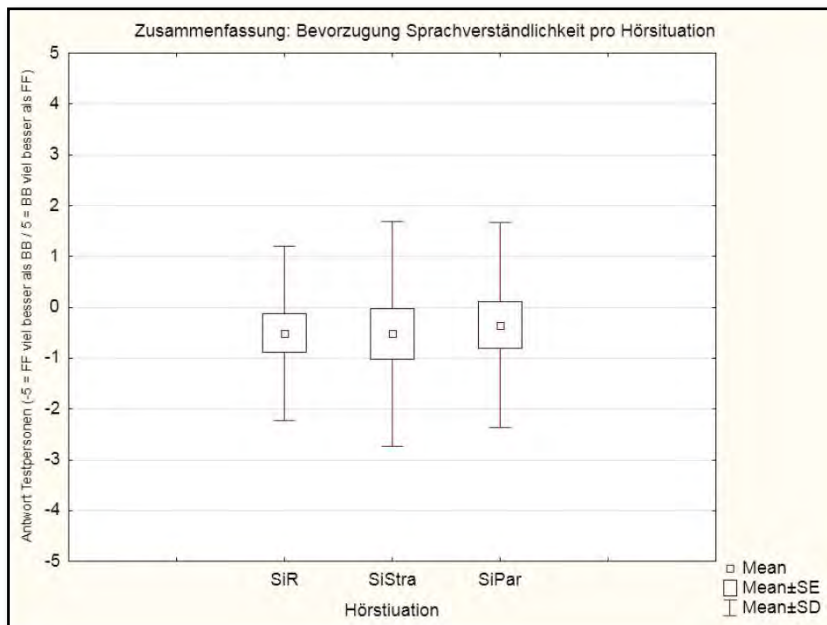


Abb. 4.35: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Ref.-Constant	t-value	df	p
SiR	-0.51	1.713691	20	0.382193	0.00	-1.33092	19	0.198966
SiStra	-0.52	2.214212	20	0.495113	0.00	-1.05027	19	0.306772
SiParl	-0.35	2.01	20	0.450234	0.00	-0.77737	19	0.446510

Tab. 4.25: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.35, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.35).

In Abb. 4.36 und Tab. 4.26 sind die Ergebnisse bezüglich der Klangqualität dargestellt. In der Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ zeigt sich, dass das Hörprogramm „Bass Boost“ signifikant bevorzugt wird ($p = 0.017498$). In der Hörsituation „Musik in Zimmerlautstärke“ ($p = 0.171798$) liegt keine signifikante Bevorzugung vor. Der angewendete U-Test bestätigt das signifikante Ergebnis für die Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ (siehe Anhang K, Abb. K.9).

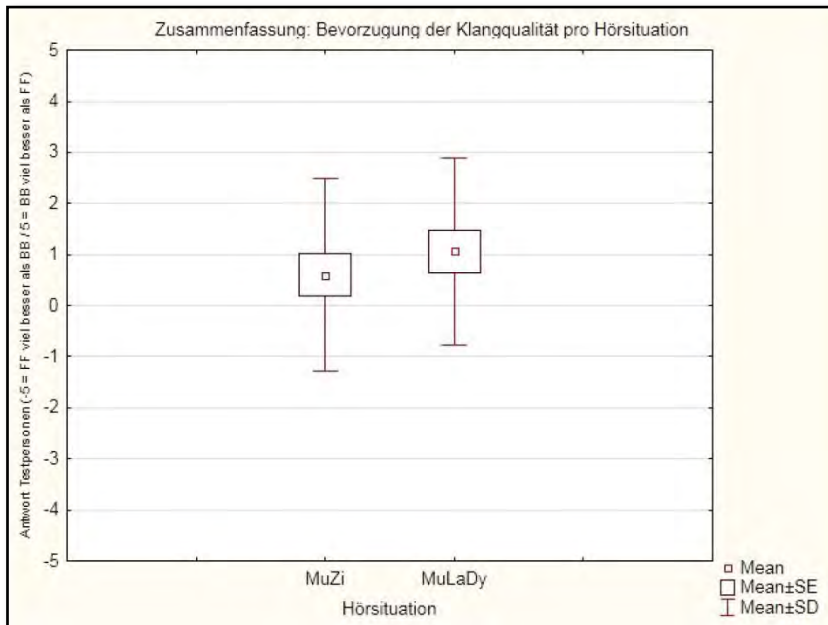


Abb. 4.36: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Klangqualität pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Ref.-Constant	t-value	df	p
MuZi	-0.60	1.889584	20	0.422524	0.00	1.420039	19	0.171798
MuLaDy	1.06	1.821624	20	0.407328	0.00	2.602328	19	0.017498

Tab. 4.26: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.36, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Testprobandenanzahl (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.36).

In Abb. 4.37 und Tab. 4.27 sind die Ergebnisse der absoluten Bevorzugung („Entscheidung“) der Hörprogramme pro Hörsituation grafisch und numerisch dargestellt. Hierbei sollten von den Testpersonen alle gesammelten Eindrücke einer Hörsituation berücksichtigt und das bevorzugte Hörprogramm mit entsprechender Gewichtung ausgewählt und bewertet werden. Für die Hörsituationen „eigene Stimme“, „Sprache im Straßenlärm“, „Sprache im Partylärm“ und „Musik in Zimmerlautstärke“ liefert der T-Test keine signifikanten Ergebnisse. Für die Hörsituation „Sprache in Ruhe“ ($p = 0.019392$) zeigt der p-Wert eine signifikante Bevorzugung des Hörprogramms FF an. In der Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“ ($p = 0.010833$) zeigt der T-Test eine signifikante Bevorzugung des Hörprogramms BB an. Der nicht-parametrische U-Test bestätigt das signifikante Ergebnis für die Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“. Die Analyse der Daten für die Hörsituation „Sprache in Ruhe“ liefert mit dem U-Test im Gegensatz zum T-Test jedoch kein signifikantes Ergebnis (siehe Anhang K, Abb. K.10).

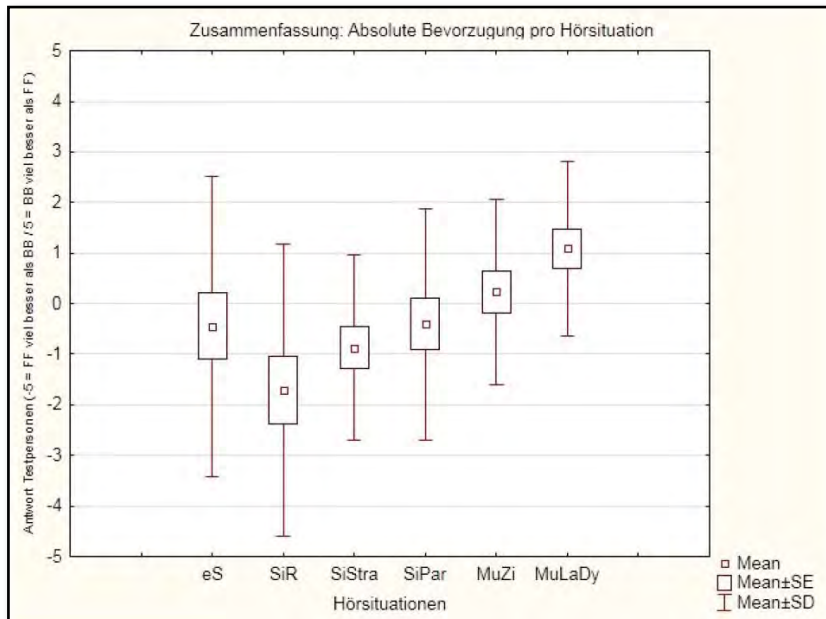


Abb. 4.37: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die absolute Bevorzugung pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an.

Hörsituation	Mean	Std. Dv.	N	Std. Err.	Ref.-Constant	t-value	df	p
eS	-0.44	2.966905	20	0.663420	0.00	-0.66323	19	0.515150
SiR	-1.706	2.895490	19	0.664271	0.00	-2.56712	18	0.019392
SiStra	-0.87	1.824136	20	0.407889	0.00	-2.13293	19	0.046192
SiPar	-0.41	2.278943	20	0.509587	0.00	-0.80457	19	0.431019
MuZi	0.23	1.835641	20	0.410462	0.00	0.56034	19	0.581792
MuLaDy	1.09	1.725932	20	0.385930	0.00	2.82435	19	0.010833

Tab. 4.27: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.37, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.37).

4.5 Korrelationen: WAKO u. OLSA vs. Fragebogen

Dieser Abschnitt stellt die Ergebnisse des WAKO und OLSA den Ergebnissen des Fragebogens gegenüber und überprüft diese auf Korrelation. Die Korrelation untersucht die Beziehung der Ergebnisse von zwei Arten von Messungen, welche an derselben Stichprobe durchgeführt wurden [34]. Im Folgenden wird jeweils das Hörprogramm FF und BB einer gleichzustellenden Situation des Sound-Parcours gegenübergestellt, für welche ein Zusammenhang erwartet wird.

4.5.1 Korrelation: WAKO (FF) vs. SiR (FF)

Abb. 4.38 zeigt das Ergebnis der Prüfung auf Korrelation zwischen den Ergebnissen des WAKO (Test) im Hörprogramm FF gegenüber den Ergebnissen der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit, ebenfalls im Hörprogramm FF:

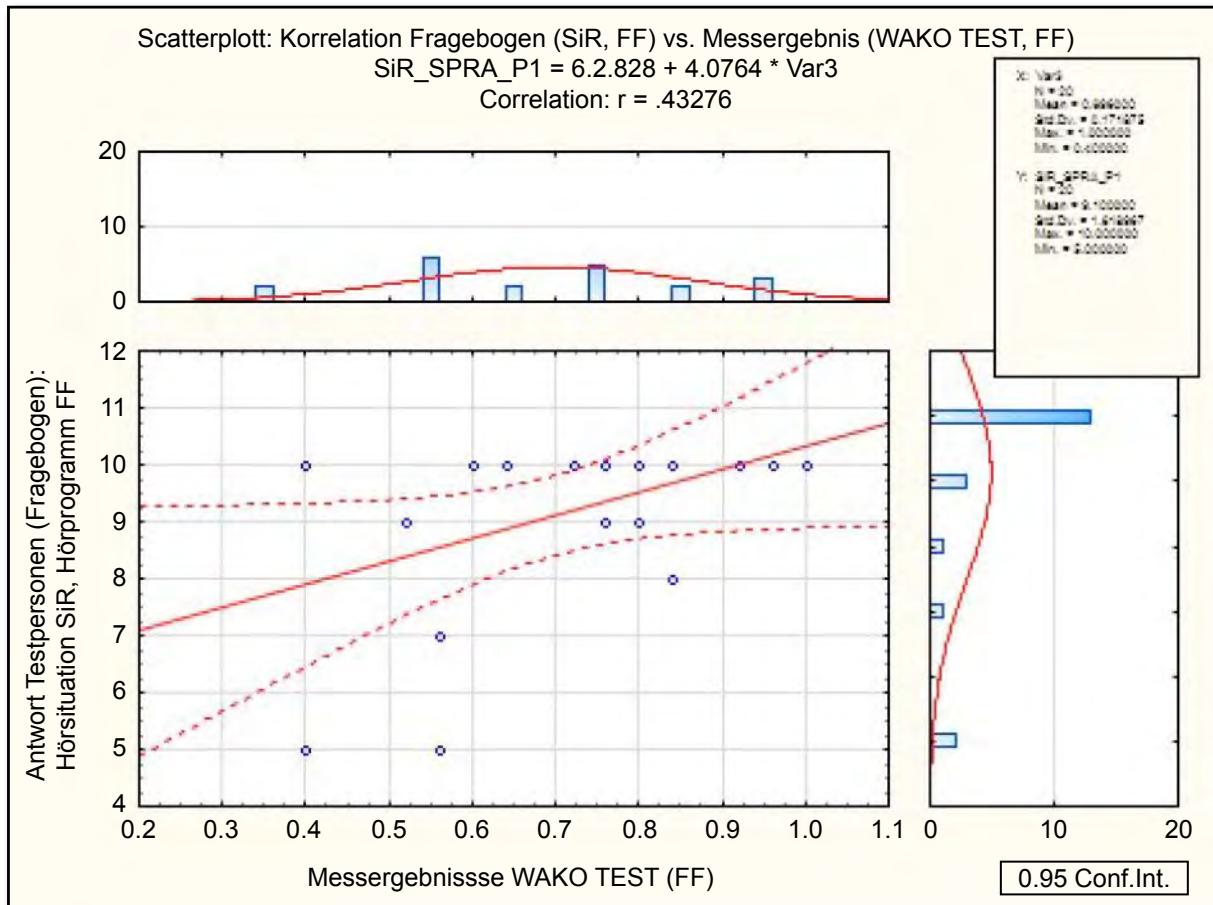


Abb. 4.38: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem WAKO (Test), jeweils im Hörprogramm FF.

Korrelationsfaktor „r“ zeigt eine Korrelation von $r = 0.43278$.

4.5.2 Korrelation: WAKO (BB) vs. SiR (BB)

Abb. 4.39 zeigt das Ergebnis der Prüfung auf Korrelation zwischen den Ergebnissen des WAKO (Test) im Hörprogramm BB gegenüber den Ergebnissen der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit, ebenfalls im Hörprogramm BB:

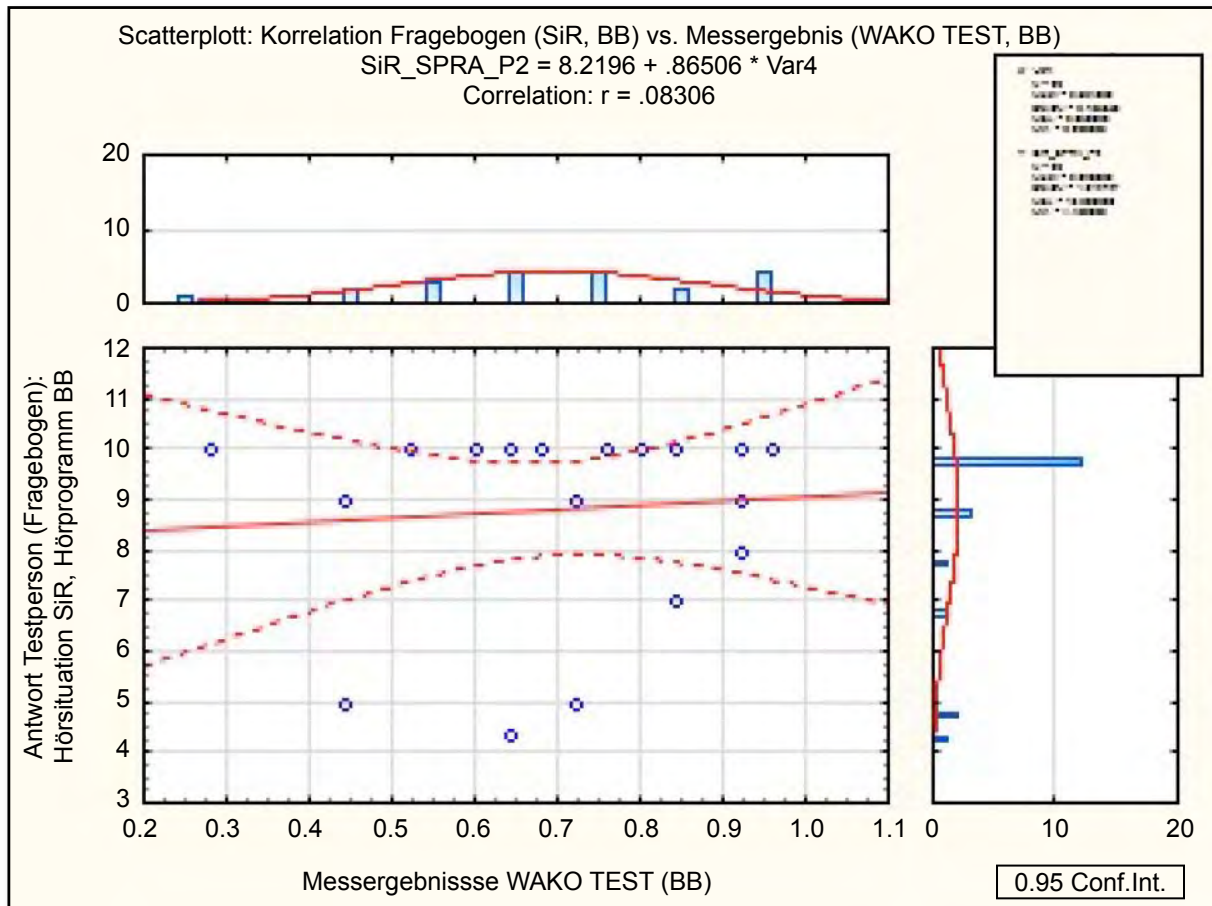


Abb. 4.39: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem WAKO (TEST), jeweils im Hörprogramm BB.

Korrelationsfaktor „r“ zeigt eine Korrelation von $r = 0.08306$.

4.5.3 Korrelation: OLSA (FF) vs. SiPar (FF)

Abb. 4.40 zeigt das Ergebnis der Prüfung auf Korrelation zwischen den Ergebnissen des OLSA (Retest) im Hörprogramm FF gegenüber den Ergebnissen der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit, ebenfalls im Hörprogramm FF. Das Störgeräusch in der Hörsituation SiPar ähnelt dem des im Rahmen des OLSA verwendeten „Cafeteria Noise“, hierdurch bietet sich der Vergleich an.

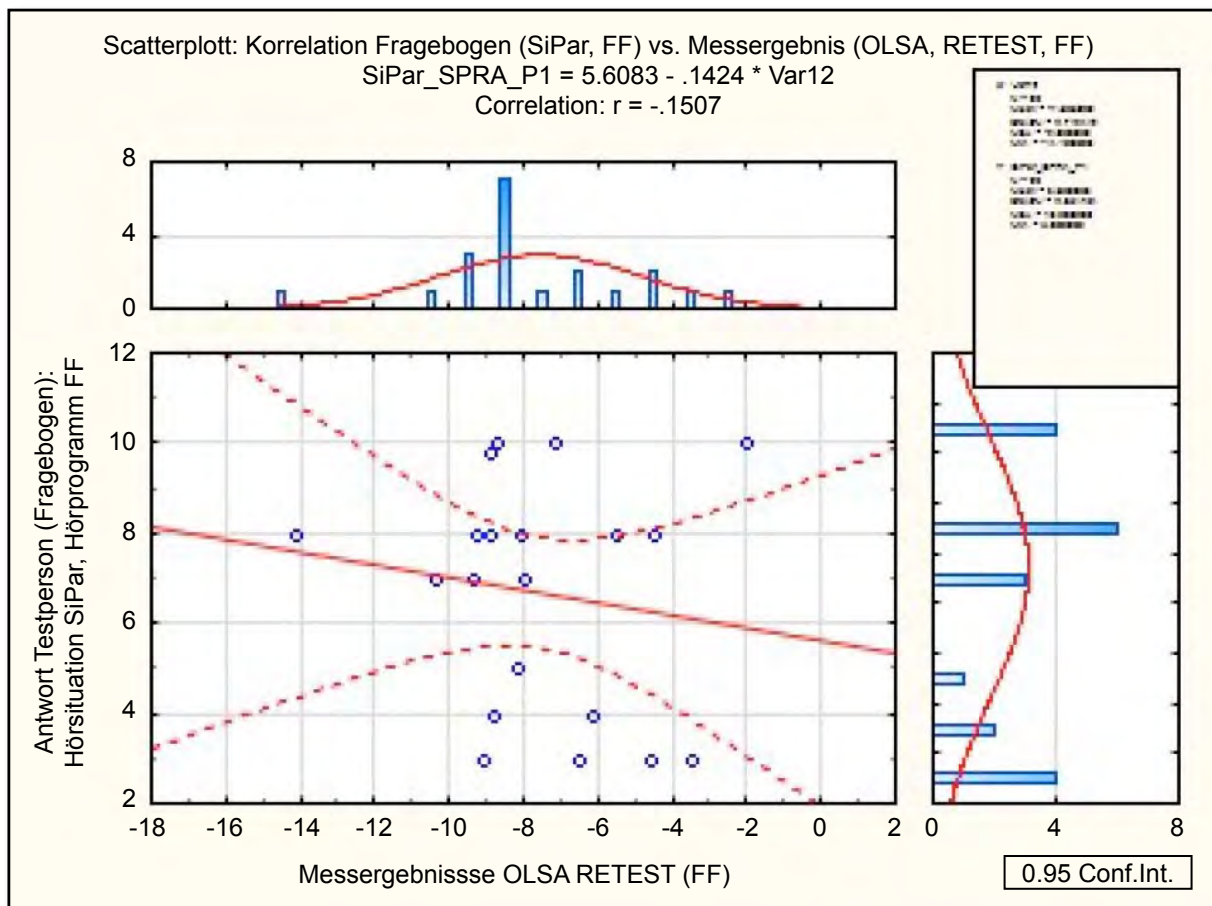


Abb. 4.40: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem OLSA (Retest), jeweils im Hörprogramm FF.

Korrelationsfaktor „ r “ zeigt eine Korrelation von $r = 0.1507$.

4.5.4 Korrelation: OLSA (BB) vs. SiPar (BB)

Abb. 4.41 zeigt das Ergebnis der Prüfung auf Korrelation zwischen den Ergebnissen des OLSA (Test) im Hörprogramm BB gegenüber den Ergebnissen der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit, ebenfalls im Hörprogramm BB:

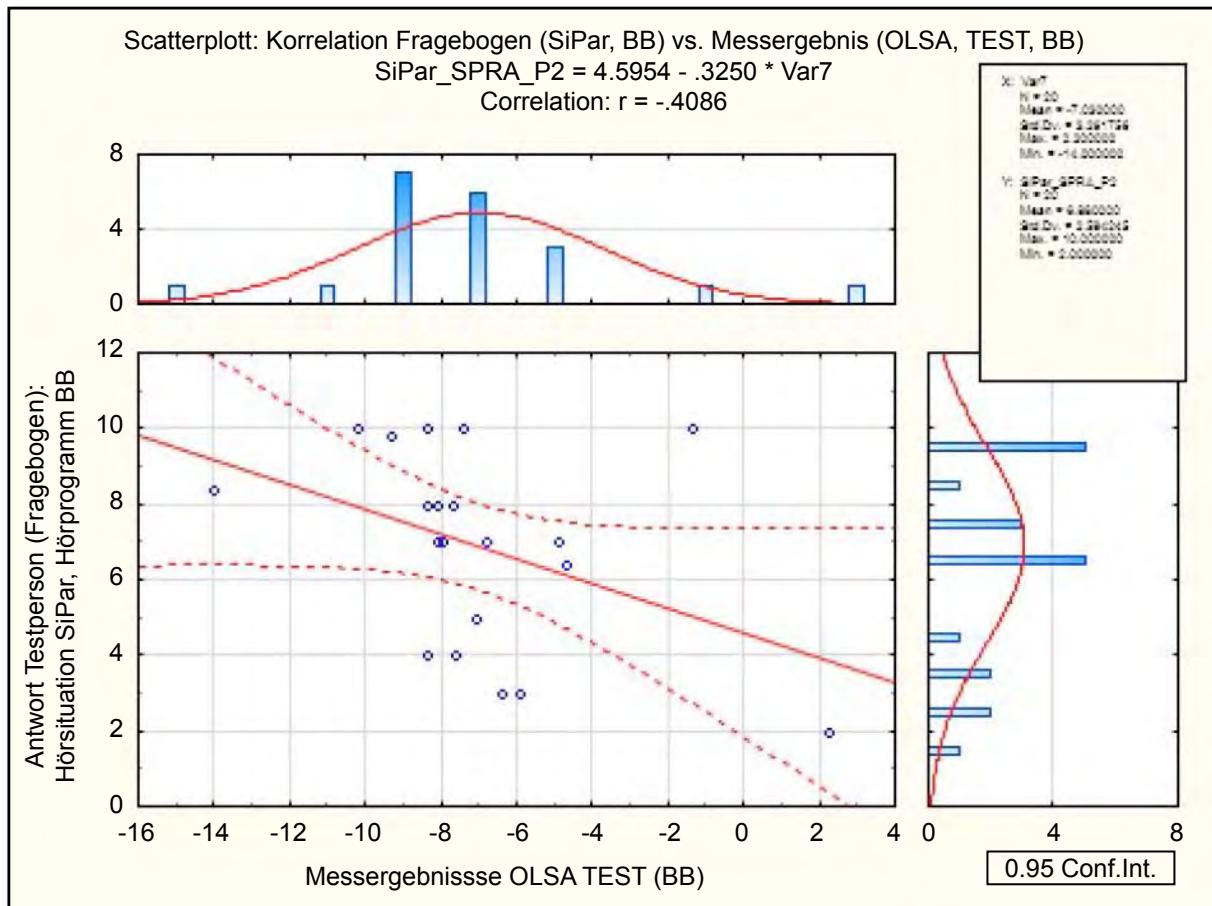


Abb. 4.41: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem OLSA (Test), jeweils im Hörprogramm BB.

Korrelationsfaktor „r“ zeigt eine Korrelation von $r = 0.4086$.

5. Diskussion und Kritik

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung kritisch diskutiert, zudem wird Bezug zu den aufgestellten Hypothesen genommen.

5.1 In-situ-Messungen

Die Ergebnisse der In-situ-Messungen zeigen im modifizierten Frequenzbereich von ca. 500 Hz deutliche Unterschiede zwischen den Hörprogrammen Programm 1 („First Fit“, ruhige Umgebung) und Programm 2 („Bass Boost“, ruhige Umgebung) sowie Programm 3 („First Fit“, Verstehen im Störgeräusch) und Programm 4 („Bass Boost“, Verstehen im Störgeräusch). Die meisten Testpersonen haben die Anhebung der Verstärkung in einer schnellen ersten Einschätzung ohne Weiteres akzeptiert und keine negativen klanglichen Veränderungen z. B. in Form von Echo oder Nachhall angemerkt. Bei einigen wenigen Testpersonen verursachte bereits eine sehr kleine Anhebung der Verstärkung deutliche negative klangliche Veränderungen in Form von zunehmendem Echo oder Nachhall bei eigener und fremder Sprache.

Bei den Testpersonen, bei denen das Klangempfinden bereits durch sehr geringfügige Änderungen negativ beeinflusst wurde, wurden letztlich nur sehr geringe Modifikationen im Vergleich zum First Fit vorgenommen. In jedem Fall wurde aber eine Modifikation vorgenommen, auch wenn die Testperson nicht ganz zufrieden war und die First-Fit-Einstellung klanglich dennoch deutlich bevorzugte. Die Empfindungen des subjektiv schlechteren Klangempfindens werden anhand des Fragebogens „messtechnisch“ aufgenommen und im Rahmen der Auswertung entsprechend berücksichtigt. Bei den Testpersonen, welche die zusätzliche Verstärkung, ohne eine negative Beeinflussung des Klangs zu bemerken, akzeptiert hatten, wurde die Verstärkung so lange angehoben, bis sich der Klang für die Testperson hörbar verschlechterte. Daraufhin wurde die Verstärkung wieder so weit reduziert, bis der Klang wieder angenehm war.

Die Ergebnisse der In-situ-Messungen sind somit nicht als Werte zu betrachten, welche problemlos von den Testpersonen „akzeptiert“ wurden, sondern als Werte, welche durchaus keine vollständige Akzeptanz zur Folge hatten und von einigen wenigen Testpersonen lediglich „toleriert“ wurden. Bei der Betrachtung der Ergebnisse und deren Interpretation sind die ermittelten In-situ-Werte somit zwingend im Zusammenhang mit den subjektiven Bewertungen des Fragebogens zu betrachten.

Bei der von den Ergebnissen des Fragebogens unabhängigen Analyse der In-situ-Messungen ergibt sich zunächst folgendes Bild:

In den Programmen 1 und 3 erfolgt praktisch keine Verstärkung des Frequenzbereiches um 500 Hz, sodass dort fast ausschließlich der Direktschall ans Ohr gelangt. Im Vergleich von Programm 1 zu Programm 2 hat sich bei der Frequenz von 500 Hz sowie für einen Eingangspegel von 50 dB (ISTS) eine mittlere zusätzliche Verstärkung von 7,5 dB in Programm

2 ergeben. Bei einem Eingangspegel von 65 dB (ISTS) konnte im Mittel eine zusätzliche Verstärkung von 4 dB nachgewiesen werden.

Im Vergleich von Programm 3 und Programm 4 hat sich bei der Frequenz von 500 Hz sowie einem Eingangspegel von 50 dB (ISTS) eine Differenz von ca. 5,4 dB ergeben. Für den Eingangspegel von 65 dB (ISTS) und gleicher Frequenz lag die zusätzliche Verstärkung bei ca. 3,4 dB.

In den meisten Fällen wurden diese Verstärkungseinstellungen akzeptiert. In einigen wenigen Fällen, wie bereits erwähnt, nicht.

Kritisch anzumerken ist, dass die Studie mit offenen Domes durchgeführt wurde und durch die Variation der Gehörgangsdurchmesser und der Dome-Größen zwischen den Testpersonen die Größe des tatsächlichen effektiven Vents nicht berücksichtigt wurde. Auch die Position des Domes spielt eine wichtige Rolle. Bereits kleine Unterschiede der Lage und Position des Domes können relativ große Unterschiede am Lautstärkepegel ergeben, welcher tatsächlich am Trommelfell ankommt.

5.2 WAKO

Die Ergebnisse des Tests zeigen keinen signifikanten Unterschied zwischen den drei Konfigurationen. Die Sprachdiskrimination mit Hörsystemen nimmt im Vergleich zum unversorgten Zustand zwar deutlich zu, im Rahmen dieser Studie konnte diesbezüglich jedoch kein signifikanter Effekt festgestellt werden. Da der p-Wert nur knapp über dem Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$ liegt, kann an dieser Stelle jedoch von einer Tendenz zur Signifikanz gesprochen werden.

Die Analyse der Ergebnisse des Retests zeigt, dass die beobachteten Unterschiede zwischen den drei Konfigurationen signifikant sind. Dieses Ergebnis unterstreicht die sich aus dem Test ergebende Vermutung einer tendenziellen Signifikanz.

Die gegenübergestellten Ergebnisse von Test und Retest weichen nicht signifikant voneinander ab. Aufgrund dessen ist es erlaubt, die Daten zusammenzufassen und für die weitere Betrachtung gemeinsam auszuwerten. Durch das Zusammenfassen der Werte erhöht sich die Teststärke.

Zwischen den Hörsystemeinstellungen FF und BB gibt es keinen signifikanten Unterschied in der Sprachdiskrimination. Hier gibt es weder signifikante Einzeleffekte noch eine signifikante Interaktion.

Hypothese A kann somit nicht verworfen werden. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung zu einer Verbesserung der Sprachdiskrimination in Ruhe führt.

Beim WAKO muss die Testperson das akustisch dargebotene Wort aus insgesamt fünf visuell auf dem Touchscreen-Display angebotenen Antwortalternativen selektieren. Kri-

tisch anzumerken ist hierbei, dass beim WAKO neben den auditorischen Fähigkeiten die Sehstärke und Rechtschreibung geprüft werden. Es wurde zwar dafür Sorge getragen, dass die Antwortalternativen stets gut lesbar waren, dennoch können sich hierdurch Fehler eingeschlichen haben. Ein weiterer Fehler könnte sich dadurch ergeben haben, dass der Testperson unbekannt war, wie das akustisch dargebotene Wort geschrieben wird, wodurch dann eine falsche Auswahl getroffen wurde. Zudem gaben einige Testpersonen die Rückmeldung, dass sie nicht alle Antwortalternativen betrachtet hatten, dadurch gelegentlich zu schnell eine Antwort gegeben haben und erst während der Eingabe merkten, dass das richtige Wort doch erst „weiter unten“ stand.

5.3 OLSA

Die Messung der Sprachdiskrimination im Störgeräusch ergibt im Test einen hohen signifikanten Unterschied zwischen den drei Konfigurationen.

Dieser signifikante Unterschied bestätigt sich mit einem ebenfalls hohen signifikanten Effekt im Retest.

Um für eine realistischere Störgeräuschsituation zu sorgen, wurde für den Retest der Pegel des Störgeräusches von 65 dB (A) (Test) auf 70 dB (A) neu kalibriert. Die Genauigkeit der Kalibrierung lag bei ca. ± 1 dB.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse von Test und Retest zeigt über alle Konfigurationen eine Abweichung von ca. 1 dB, verschoben zu einem verbesserten SRT im Retest. Dieser Unterschied ist signifikant. Es wird vermutet, dass die Ursache für diese Abweichung die neue Kalibrierung des Störgeräusches ist. Genauso gut kann jedoch auch ein Lerneffekt oder der Hinweis im Retest an die Testpersonen, dass sich der Pegel im Vergleich zum Test erhöht hat, Ursache für die Abweichung sein. Technische Ursachen von Seiten der Hörsysteme sind eher unwahrscheinlich, da sich die Abweichung auch für die Konfiguration „ohne HS“ ergibt. Die Daten werden daher trotz des signifikanten Unterschieds zwischen Test und Retest zusammengefasst und im weiteren Verlauf zusammen ausgewertet.

In der Hörsystemeinstellung FF wurde ein mittlerer SRT von -7 dB erreicht, in der Hörsystemeinstellung BB ein mittlerer SRT von -7.5 dB. Der Nutzen für den Hörsystemträger in der Hörsystemeinstellung BB ist also eine Verbesserung des SRT von 0.5 dB gegenüber der Hörsystemeinstellung FF.

Mit der ANOVA stellt sich diese Verbesserung des SRT zwischen FF und BB als nicht signifikant heraus. Der sich ergebende p-Wert liegt mit $p = 0.061090$ jedoch nur sehr knapp über dem festgelegten Signifikanzniveau von $\alpha=0.05$, weshalb nach Anwendung der ANOVA zunächst von einer Tendenz zur Signifikanz gesprochen werden kann. Aufgrund der Tendenz zur Signifikanz wurden die Daten nochmals mit einem nicht-parametrischen Test, dem Wilcoxon-Matched-Pair-Test, analysiert. Die Analyse hat ergeben, dass die Mittelwer-

te aus zwei unterschiedlichen Grundgesamtheiten stammen. Der um 0.5 dB verbesserte SRT stellt somit einen signifikanten Effekt zwischen FF und BB dar.

Der Grund für die bessere Sprachdiskrimination im Störgeräusch in der Hörsystemeinstellung BB kann darin bestehen, dass in der Hörsystemeinstellung FF im Tieftonbereich praktisch keine Verstärkung erfolgt und dadurch im Gegensatz zum Hochtonbereich keine SNR-Verbesserung (engl. signal-to-noise ratio, SNR) möglich ist. In der Hörsystemeinstellung BB wird der Tieftonbereich hingegen verstärkt, somit kann auch der SNR in diesem Bereich verbessert werden. Durch dieses Zusammenwirken von SNR-Verbesserung im Hoch- und Tieftonbereich könnte sich der verbesserte SRT von 0.5 dB erklären.

Hypothese B wird somit verworfen. Es konnte nachgewiesen werden, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung zu einer besseren Sprachdiskrimination in geräuschvoller Umgebung führt.

Für den OLSA ist kritisch anzumerken, dass die neue Kalibrierung des Störgeräusches für den Retest zu Schwierigkeiten beim Vergleich von Test und Retest führt. Für einen aussagefähigeren Test-Retest-Vergleich sollten sich die Testbedingungen nicht ändern.

5.4 Sound-Parcours und Fragebogen

Anhand des Fragebogens erfolgte im Rahmen des Sound-Parcours die subjektive Beurteilung der Hörsystemeinstellungen.

Die Bewertung der Gesamtlautstärke liefert für alle Hörsituationen keinen signifikanten Unterschied zwischen FF und BB. Es wird kein Hörprogramm signifikant bevorzugt. Zwischen den Hörsituationen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

Hypothese D kann somit nicht verworfen werden. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung zu einem angenehmeren Lautheitsempfinden führt.

Die Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation eS zeigt, dass das Hörprogramm FF als signifikant natürlicher empfunden wird als das Hörprogramm BB. Für die Hörsituation SiR zeigt sich die Tendenz, dass das Hörprogramm FF signifikant natürlicher klingt als das Hörprogramm BB. In den Situationen SiStr und SiPar zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen FF und BB, auch bei der Frage nach der Bevorzugung und zwischen den Hörsituationen zeigt sich kein signifikanter Effekt.

Die Ergebnisse in Bezug auf die Natürlichkeit lassen darauf schließen, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung bei Sprache im Störgeräusch eher akzeptiert wird als bei Sprache in ruhiger Umgebung. Der verbesserte SRT beim OLSA in der Hörsystemeinstellung BB erhärtet diese Annahme.

In Bezug auf die Klangqualität in den Hörsituationen (MuZi u. MuLaDy) konnte kein signifikanter Unterschied zwischen FF und BB festgestellt werden, jedoch wird das Hör-

programm BB in der Hörsituation MuLaDy von den Testpersonen signifikant bevorzugt. Zwischen den Hörsituationen zeigt sich kein signifikanter Unterschied.

Auch die Ergebnisse im Hinblick auf die Schrällheit in den Hörsituationen (SiR, SiStr, SiPar, MuZi u. MuLaDy) zeigen keine signifikanten Ergebnisse zwischen FF und BB. Zwischen den Hörsituationen zeigen sich signifikante Unterschiede bei der Bewertung der Schrällheit. Eine signifikante Bevorzugung des Hörprogramms BB ergibt sich für die Hörsituation „Musik – laut und dynamisch“.

Die Auswertung der erhobenen Daten für die Beurteilung der Dumpfheit ergibt einen signifikanten Unterschied zwischen den Hörprogrammen FF und BB für die Hörsituation SiR. Hierbei wird das Hörprogramm FF als signifikant weniger dumpf bewertet als das Hörprogramm FF. In allen anderen Hörsituationen zeigen sich keine Unterschiede. Die Analyse bezüglich der Interaktion von Hörsituation und Hörprogramm ergibt ebenfalls einen signifikanten Effekt. Eine signifikante Bevorzugung von FF oder BB zeigt sich nicht.

Die Bewertung der Halligkeit in der Hörsituation eS und „halliges Treppenhaus“ führt zu keinem signifikanten Unterschied zwischen FF und BB.

Hypothese C kann somit nicht verworfen werden. Es konnte nicht nachgewiesen werden, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung zu einer besseren Klangausgewogenheit führt.

Die Bewertung der subjektiven Sprachverständlichkeit (SiR, SiStr, SiPar) ergibt keine signifikanten Unterschiede zwischen FF und BB. Zwischen den Hörsituationen zeigt sich ein signifikanter Effekt bei der Bewertung der Sprachverständlichkeit. In keiner Hörsituation zeigt sich eine signifikante Bevorzugung eines Hörprogramms.

Die absolute Bevorzugung eines Hörprogramms unter Berücksichtigung aller Einflüsse pro Hörsituation zeigt eine signifikante Bevorzugung von BB für MuLaDy sowie eine Tendenz zur signifikanten Bevorzugung von FF für SiR.

Kritisch anzumerken ist, dass der verwendete Fragebogen im Vorfeld der Studie nicht evaluiert wurde. Die Genauigkeit der 0.2-Schrittweite der Antwortskalen wurde selten von den Testpersonen ausgenutzt. Viele Testpersonen gaben die Rückmeldung, keine so feine Bewertung vornehmen zu können. Zudem haben die wechselnden Skalen den Testpersonen viel Konzentration und Aufmerksamkeit abverlangt.

5.5 Korrelationen: WAKO u. OLSA vs. Fragebogen

Bei der Prüfung auf Korrelation sollte die Übereinstimmung der Testergebnisse der Sprachtests mit den Antworten einer vergleichbaren Situation im Rahmen des Sound-Parcours untersucht werden. Für den Sprachtest in Ruhe (WAKO) sowie im Störgeräusch wurde hierbei jeweils das Ergebnis im Hörprogramm FF und BB mit einer ähnlichen Hörsituation aus dem Sound-Parcours verglichen. Die Überprüfung ergab, dass die Ergebnisse der Sprachtests schlecht mit den Antworten der Fragebögen korrelieren. Zudem ergibt sich

z. B. beim Vergleich des WAKO (35 dB (A)) zur Hörsituation SiR (56 dB (A)) eine Differenz bei den Darbietungspegeln der Sprache, was eine Vergleichbarkeit erschwert. Der Vergleich von Hörsituationen, die den Bedingungen der Sprachtests ähnlicher sind, könnten hierüber weiteren Aufschluss geben.

5.6 Zusammenfassende Auswertung

Für die Sprachdiskrimination in ruhiger Umgebung zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen der Vorberechnung ohne Tieftonverstärkung „First Fit“ (FF) und der Vorberechnung mit Tieftonverstärkung „Bass Boost“ (BB). Für die Sprachdiskrimination im Störgeräusch zeigt sich eine signifikant bessere Sprachdiskrimination im Hörprogramm BB im Vergleich zum Hörprogramm FF. Hierbei verbessert sich der SRT mit BB um 0.5 dB im Vergleich zum FF. Die Auswertung des Fragebogens hat ergeben, dass der BB im Vergleich zum FF zu keiner subjektiven Bevorzugung der Klangausgewogenheit durch die Testpersonen führt. Lediglich bei der Bewertung der „Natürlichkeit“ wurde in der Hörsituation „eigene Stimme“ das Hörprogramm FF signifikant besser bewertet als das Hörprogramm BB. In der Hörsituation „Sprache in Ruhe“ zeigt sich zudem die gleiche Tendenz. Der verbesserte SRT im Hörprogramm BB im Rahmen des OLSA sowie die signifikante Bevorzugung des Hörprogramms FF gegenüber BB bei der Frage nach der „Natürlichkeit“ in der Hörsituation „eigene Stimme“ und die gleiche Tendenz in der Hörsituation „Sprache in Ruhe“ lassen die Annahme zu, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung den größten Nutzen bei Sprache im Störgeräusch hat und dort auch am ehesten akzeptiert wird. Ein weiterer signifikanter Effekt zeigt sich bei der Bewertung der „Dumpfheit“ in der Hörsituation „Sprache in Ruhe“; hier wurde das Hörprogramm FF als signifikant weniger dumpf bewertet als das Hörprogramm BB. Der BB führt im Vergleich zum FF zu keinem angenehmeren Lautstärkeempfinden bei den Testpersonen. Die im Rahmen der In-situ-Messungen ermittelte zusätzliche Verstärkung hat somit eine signifikante Wirkung auf die Sprachdiskrimination in geräuschvoller Umgebung und keinen signifikanten Effekt auf die Sprachdiskrimination in Ruhe, die Klangausgewogenheit sowie das Lautstärkeempfinden.

6. Fazit und Ausblick

In diesem Kapitel wird ein Fazit der vorliegenden Studie gezogen sowie ein Ausblick auf weitere interessante Fragestellungen gegeben.

6.1 Fazit

Die Ergebnisse der Studie haben gezeigt, dass durch eine Anhebung der Tieftonverstärkung im Bereich um 500 Hz bei offen versorgten milden bis moderaten Hörminderungen eine signifikant bessere Sprachdiskrimination im Störgeräusch erzielt werden kann als mit der aktuellen First-Fit-Vorberechnung, bei welcher praktisch keine Verstärkung dieses Frequenzbereiches erfolgt. Zudem hat sich gezeigt, dass bei der Bewertung der Natürlichkeit in der Hörsituation „eigene Stimme“ das Hörprogramm First Fit als signifikant natürlicher bewertet wurde als das Hörprogramm Bass Boost. Eine Tendenz zur Signifikanz zeigt sich hierbei auch in der Hörsituation „Sprache in Ruhe“. Diese Ergebnisse erlauben die Annahme, dass eine zusätzliche Tieftonverstärkung den größten Nutzen bei Sprache im Störgeräusch hat und dort auch eher akzeptiert wird. Die Anhebung der Tieftonverstärkung zeigte dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Sprachdiskrimination in ruhiger Umgebung sowie die Klangausgewogenheit und das Lautheitsempfinden.

6.2 Ausblick

Um verlässliche Aussagen über Signifikanzen zu bekommen, sollten die Messungen an einer größeren Stichprobe durchgeführt werden. Interessant wäre zudem eine Untersuchung mit offenen individuellen Otoplastiken, da hierbei die Größe der tatsächlichen Vents sowie die Position am Ohr besser kontrolliert werden können. Die Messergebnisse dieser Studie basieren auf Labortests, bei welchen verschiedene Hörsituationen über die Lautsprecher simuliert wurden. Die Testpersonen hatten lediglich ein sehr kurzes Zeitfenster, um sich an die Hörsystemeinstellung zu gewöhnen und diese anhand des Fragebogens zu bewerten. Interessant wäre hierbei, den Testpersonen die Hörsysteme mit den verschiedenen Einstellungen mit nach Hause zu geben, um diese über einen längeren Zeitraum und in Alltagssituationen testen zu können.

7. Verzeichnisse

7.1 Symbole und Abkürzungen

α	Signifikanzniveau
AFM	Audiology and Fitting Methods
AI	Articulation Index
ANOVA	engl. analysis of variance
APD	Adaptive Phonak Digital
BB	Bass Boost
CI	Cochlea-Implantat
cm ³	Kubikzentimeter
CUNY	City University of New York
dB	Dezibel
DSC	Direct Sound Compensation
DSL [i/o]	Desired Sensation Level input/output
DSL v5.0	Desired Sensation Level Version 5.0
f	Frequenz [Hz]
FF	First Fit
HdO	Hinter dem Ohr
HL	engl. hearing level
HMG	Heil- und Hilfsmittelgesetz
HS	Hörsystem
Hz	Hertz
IdO	In dem Ohr
IG	engl. insertion gain
ISTS	engl. International Speech Test Signal
L	links
m ²	Quadratmeter
max	Maximum
mm	Millimeter
min	Minimum
MPR	Medizinprodukterecht
N	Anzahl Testpersonen
NAL-NL1	engl. National Acoustic Laboratories Non-Linear 1

NAL-NL2	engl. National Acoustic Laboratories Non-Linear 2
NAL-RP	engl. National Acoustic Laboratories Rised Profound
OLSA	Oldenburger Satztest
P	Irrtumswahrscheinlichkeit
r	Korrelationsfaktor
RECD	engl. real-ear-to-coupler difference
REOG	engl. real ear occluded gain
REOR	engl. real ear occluded response
REUR	engl. real ear unaided response
RIC	engl. receiver-in-the-canal
RT60	engl. reverberation time 60
SII	engl. Speech Intelligibility Index
SN	Seriennummer
SNR	engl. signal-to-noise ratio
SPL	engl. sound pressure level
SRT	engl. speech reception treshold
SSQ-C	engl. Speech, Spatial and Qualities of Hearing Scale
TEN	engl. treshold equalizing noise
TEOAE	transitorisch evozierte otoakustische Emmissionen
UCL	engl. uncomfortable level
VCV	engl. vocal – consonant – vocal
WAKO	Reimtest nach von Wallenburg und Kollmeier
WDRC	Wide Dynamic Range Compression

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1: Zielverstärkungskurven von Erwachsenen (schwarze Kurven) und Kindern (grüne Kurven) bei NAL-NL2 bei gleicher, schwach abfallender Hörminderung. Abgebildet sind die Zielkurven für Sprache für die Eingangspegel von 50 dB (SPL) (gepunktete Kurven), 65 dB (SPL) (durchgezogene Kurven) und 80 dB (SPL) (gestrichelte Kurven) [10].	5
Abb. 2.2: Mittlere Abweichung der Verstärkung zwischen Männern und Frauen mit leichter (N=47), mittlerer (N=93) und hochgradiger (N=47) Hörminderung, gewonnen nach NAL-NL1. Die Balken zeigen das 95%-Konfidenzintervall [10].	5
Abb. 2.3: Verstärkungsänderungen (relativ zu NAL-NL1) in Abhängigkeit zur Hörminderung (gemittelt bei 4 Frequenzen) bei erfahrenen Hörsystemträgern (gestrichelte Linie) gegenüber unerfahrenen Hörsystemträgern (durchgezogene Linie). Bei milden Hörminderungen zeigen sich keine Differenzen, ab ca. 70 dB (HL) bis zu 10 dB Differenz [10].	6
Abb. 2.4: Verstärkungsunterschied zwischen uni- und bilateraler Hörsystemversorgung (NAL-NL2) [10].	6
Abb. 2.5: Abgebildet sind die Zielverstärkungskurven (IG) der Anpassformeln DSL v5.0 adult, APD und NAL-NL2 für Sprache mit einem Eingangspegel von 50 dB, 65 dB und 80 dB [4]. Die durch die Kreise dargestellten Hörminderungen sind Standardaudiogramme (N1 = leichtgradig; N3 = mittelgradig; N6 = hochgradig; S2 = Hochtonsteilabfall und TT = Tieftonverlust) gemäß IEC 60118-15 [4].	9
Abb. 2.6: Beispiel eines IdO-Hörsystems der Firma Phonak.	11
Abb. 2.7: Beispiel eines HdO-Hörsystems der Firma Phonak.	11
Abb. 2.8: HdO-Hörsystem mit (a) Slim Tube und (b) Dome	13
Abb. 2.9: Sprachfeld in dB (HL) mit Schwerpunkten der Energie- und Diskriminationsbeiträge [35]. Die y-Achse zeigt den Lautstärkepegel in dB (HL), auf der x-Achse ist die Frequenz in Hz aufgetragen.	14
Abb. 3.1: Beispiel einer randomisierten Testreihenfolge und Konfiguration.	22
Abb. 3.2: Vorausgesetzter Bereich, in welchem die Hörminderung der Testpersonen für die Teilnahme an der Studie liegen muss. „min“ markiert dabei die Grenze, unterhalb welcher die Hörminderung mindestens liegen muss. „max“ markiert die Grenze, unterhalb derer die Hörminderung nicht liegen darf.	23
Abb. 3.3: Gemittelte Hörminderungen der Testpersonen in dB (HL) (y-Achse) in Abhängigkeit zur Frequenz in Hz (x-Achse) für das linke (blaue Kurven) und rechte (rote Kurven) Ohr. Die oberen beiden gepunkteten Kurven zeigen hierbei die minimale („min“) Hörminderung, die unteren beiden gepunkteten Kurven die maximale („max“) Hörminderung. Die durchgezogenen Kurven zeigen den Mittelwert („average“).	25

- Abb. 3.4: Mittlere Hörminderungen der Testpersonen in dB (HL) (y-Achse) in Abhängigkeit zur Frequenz in Hz (x-Achse) für die von rechtem und linkem Ohr zusammengefassten audiometrischen Daten (min, max, average) aus Abb. 3.3. Die gepunktete Kurve markiert hierbei die mittlere minimale („min“) Hörminderung, die gestrichelte Kurve die mittlere maximale („max“) Hörminderung. Die durchgezogene Kurve zeigt den Mittelwert der zusammengefassten mittleren linken und rechten Hörminderung („average“). 25
- Abb. 3.5: Grundriss der IAC-Messkabine im „Room Audiology“ der Firma Phonak (Stäfa). 26
- Abb. 3.6: Audiogramm einer Testperson, aufgenommen mit Audiogram Direct, einem Messinstrument innerhalb der Fitting Software „Phonak Target“, welches eine In-situ-Audiometrie ermöglicht. 27
- Abb. 3.7: RECDs einer Testperson für das rechte (rote Kurve) und linke Ohr (blaue Kurve), geschätzt anhand des Rückkopplungstests. 28
- Abb. 3.8: Hörprogramme 1 bis 4 für die Sprachmessungen in Ruhe und im Störgeräusch sowie die unterschiedlichen Klangbeispiele im Rahmen des Sound-Parcours. 29
- Abb. 3.9: Auswahl der möglichen Zielverstärkungen für die Vorberechnungsformel APD von 70 %-110 % je nach Testperson. 29
- Abb. 3.10: Beispiel eines First Fit (FF) nach Auswahl der geeigneten individuellen Zielverstärkung (Programm 1: Ruhige Umgebung, First Fit). Zu sehen sind die frequenz- und pegelspezifischen IGs für das rechte (rote Kurven) und linke (blaue Kurven) Ohr. Die lila Kurven stellen die anhand des Rückkopplungstests geschätzten Rückkopplungsschwellen dar. 30
- Abb. 3.11: Beispiel einer Hörsystemeinstellung in Programm 2 mit zusätzlicher Tieftönverstärkung im Bereich um ca. 500 Hz (Bass Boost) basierend auf dem First Fit aus Programm 1. 31
- Abb. 3.12: Einstellung der Features für das Hörprogramm 1 (ruhige Umgebung, First Fit). Im Hörprogramm 2 (ruhige Umgebung 1, Bass Boost) sind diese Features genauso eingestellt. 32
- Abb. 3.13: Einstellung der Features für die Hörprogramme 3 und 4 (Verstehen im Störgeräusch). 33
- Abb. 3.14: Dargestellt ist das Messinstrument Audiogram Direct. Es dient der Ermittlung der Hör- und Unbehaglichkeitsschwelle direkt über die Hörsysteme und der individuellen akustischen Ankopplung an das Ohr der Testperson – so, wie sie diese auch später im realen Leben täglich tragen wird. 34
- Abb. 3.15: Absolutskala am Beispiel der Bewertung der Lautstärke für Programm 1 mit einer Genauigkeit einer Schrittweite von 0.2. 40
- Abb. 3.16: Absolutskala am Beispiel der Bewertung der Natürlichkeit für Programm 1 mit einer Genauigkeit einer Schrittweite von 0.2. 40
- Abb. 3.17: Beurteilung der Bevorzugung am Ende einer jeden Frage. 41

- Abb. 4.1: Dargestellt sind die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse), in situ gemessenen Ausgangsschalldruckpegel in dB (SPL) (y-Achse) für die Hörprogramme 1 und 2 („Ruhige Umgebung“). Die Ergebnisse der First-Fit-Einstellung (Hörprogramm 1) sind als gepunktete Kurven dargestellt, die der Bass-Boost-Einstellung (Hörprogramm 2) als durchgezogene Linien. Als Eingangssignal diente das ISTS bei Eingangspegeln von 50 dB (blaue Kurven) und 65 dB (rote Kurven). 42
- Abb. 4.2: Dargestellt sind die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse), in situ gemessenen Ausgangsschalldruckpegel in dB (SPL) (y-Achse) für die Hörprogramme 3 und 4 („Verstehen im Störgeräusch“). Die Ergebnisse der First-Fit-Einstellung (Hörprogramm 3) sind als gepunktete Kurven dargestellt, die der Bass-Boost-Einstellung (Hörprogramm 4) als durchgezogene Linien. Als Eingangssignal diente das ISTS bei Eingangspegeln von 50 dB (blaue Kurven) und 65 dB (rote Kurven). 43
- Abb. 4.3: Dargestellte Kurven zeigen die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse) Differenz der Verstärkung in dB (SPL) (y-Achse) zwischen den gemessenen REARs in den Hörprogrammen 1 und 2 („Ruhige Umgebung“) mit dem ISTS bei 50 dB und 65 dB. 44
- Abb. 4.4: Dargestellte Kurven zeigen die Mittelwerte der frequenzspezifischen (x-Achse) Differenz der Verstärkung in dB (SPL) (y-Achse) zwischen den gemessenen REARs in den Hörprogrammen 3 und 4 („Verstehen im Störgeräusch“) mit dem ISTS bei 50 dB und 65 dB. 44
- Abb. 4.5: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. Sitzung (Test) des WAKO für alle Testpersonen (N = 20). 46
- Abb. 4.6: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 2. Sitzung (Retest) des WAKO für alle Testpersonen (N = 20). 46
- Abb. 4.7: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. und 2. Sitzung (Test und Retest) des WAKO für alle Testpersonen (N = 20). 47
- Abb. 4.8: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) der zusammengefassten Daten aus Test und Retest des WAKO (N = 20). 48
- Abb. 4.9: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle der Sprachdiskrimination (y-Achse) aus den zusammengefassten Daten von Test und Retest des WAKO für die Konfigurationen (x-Achse) „First Fit“ und „Bass Boost“. 48
- Abb. 4.10: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle des OLSA als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 1. Sitzung (Test) für alle 20 Testpersonen (N = 20). 50
- Abb. 4.11: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle des OLSA als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) aus der 2. Sitzung (Retest) für alle 20 Testpersonen (N = 20). 51

- Abb. 4.12: Dargestellt sind die Mittelwerte sowie die 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) von Test und Retest für alle Testpersonen (N = 20). 51
- Abb. 4.13: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) in Abhängigkeit zur Konfiguration (x-Achse) der zusammengefassten Daten aus Test und Retest des OLSA (N = 20). 52
- Abb. 4.14: Dargestellt sind die Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle als SRT in dB (y-Achse) der zusammengefassten Daten von Test und Retest in Abhängigkeit zu den Konfigurationen „First Fit“ und „Bass Boost“ (N = 20). 53
- Abb. 4.15: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen anhand des im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogens. Die Gewichtung (-5 = viel zu leise / 5 = viel zu laut) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 55
- Abb. 4.16: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Gesamtlautstärke bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen sechs Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 56
- Abb. 4.17: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Natürlichkeit (y-Achse). Die vier Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 56
- Abb. 4.18: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Natürlichkeit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 57
- Abb. 4.19: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Klangqualität (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 58
- Abb. 4.20: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Klangqualität bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 58
- Abb. 4.21: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Schrällheit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 59

- Abb. 4.22: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Schrilheit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 60
- Abb. 4.23: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Dumpfheit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 60
- Abb. 4.24: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Dumpfheit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 61
- Abb. 4.25: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Es erfolgte die Bewertung der Sprachverständlichkeit (y-Achse). Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 62
- Abb. 4.26: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (-5 = FF viel besser als BB / 5 = BB viel besser als FF) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörsituationen sind auf der x-Achse aufgetragen. 62
- Abb. 4.27: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen auf die Frage nach der Bevorzugung im Hinblick auf die Halligkeit der eigenen Stimme bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die Gewichtung (0 = sehr hallig / 10 = gar nicht hallig) ist auf der y-Achse aufgetragen. Die unterschiedlichen Hörprogramme sind auf der x-Achse aufgetragen. 63
- Abb. 4.28: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Bevorzugung der Hörprogramme im Hinblick auf alle gesammelten Eindrücke einer Hörsituation (x-Achse). 64
- Abb. 4.29: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Beurteilung der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhaus in Bezug zum Hörprogramm (x-Achse). 64
- Abb. 4.30: Dargestellt sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen bei dem im Rahmen des Sound-Parcours eingesetzten Fragebogen. Die y-Achse zeigt die Bewertung der Halligkeit im halligen Treppenhaus. Die beiden Hörprogramme sind auf der x-Achse aufgetragen. 65

- Abb. 4.31: Zu sehen sind die Antworten (Mittelwerte und 95%-Konfidenzintervalle) der Testpersonen (y-Achse) auf die Frage nach der Bevorzugung der Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung und Entscheidung im halligen Treppenhaus in Bezug zum Hörprogramm (x-Achse). 66
- Abb. 4.32: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung einer Einstellung (y-Achse) im Hinblick auf die Gesamtlautstärke pro Situation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 67
- Abb. 4.33: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Natürlichkeit pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 68
- Abb. 4.34: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Schrällheit und Dämpfung pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 69
- Abb. 4.35: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Sprachverständlichkeit pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 70
- Abb. 4.36: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die Klangqualität pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 71
- Abb. 4.37: Dargestellt sind die Ergebnisse als Boxplots bei der Frage nach der Bevorzugung eines Hörprogramms (y-Achse) im Hinblick auf die absolute Bevorzugung pro Hörsituation (x-Achse). Die Boxplots zeigen den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie den Mittelwert \pm Standardabweichung an. 72
- Abb. 4.38: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem WAKO (Test), jeweils im Hörprogramm FF. 73
- Abb. 4.39: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiR bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem WAKO (TEST), jeweils im Hörprogramm BB. 74
- Abb. 4.40: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem OLSA (Retest), jeweils im Hörprogramm FF. 75
- Abb. 4.41: Dargestellt sind die Antworten der Testpersonen in der Hörsituation SiPar bei der Frage nach der Sprachverständlichkeit (y-Achse) gegenüber den Messergebnissen aus dem OLSA (Test), jeweils im Hörprogramm BB. 76

Abb. E.1: In-situ-Messergebnisse im Hörprogramm „Ruhige Umgebung“	119
Abb. E.2: In-situ-Messergebnisse im Hörprogramm „Ruhige Umgebung“	120
Abb. F.1: Messergebnisse des WAKO aus der 1. Sitzung (Test). Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	121
Abb. F.2: Messergebnisse des WAKO aus der 2. Sitzung (Test). Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	121
Abb. F.3: Differenzen des WAKO von Test und Retest. Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	122
Abb. F.4: Messergebnisse des OLSA aus der 1. Sitzung (Test). Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	122
Abb. F.5: Benefit des OLSA aus der 1. Sitzung (Test) FF vs. BB. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	123
Abb. F.6: Messergebnisse des OLSA aus der 2. Sitzung (Test). Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	123
Abb. F.7: Benefit des OLSA aus der 2. Sitzung (Test) FF vs. BB. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	123
Abb. F.8: Differenzen des OLSA von Test und Retest. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).	124
Abb. F.9: Sortierte Messergebnisse des WAKO und OLSA für die Auswertung in Statistica 10	124
Abb. G.1: Prüfung der Messergebnisse des WAKO aus der 1. Sitzung (Test) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.	125
Abb. G.2: Prüfung der Messergebnisse des WAKO aus der 2. Sitzung (Retest) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.	126
Abb. G.3: Prüfung der Messergebnisse des OLSA aus der 1. Sitzung (Test) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.	126
Abb. G.4: Prüfung der Messergebnisse des OLSA aus der 2. Sitzung (Retest) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.	127
Abb. H.1: Dargestellt als Boxplots sind die Ergebnisse von FF und BB (Test + Retest) anhand eines nicht-parametrischen Tests. Die y-Achse zeigt den SRT in dB, die x-Achse zeigt die beiden Konfigurationen FF und BB.	129
Abb. H.2: Ergebnisse der Prüfung auf Signifikanz zwischen FF und BB anhand eines nicht-parametrischen Tests.	129
Abb. J.1: Überprüfung der Antworten zur Gesamtlautstärke auf Normalverteilung	142
Abb. J.2: Überprüfung der Antworten zur Natürlichkeit auf Normalverteilung	142
Abb. J.3: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Gesamtlautstärke und Natürlichkeit auf Normalverteilung	143

Abb. J.4: Überprüfung der Antworten zur Schrillheit auf Normalverteilung	143
Abb. J.5: Überprüfung der Antworten zur Dumpfheit auf Normalverteilung	144
Abb. J.6: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Schrillheit und Dumpfheit auf Normalverteilung	144
Abb. J.7: Überprüfung der Antworten zur Sprachverständlichkeit auf Normalverteilung	145
Abb. J.8: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Sprachverständlichkeit	145
Abb. J.9: Überprüfung der Antworten zur Klangqualität auf Normalverteilung	146
Abb. J.10: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Klangqualität auf Normalverteilung	146
Abb. J.11: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Halligkeit der eigenen Stimme auf Normalverteilung	147
Abb. J.12: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhaus auf Normalverteilung	147
Abb. J.13: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung der Gesamtlautstärke, Halligkeit, Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung und endgültigen Entscheidung im halligen Treppenhaus auf Normalverteilung	148
Abb. J.14: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der endgültigen Entscheidung für ein Hörprogramm pro Hörsituation auf Normalverteilung	148
Abb. K.1: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation eS	149
Abb. K.2: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation SiR	149
Abb. K.3: U-Test: Bewertung der Dumpfheit für die Hörsituation SiR	149
Abb. K.4: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation SiStra	149
Abb. K.5: U-Test: Gesamtlautstärke	150
Abb. K.6: U-Test: Natürlichkeit	150
Abb. K.7: U-Test: Schrillheit und Dumpfheit	150
Abb. K.8: U-Test: Sprachverständlichkeit	150
Abb. K.9: U-Test: Klangqualität	151
Abb. K.10: U-Test: Entscheidung	151

7.3 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1: Gewichtungsfunktion zur Berechnung des Artikulationsindex [24].	15
Tab. 3.1: Messungen im Rahmen des WAKO.	35
Tab. 3.2: Messungen im Rahmen des OLSA.	36
Tab. 3.3: Sound-Parcours: Hörsituationen und zugehörige Klangbeispiele.	37
Tab. 3.4: Übersicht über die Signalarten und Darbietungswinkel der Klangbeispiele (vgl. Abb. 3.5).	38
Tab. 3.5: Übersicht der A- und C- bewerteten energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel (gesamt).	38
Tab. 3.6: Übersicht der A- und C- bewerteten SNR-Unterschiede der energieäquivalenten Dauerschalldruckpegel.	39
Tab. 4.1: Übersicht der zwei Faktoren und der Faktorausprägungen der auf den WAKO angewendeten zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen.	45
Tab. 4.2: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Ergebnisse der drei Konfigurationen nach der 1. Sitzung (siehe Abb. 4.5).	46
Tab. 4.3: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Ergebnisse der drei Konfigurationen nach der 2. Sitzung (siehe Abb. 4.6).	47
Tab. 4.4: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Test- und Retest-Abhängigkeit, der Abhängigkeit der drei Konfigurationen untereinander sowie des Test- und Retest-Einflusses auf die Konfigurationen (siehe Abb. 4.7 u. 4.8).	47
Tab. 4.5: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (Abb. 4.9).	49
Tab. 4.6: Übersicht der zwei Faktoren und der Faktorausprägungen der auf den OLSA angewendeten zweifaktoriellen ANOVA mit Messwiederholungen.	49
Tab. 4.7: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Messergebnisse der 1. Sitzung des OLSA (Abb. 4.10)	50
Tab. 4.8: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen für die Messergebnisse der 2. Sitzung des OLSA (siehe Abb. 4.11).	51
Tab. 4.9: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (Abb. 4.12).	52
Tab. 4.10: Darstellung der Messergebnisse der ANOVA mit Messwiederholungen (siehe Abb. 4.14).	53
Tab. 4.11: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die von der Hörsituation abhängigen Bewertungen der Gesamtlautstärke der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.15).	55
Tab. 4.12: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Natürlichkeit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.17).	57

Tab. 4.13: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Klangqualität der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.19).	58
Tab. 4.14: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Schrällheit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.21).	59
Tab. 4.15: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Dumpfheit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.23).	61
Tab. 4.16: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die hörsituationsabhängige Bewertung der Sprachverständlichkeit der beiden Hörsystemeinstellungen (siehe Abb. 4.25).	62
Tab. 4.17: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Halligkeit der eigenen Stimme und der beiden Hörprogramme (Abb. 4.27).	63
Tab. 4.18: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die sechs unterschiedlichen Hörsituationen (siehe Abb. 4.28).	64
Tab. 4.19: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhaus und der beiden Hörprogramme (siehe Abb. 4.29).	65
Tab. 4.20: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Halligkeit im halligen Treppenhaus und der beiden Hörprogramme (siehe Abb. 4.30).	65
Tab. 4.21: Darstellung der Ergebnisse der ANOVA für die Bewertung der Kriterien Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung sowie Entscheidung im halligen Treppenhaus (siehe Abb. 4.31).	66
Tab. 4.22: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.32, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.32).	67
Tab. 4.23: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.33, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.33).	68
Tab. 4.24: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.34, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.34).	69
Tab. 4.25: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.35, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.35).	70
Tab. 4.26: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.36, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Testprobandenanzahl (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.36).	71

Tab. 4.27: Numerische Anzeige der als Boxplot dargestellten Daten aus Abb. 4.37, welche den Mittelwert, den Mittelwert \pm Standardfehler sowie Mittelwert \pm Standardabweichung anzeigt. Zudem werden die Anzahl der Testpersonen (N), die Freiheitsgrade (df) und der p-Wert (p) angezeigt (siehe Abb. 4.37).

72

7.4 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesgesetz über Arzneimittel und Medizinprodukte (Heilmittelgesetz, HMG), Stand 01.10.2010.
- [2] „Akademie für Hörgeräteakustik (www.aha-luebeck.de) - Offene Anpassung - Teil I“.
- [3] Bender R, Lange St. Was ist ein Konfidenzintervall? *DMW-Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 126(Suppl. Statistik):T-41, 2001.
- [4] Vlaming M, Bisgaard N, Dahlquist M. Standard audiograms for the IEC 60118-15 measurement procedure. *Trends in Amplification*, 14(2):113–120, 2010.
- [5] Buerkli-Halevy O. Frequency response selection – is low frequency amplification really superfluous? *Phonak Focus*, (5):1–4, 1988.
- [6] Dillon H, Ching T, Katsch R, Keidser G, Byrne D. NAL-NL1 procedure for fitting non-linear hearing aids: Characteristics and comparisons with other procedures. *Journal of the American Academy of Audiology*, 12(1):37–51, 2001.
- [7] Ching TY. Special issue on paediatric amplification. *International Journal of Audiology*, 49(S1), 2010.
- [8] Seewald RC, Cornelisse LE, Jamieson DG. Fitting wide-dynamic-range compression hearing aids: DSL [i/o] approach. *Hearing Journal*, 47:23, 1994.
- [9] Dillon H. Hearing aids. 2001.
- [10] Keiser G, Ching TY, Flax MR, Dillon H, Brewer S. The NAL-NL2 prescription procedure. *Phonak Focus* 40, 40, 2011.
- [11] Phoa F, Johnson Zheng M, Dinov I, Hsieh M. Ucla stat 13: Introduction to statistical methods for the life and health sciences.
- [12] Du Prel JB, Röhrig BG, Hommel G, Blettner M. Auswahl statistischer Testverfahren. *Deutsches Ärzteblatt*, 107(19):343–348, 2010.
- [13] Akademie für Hörgeräteakustik. Hörsystemtechnologien - Teil 1: Anpassalgorithmen. *Hörakustik*, (4):38–40, 2013.
- [14] Gatehouse S, Noble W. The speech, spatial and qualities of hearing scale (SSQ). *International Journal of Audiology*, 43:85–99, 2004.
- [15] Gaten T. Mann-Whitney and Wilcoxon matched pairs – online statistics. www.le.ac.uk, 2000.
- [16] Gnewikow D, Moss M. Hearing aid outcomes with open- and closed-canal fittings. *The Hearing Journal*, 59(11):66–68, 2006.
- [17] Dillon H, Keidser G. What is new in prescriptive fittings down under. *Hearing care for adults*, 133–142, 2006.
- [18] O'Brien A, Carter L, McLelland M, Keidser G, Yeend I. Variation in preferred gain with experience for hearing-aid users. *International Journal of Audiology*, 47(10):621–635, 2008.
- [19] Müller C, Wesselkamp M, Kollmeier B, Kliem K. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Band 1:216–237, 1992.

- [20] Kuk, FD, Keenan D, Sonne M, Ludvigsen C. Efficacy of an open-fitting hearing aid. *Hearing Review*, 12(2):26–32, 2005.
- [21] Kuk F, Keenan D. Fitting tips: How do vents affect hearing aid performance? *Hearing Review*, 13(2):34–42, 2006.
- [22] Latzel M. Adaptive Phonak Digital (APD). 2013.
- [23] Lehnhardt E, Laszig R. Praxis der Audiometrie. 8. Aufl., 2000.
- [24] Glasberg BR, Moore BC, Baer T. A model for the prediction of thresholds, loudness, and partial loudness. *Journal of the Audio Engineering Society*, 45(4):224–240, 1997.
- [25] Glasberg BR, Moore BC, Stone MA. New version of the TEN test with calibrations in dB HL. *Ear and hearing*, 25(5):478–487, 2004.
- [26] Mueller HG, Killion MC. An easy method for calculating the articulation index. *Hearing Journal*, 43(9):14–17, 1990.
- [27] Dittberner AB, Ricketts TA, Johnson EE. High-frequency amplification and sound quality in listeners with normal through moderate hearing loss. *Journal of Speech, Language and Hearing Research*, 51(1):160, 2008.
- [28] Schumacher M, Schulgen G. Methodik klinischer Studien – Methodische Grundlagen der Planung, Durchführung und Auswertung. 2., erw. u. überarb. Aufl., 2006.
- [29] Seewald R, Cornelisse L, Moodie S, Bagatto M, Larnagaray D, Scollie S, Pumford J. The desired sensation level multistage input/output algorithm. *Trends in Amplification*, 9(4):159–197, June 2005.
- [30] Seewald RC, Ross M, Spiro MK. Selecting amplification characteristics for young hearing-impaired children. *Ear and Hearing*, 6(1):48–53, April 1985.
- [31] Shapiro SS, Wilk MB. An analysis of variance test for normality (complete samples). 52:591–611, 1965.
- [32] Sotscheck J. A rythme test for intelligibility measurements in German as an improved procedure for determining speech transmission quality. *Speech Communication*, 1(1):83, 1982.
- [33] Streppel M, Walger M, von Wedel H, Gaber E. Hörstörungen und Tinnitus. *Gesundheitsberichterstattung des Bundes*, 29, 2006.
- [34] Tchorz J. Grundkurs Statistik - Vorlesungsskript Fachhochschule Lübeck. 2013.
- [35] Ulrich J, Hoffmann E. Hörakustik 2.0 – Theorie und Praxis. 2.0, 2011.
- [36] Unruh PS, Zeller HW. CE-Kennzeichnung von Medizinprodukten. 1996.
- [37] von Wallenberg EL, Kollmeier B. Sprachverständlichkeitsmessungen für die Audiologie mit einem Reimtest in deutscher Sprache: Erstellung und Evaluation von Testlisten. *Audiol Akustik*, 28:50–65, 1989.
- [38] Kühnel V, Wagener K, Kollmeier B. Entwicklung und Evaluation eines Satztests für die deutsche Sprache: Design des Oldenburger Satztests. *Zeitschrift für Audiologie*, 38:4–15, 86–95, 1999.
- [39] Wellek S, Blettner M. On the proper use of the crossover design in clinical trials: Part 18 of a series on evaluation of scientific publications. *Deutsches Ärzteblatt*, 109(15):76–81, 2012.

8. Danksagung

Herzlich bedanken möchte ich mich beim gesamten Team der Abteilung Hearing Performance – System Integration, welches mir die Möglichkeit gegeben hat, mein Praktikum und die anschließende Bachelorarbeit zu verfassen.

Ein besonderer Dank richtet sich an meinen Betreuer, Dr. Volker Kühnel, der für alle Fragen stets ein offenes Ohr hatte und mir jederzeit beratend zur Seite gestanden hat. Zudem richtet sich ein besonderer Dank an Jasmin Kaur, welche mich mit großem Einsatz bei der Planung und Vorbereitung meiner Studie unterstützt hat.

Ein weiterer Dank geht an Dr. Alfred Stirnemann und Dr. Andreas von Buol, die mir insbesondere bei der statistischen Auswertung unterstützend zur Seite gestanden haben, sowie an Dr. Stefan Pislak für das mehrmalige Korrekturlesen meiner Arbeit.

Ein weiterer, ganz besonderer Dank geht an Herrn Prof. Dr. Jürgen Tchorz von der Fachhochschule Lübeck für die lehrreiche Studienzeit in Lübeck sowie für die beratende Unterstützung während der gesamten Studiendauer sowie beim Verfassen dieser Bachelorarbeit.

Zum Schluss bedanke ich mich bei meinen Eltern, welche mir durch ihre finanzielle Unterstützung das Studium ermöglicht und viel Last von den Schultern genommen haben, bei Jana-Kosima Schwarzlos für die moralische Unterstützung während der Anfertigung dieser Arbeit, bei meinem Ausbildungsmeister, Herrn Siegfried Steiner, der mir durch eine wunderbare und lehrreiche Ausbildungszeit den Einstieg in die Hörakustik überhaupt erst ermöglicht hat, sowie Herrn Holger Mahlke, der mir während des Studiums die Möglichkeit gegeben hat, in seinen Fachgeschäften zu arbeiten und damit das Studium zu finanzieren.

A. Verwendete Hardware

■ Hörsystem – Prototypen

Phonak, Paris BTE, SN: 1315H0E7J (rechts) und SN: HI13030509 (links)

■ NOAHlink

HIMSA, SN: 204431

■ Computer

Dell Optiplex 780, Windows 7

■ Soundkarte

RME, Fireface 400 und 800

■ Lautsprecher

GENELEC, Active Monitor, Typ 1029A

■ In-situ-Messanlage

GN Otometrics, Aurical 2

B. Verwendete Software

■ Fitting Software

Phonak Target (Internal) Version 3.2.0.2197

■ Statistikprogramm

STATISTICA Version 10.0.0.0

Microsoft Excel Version 2010

■ Audioeditor-Software

Adobe Audition Version 3.0

■ Oldenburger Messprogramme

AFM-OLSA Version 1.0

WAKO Version 1.3

Reim Dongle M883

C. Fragebogen



Fragebogen: Labor Test

Client ID:

Geschlecht:

Geburtsdatum:

Hörsystemträger:

Tube-Länge:

Dome-Grösse:

Messergebnisse:

Wako:

1, TL: ____ dB ____ %

2,

A, unversorgt: ____ dB ____ %

B, Programm 1: ____ dB ____ %

C, Programm 2: ____ dB ____ %

OLSA:

SRT ____ dB

SRT ____ dB

SRT ____ dB

SRT ____ dB

SRT ____ dB



Fragebogen: Labor Test

1. Bitte bewerten Sie Ihre „eigene Stimme“, indem Sie den vorliegenden Text laut vorlesen:

1. a, Bitte bewerten Sie die Lautstärke Ihrer eigenen Stimme:



1. b, Wie natürlich klingt Ihre eigene Stimme?



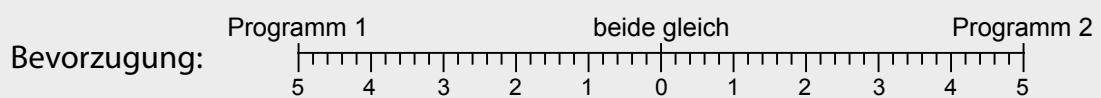
1. c, Wie hallig klingt Ihre eigene Stimme?





Fragebogen: Labor Test

1. d, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?

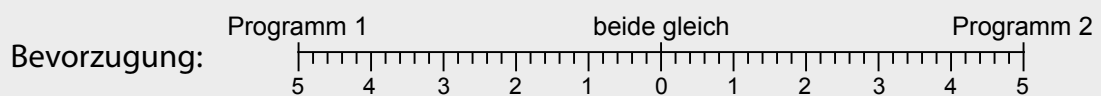
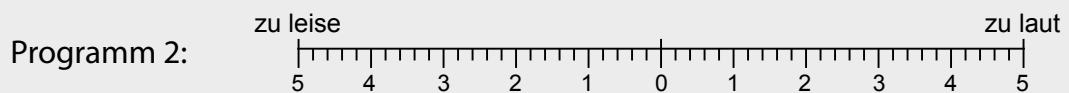
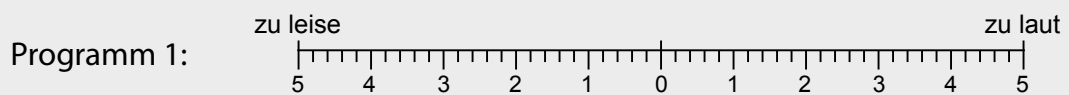


1. e, Sind Ihnen beim lauten Lesen des Textes weitere Besonderheiten bei Ihrer eigenen Stimme aufgefallen?

2. Bitte bewerten Sie folgende Situationen:

2.1 Bitte bewerten Sie im folgenden „Sprache in Ruhe“:

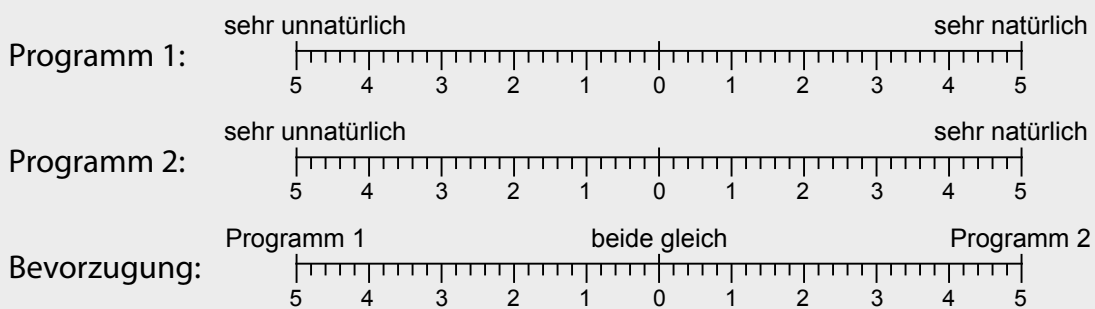
2.1 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke von Sprache in Ruhe?



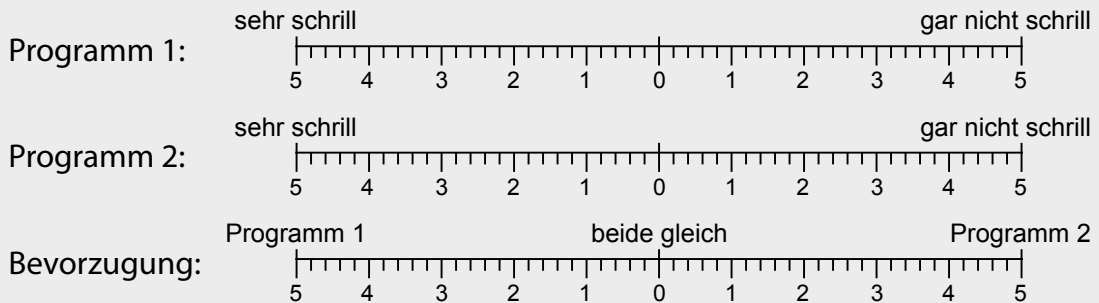


Fragebogen: Labor Test

2.1 b, Wie natürlich klingt für Sie Sprache in Ruhe?



2.1 c, Erscheint Ihnen Sprache in Ruhe als schrill?



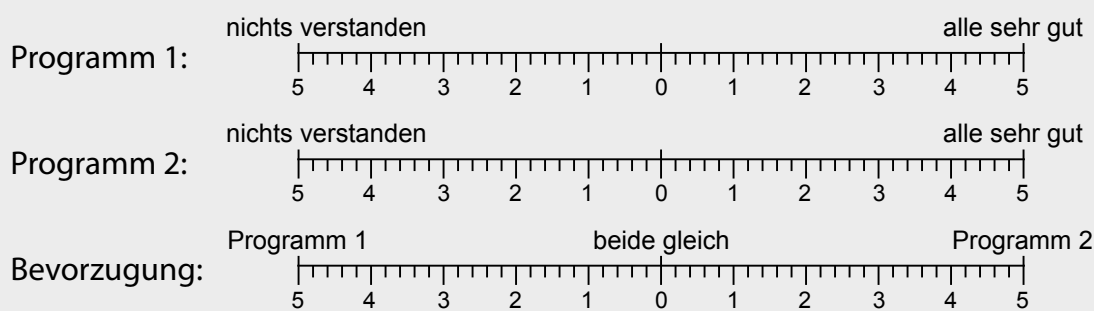
2.1 d, Erscheint Ihnen Sprache in Ruhe als dumpf?



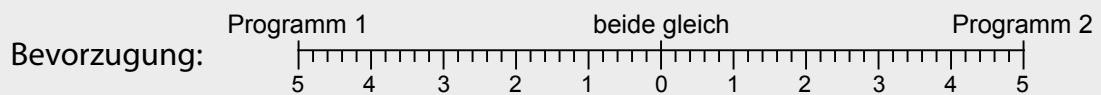


Fragebogen: Labor Test

2.1 e, Wie gut oder schlecht haben Sie Sprache in Ruhe verstanden?



2.1 f, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?



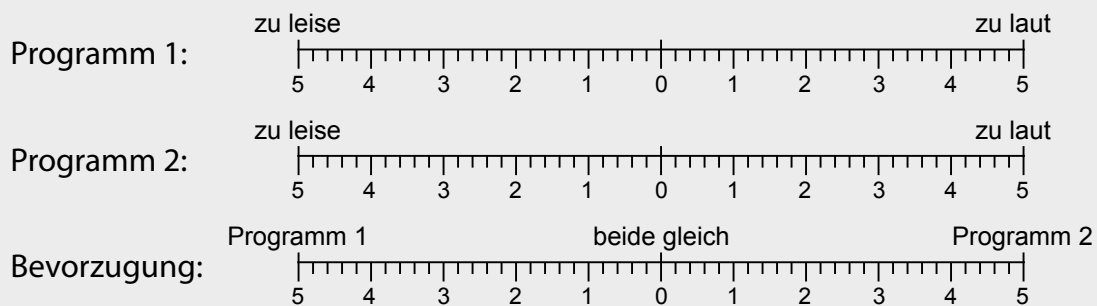
2.1 g, Sind Ihnen bei Sprache in Ruhe weitere Besonderheiten aufgefallen?



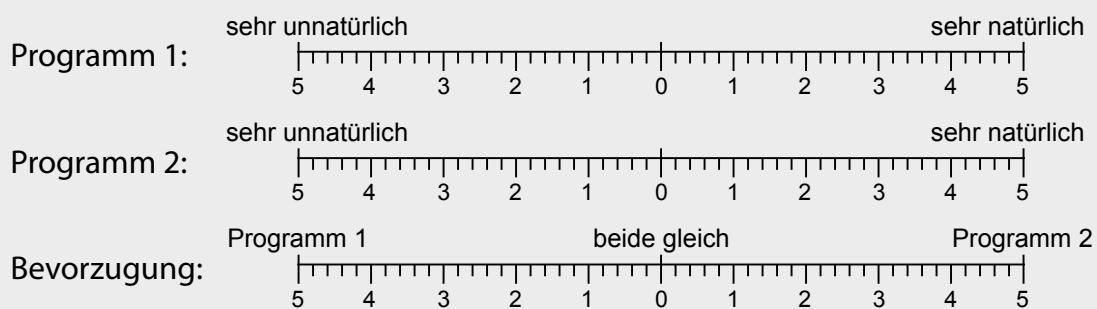
Fragebogen: Labor Test

2.2 Bitte bewerten Sie im folgenden „Sprache in geräuschvoller Umgebung - Strassenlärm“:

2.2 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke von Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm?



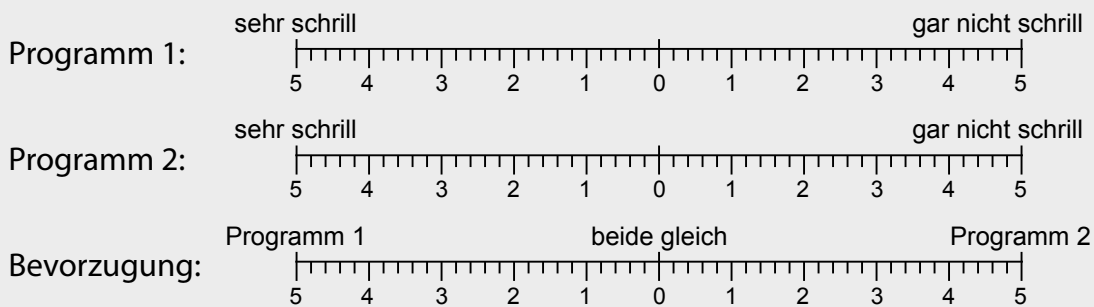
2.2 b, Wie natürlich klingt für Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm?



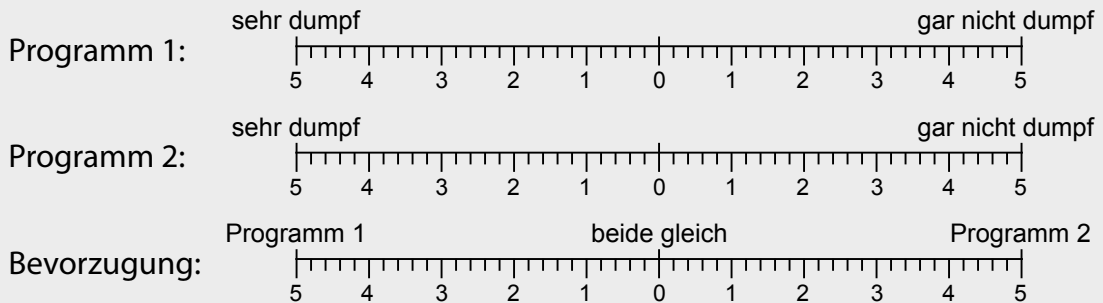


Fragebogen: Labor Test

2.2 c, Klingt Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm schrill?



2.2 d, Klingt Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm dumpf?



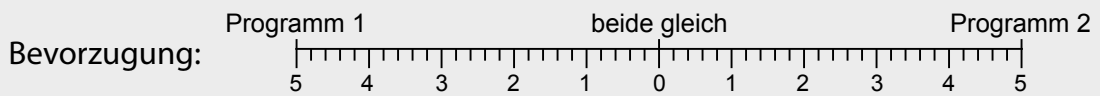
2.2 e, Wie gut oder schlecht haben Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm verstanden?





Fragebogen: Labor Test

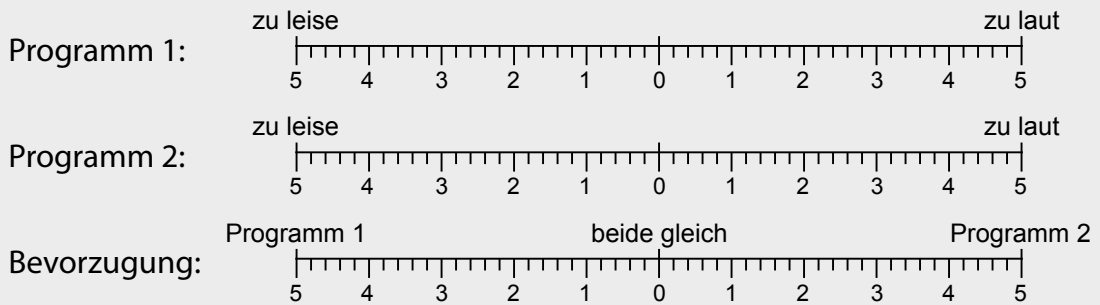
2.2 f, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?



2.2 g, Sind Ihnen bei Sprache in geräuschvoller Umgebung – Strassenlärm weitere Besonderheiten aufgefallen?

2.3 Bitte bewerten Sie im folgenden „Sprache in geräuschvoller Umgebung - Partylärm“:

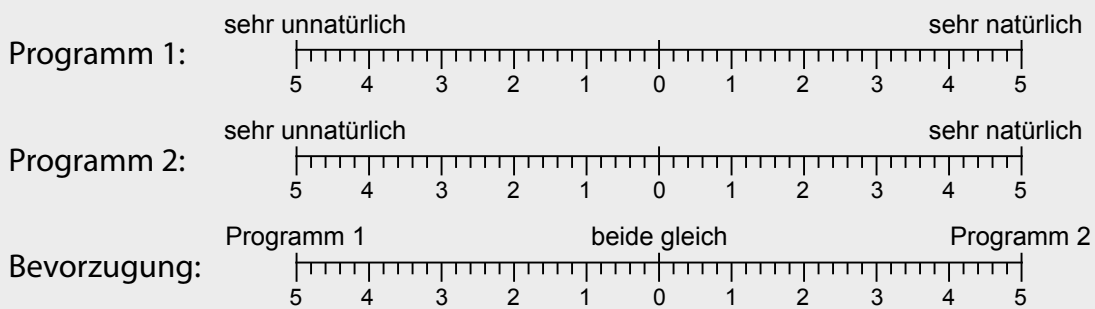
2.3 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke von Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm?



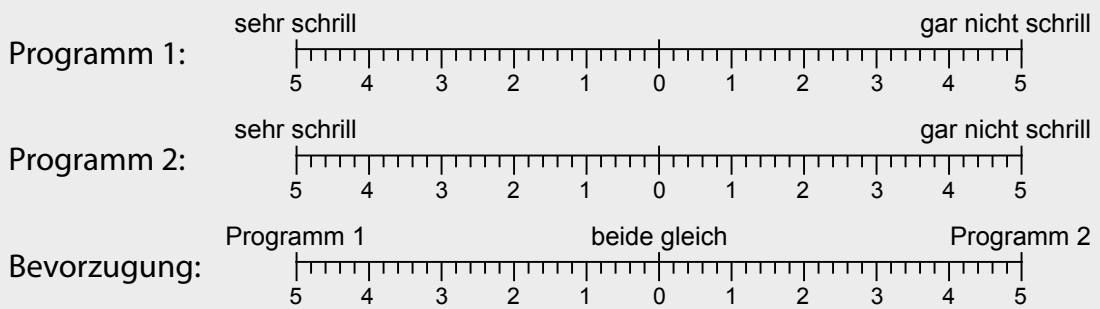


Fragebogen: Labor Test

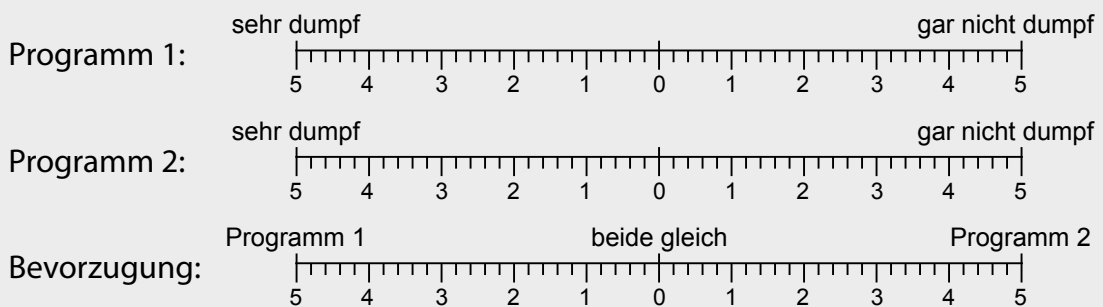
2.3 b, Wie natürlich klingt für Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm?



2.3 c, Klingt Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm schrill?



2.3 d, Klingt Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm dumpf?



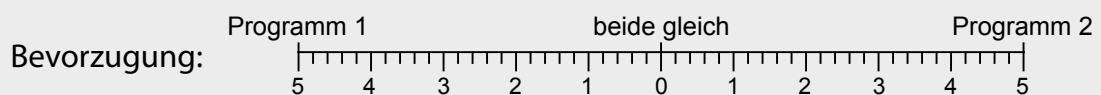


Fragebogen: Labor Test

2.3 e, Wie gut oder schlecht haben Sie Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm verstanden?



2.3 f, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?



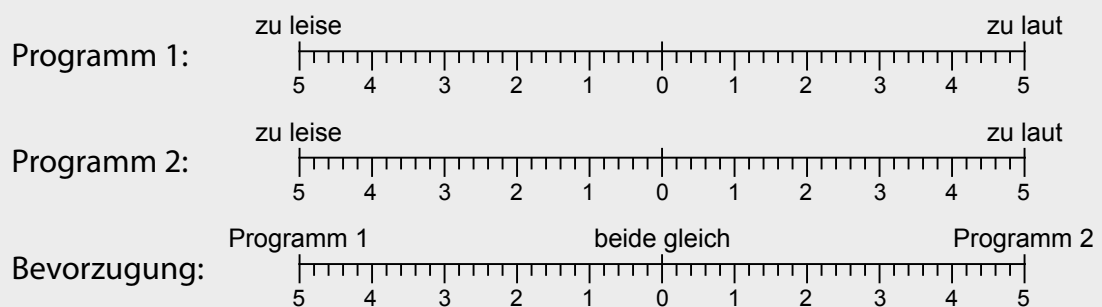
2.3 g, Sind Ihnen bei Sprache in geräuschvoller Umgebung – Partylärm weitere Besonderheiten aufgefallen?



Fragebogen: Labor Test

2.4 Bitte bewerten Sie im folgenden „Musik in Zimmerlautstärke“:

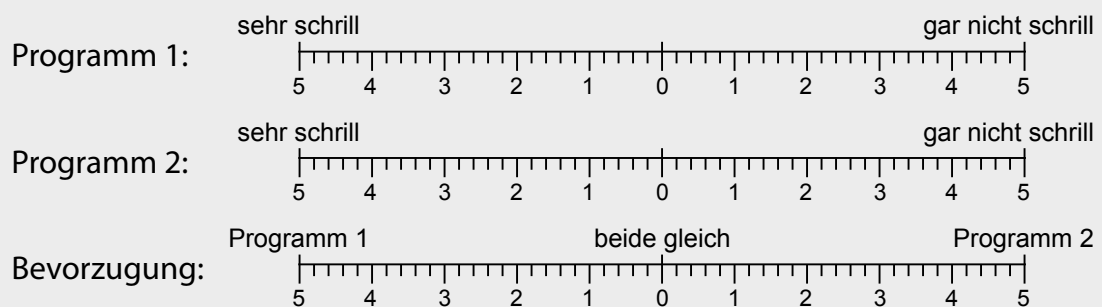
2.4 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke von Musik in Zimmerlautstärke?



2.4 b, Wie beurteilen Sie die Klangqualität von Musik in Zimmerlautstärke?



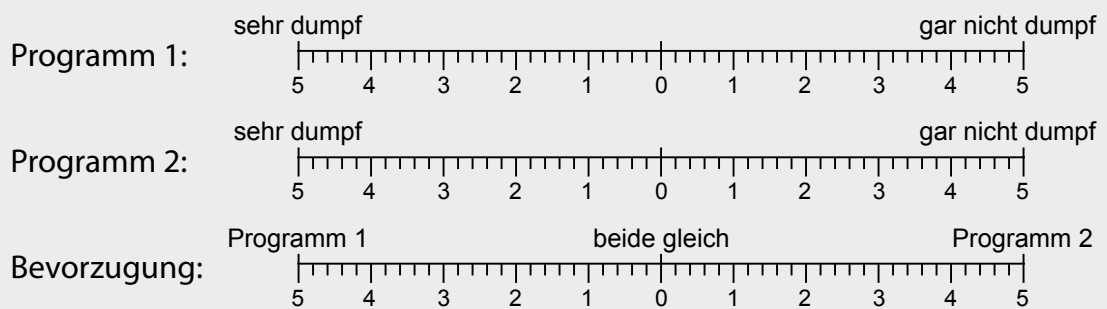
2.4 c, Klingt Musik in Zimmerlautstärke schrill?



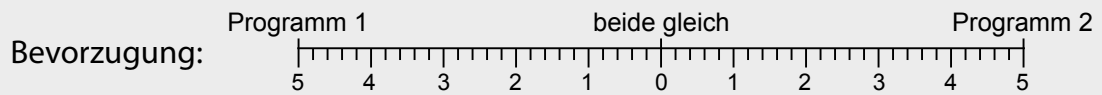


Fragebogen: Labor Test

2.4 d, Klingt Musik in Zimmerlautstärke dumpf?



2.4 e, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?



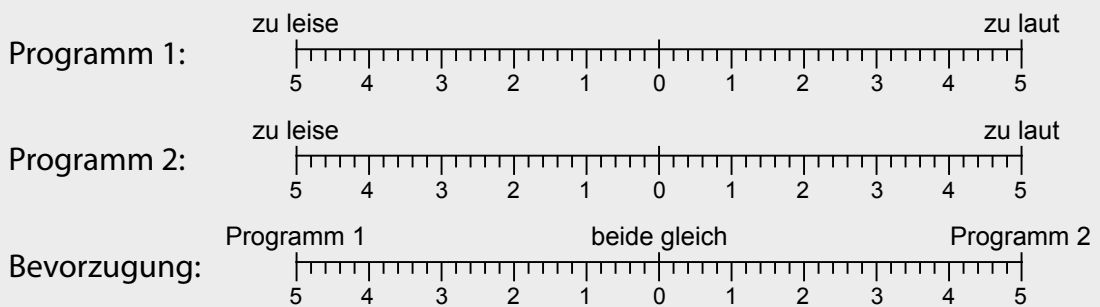
2.4 f, Sind Ihnen beim Hören von Musik in Zimmerlautstärke weitere Besonderheiten aufgefallen?



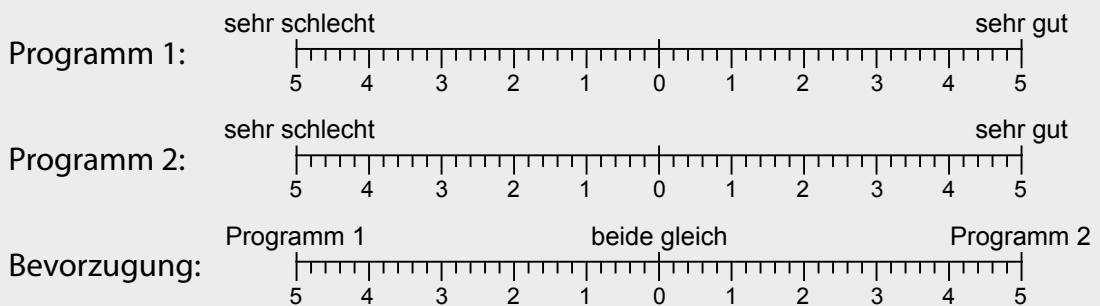
Fragebogen: Labor Test

2.5 Bitte bewerten Sie im folgenden „laute dynamische Musik“:

2.5 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke von dynamischer lauter Musik?



2.5 b, Wie beurteilen Sie die Klangqualität von lauter dynamischer Musik?



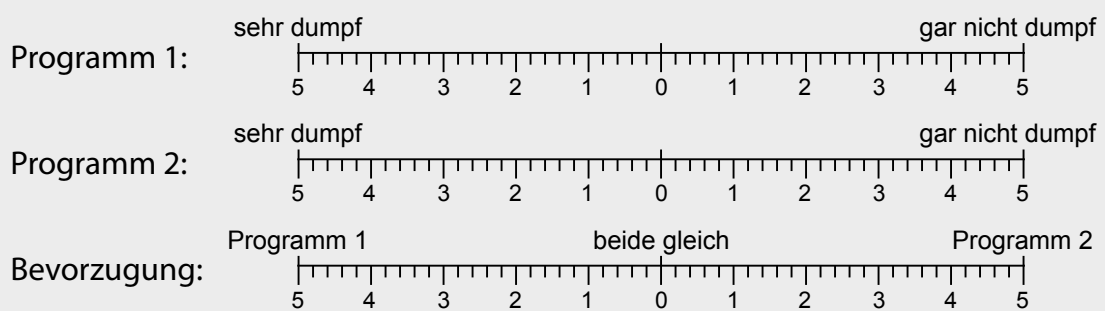
2.5 c, Klingt laute dynamische Musik schrill?



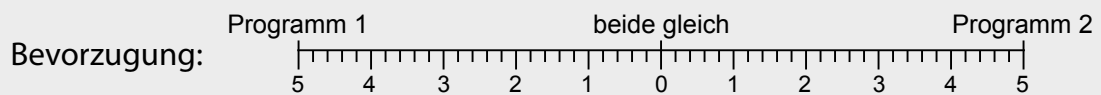


Fragebogen: Labor Test

2.5 d, Klingt laute dynamische Musik dumpf?



2.5 e, Für welches Programm würden Sie sich entscheiden?



2.4 f, Sind Ihnen beim Hören von lauter dynamischer Musik weitere Besonderheiten aufgefallen?



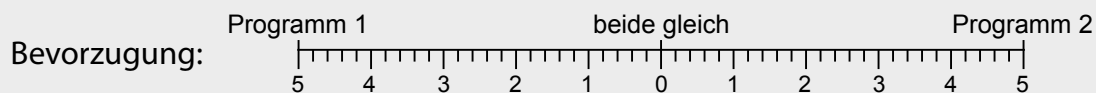
Fragebogen: Labor Test

2.6 Bitte bewerten Sie im Folgenden die Situation „halliges Treppenhaus“:

2.6 a, Wie beurteilen Sie die Gesamtlautstärke beim Hören im „halligen Treppenhaus“?



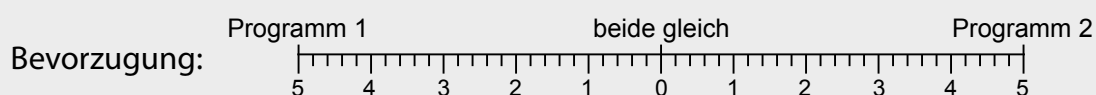
2.6 b, Mit welchem Programm verstehen Sie im „halligen Treppenhaus“ Sprache besser?



2.6 c, Welches Programm hat für Sie im „halligen Treppenhaus“ die bessere Klangqualität?



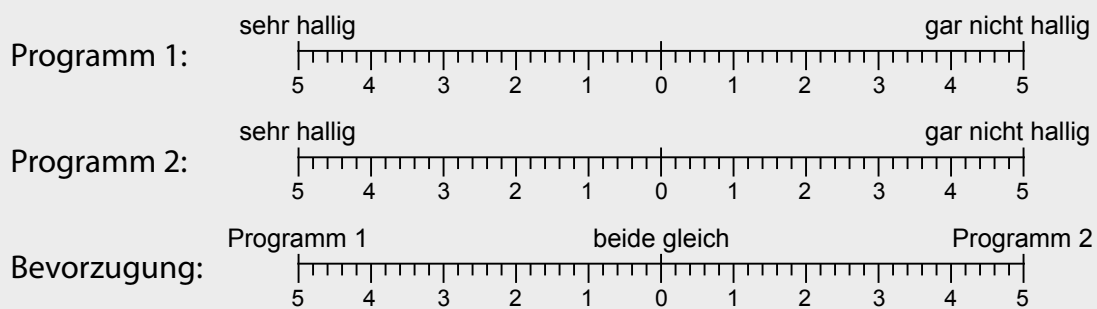
2.6 d, Mit welchem Programm haben Sie im „halligen Treppenhaus“ die geringere Anstrengung beim Zuhören?



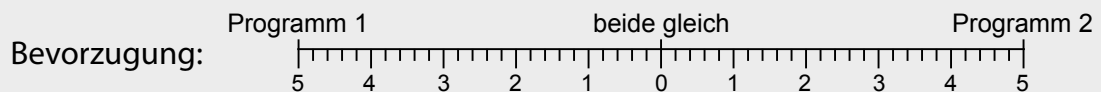


Fragebogen: Labor Test

2.6 e, Wie hallig klingt die Situation „halliges Treppenhaus“?



2.6 f, Für welches Programm würden Sie sich in der Situation „halliges Treppenhaus“ entscheiden?



2.6 g, Sind Ihnen beim Hören in der Situation „halliges Treppenhaus“ weitere Besonderheiten aufgefallen?

D. Sound-Parcours – „eigene Stimme“

Hörverlust ist nach wie vor ein unterschätztes Thema, obwohl die Zahlen eine eindeutige Sprache sprechen: Weltweit sind über 630 Millionen Menschen von Hörverlust betroffen, wobei sich rund die Hälfte der Fälle durch Prävention vermeiden lassen würde. Jährlich kommen rund 660.000 Kinder mit einem signifikanten Hörverlust zur Welt.

E. Messergebnisse – In-situ-Messungen

ID	Env	Prog	LE	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500				
VP198E	Probe Mcr. SPL	Left	1	0,25	50	59,3	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Right	2	0,25	50	59,3	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Left	1	0,27	50	59,4	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Right	2	0,27	50	59,4	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Left	3	0,38	50	59,5	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Right	4	0,38	50	59,5	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Left	3	0,31	50	59,6	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Right	4	0,31	50	59,6	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Left	4	0,48	50	59,7	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Right	4	0,51	50	59,8	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500
	Probe Mcr. SPL	Left	1	0,36	50	59,9	67,5	Signal	320	360	400	450	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200	1250	1300	1350	1400	1450	1500

Abb. E.1: In-situ-Messergebnisse im Hörprogramm „Ruhige Umgebung“

Table with columns: ID, Ear, Prog, LE, Signal, and 24 columns of numerical data. The table lists results for various individuals (ID) across different ear types (Left/Right) and program numbers (Prog), showing signal strength (LE) and signal quality (Signal) for each of the 24 measurement points.

Abb. E.2: In-situ-Messergebnisse im Hörprogramm „Ruhige Umgebung“

F. Messergebnisse – WAKO und OLSA

F.1 WAKO – Test

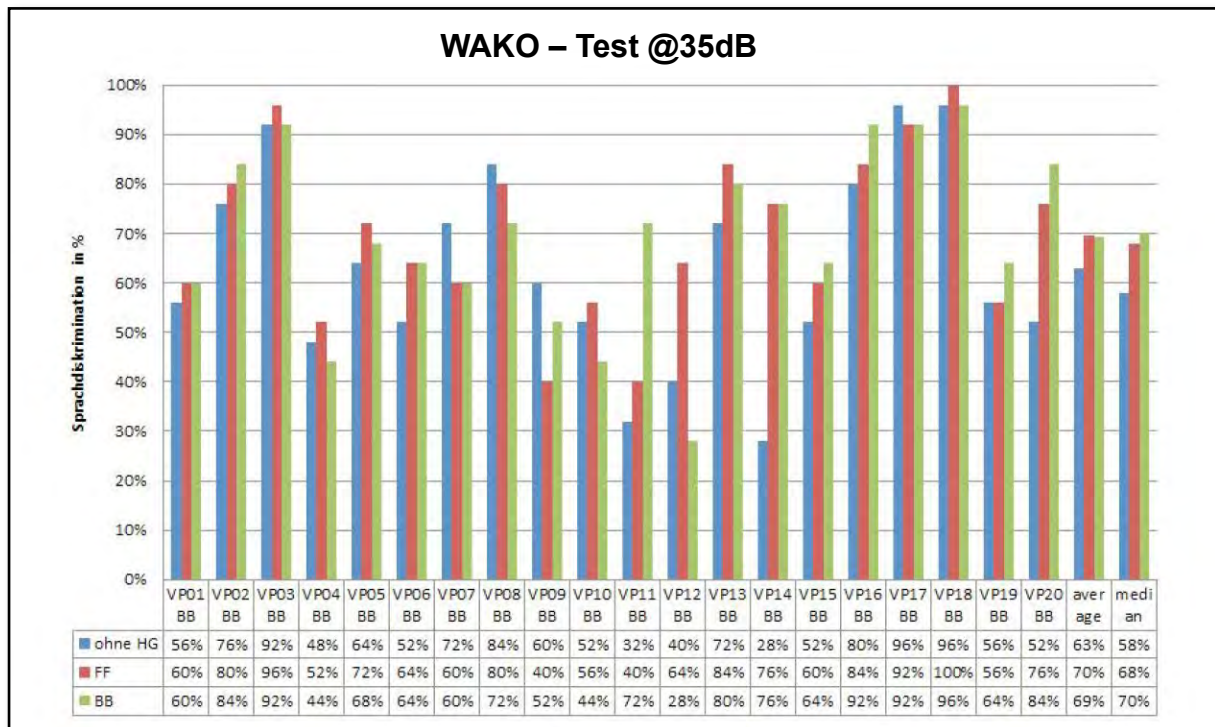


Abb. F.1: Messergebnisse des WAKO aus der 1. Sitzung (Test). Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.2 WAKO – Retest

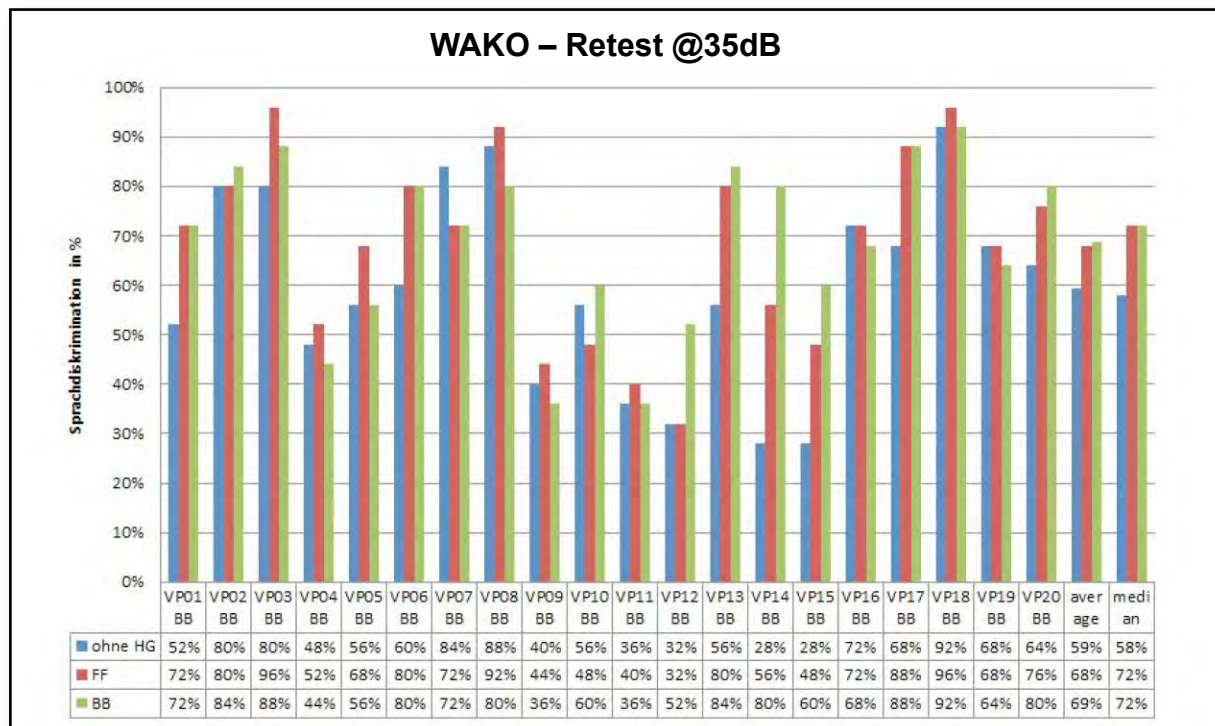


Abb. F.2: Messergebnisse des WAKO aus der 2. Sitzung (Test). Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.3 WAKO – Abweichungen Test vs. Retest (Reliabilität)

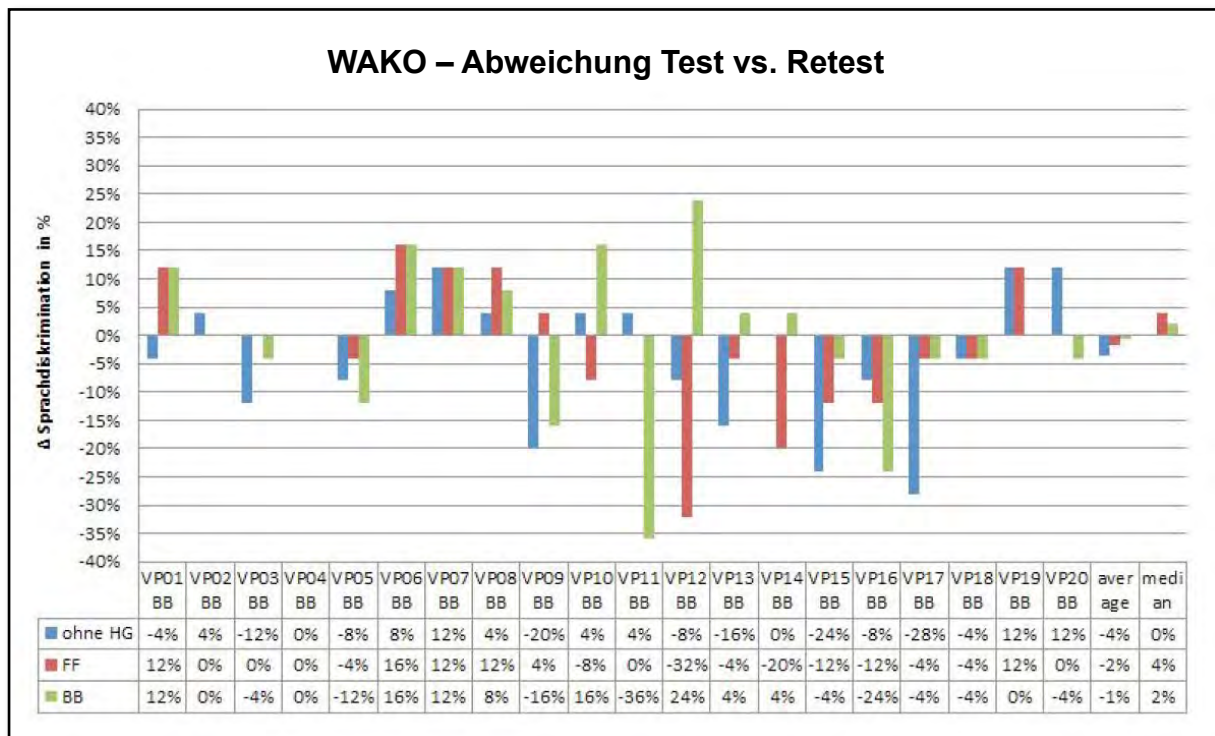


Abb. F.3: Differenzen des WAKO von Test und Retest. Dargestellt ist die Sprachdiskrimination in Prozent (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.4 OLSA – Test

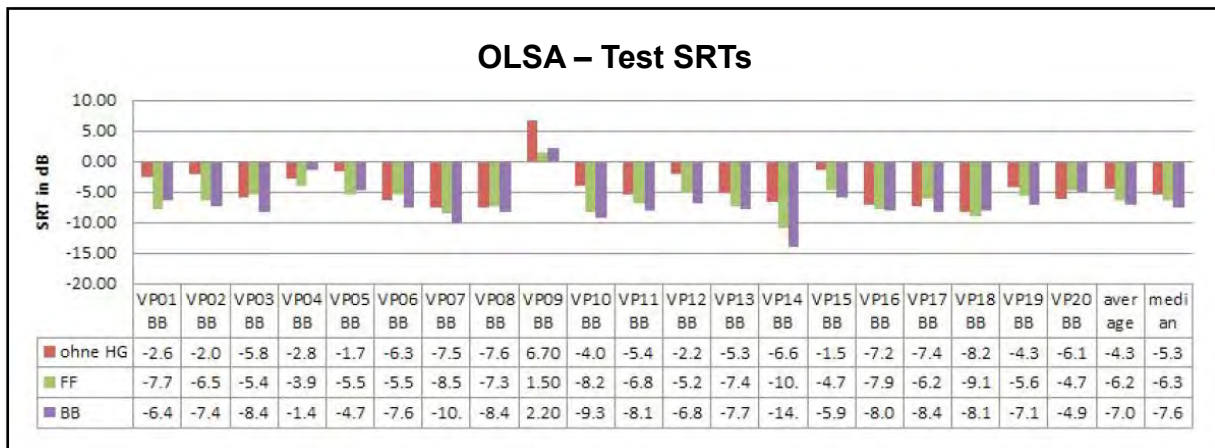


Abb. F.4: Messergebnisse des OLSA aus der 1. Sitzung (Test). Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.5 Benefit OLSA Test BB vs. FF

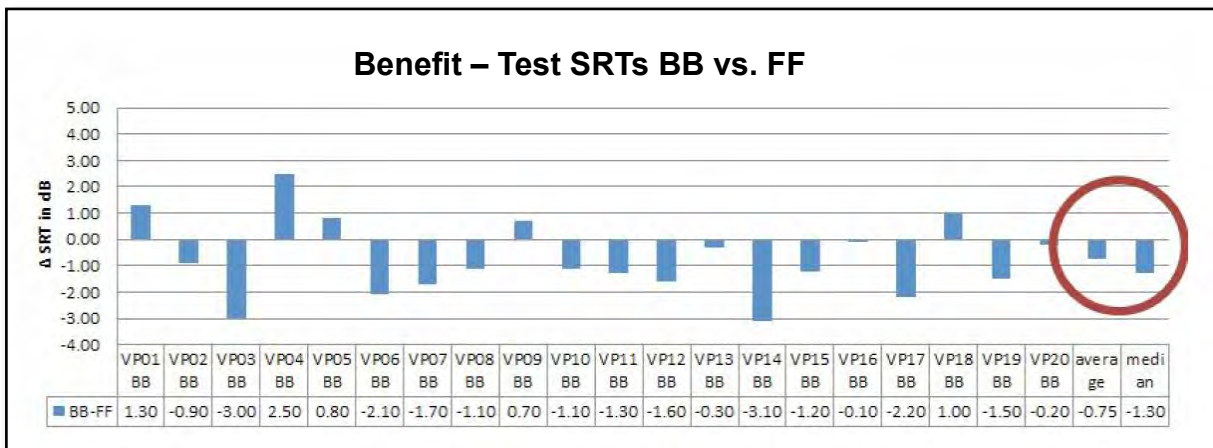


Abb. F.5: Benefit des OLSA aus der 1. Sitzung (Test) FF vs. BB. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.6 OLSA - Retest

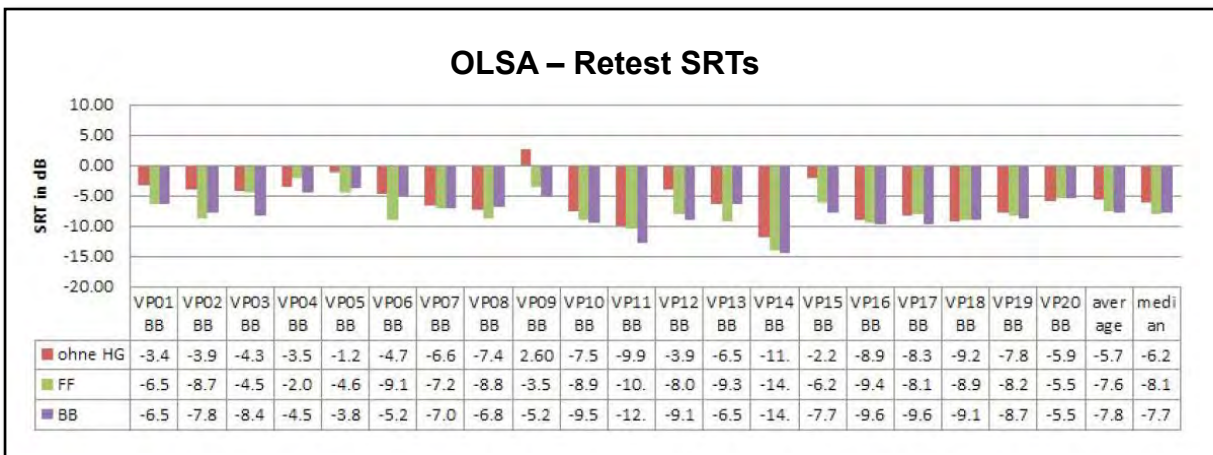


Abb. F.6: Messergebnisse des OLSA aus der 2. Sitzung (Test). Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.7 Benefit OLSA Retest BB vs. FF

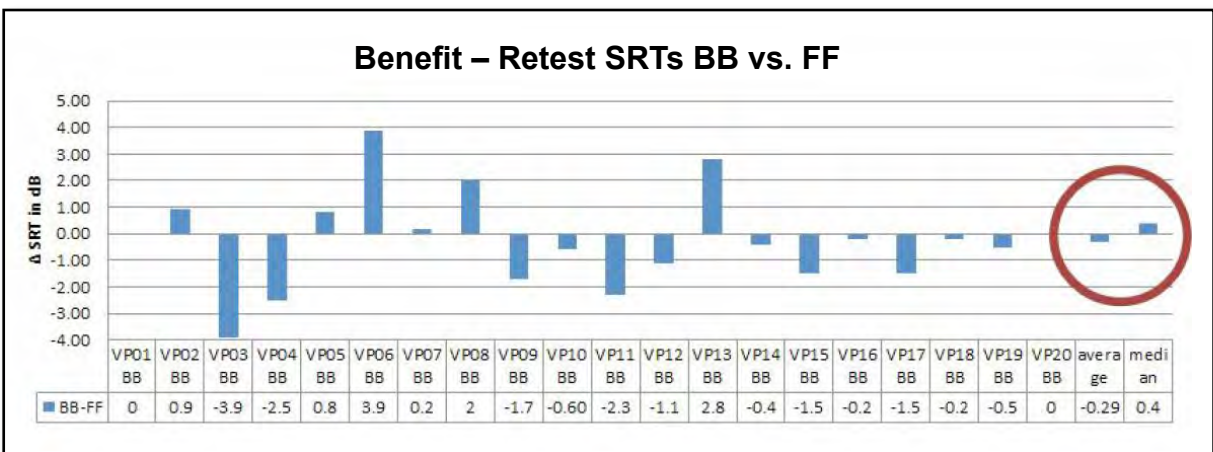


Abb. F.7: Benefit des OLSA aus der 2. Sitzung (Test) FF vs. BB. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.8 OLSA – Abweichungen Test vs. Retest (Reliabilität)

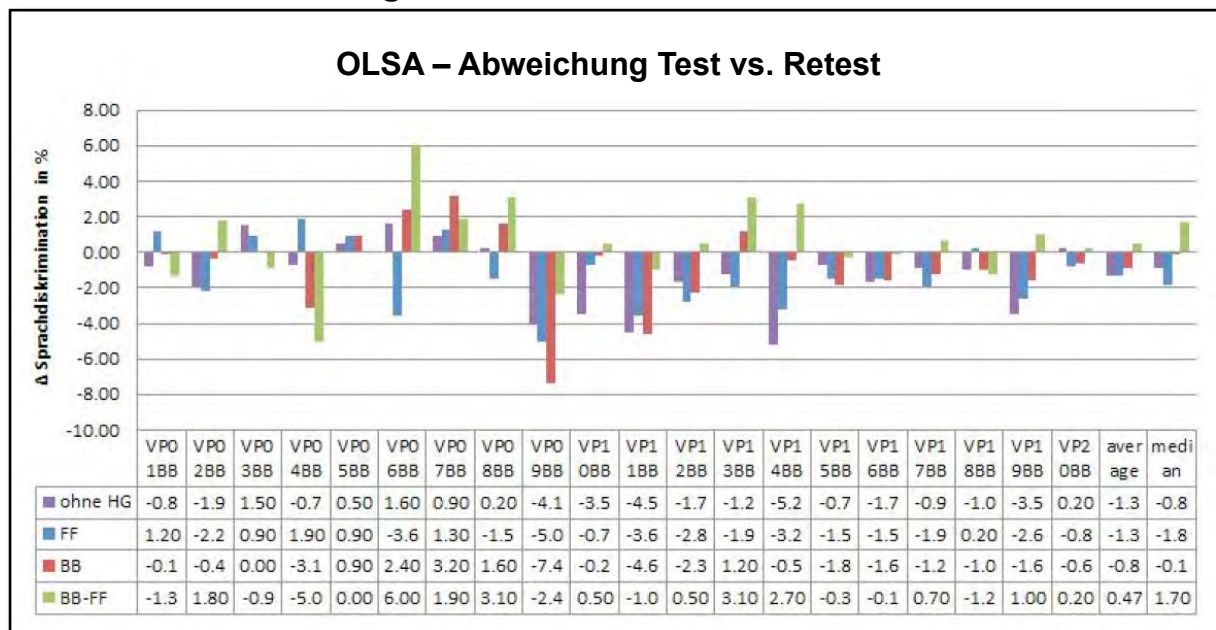


Abb. F.8: Differenzen des OLSA von Test und Retest. Dargestellt ist der SRT in dB (y-Achse) für die jeweilige Testperson (x-Achse).

F.9 Sortierte Daten für Statistica 10

ID	T_W_o	T_W_FF	T_W_BB	T_O_o	T_O_FF	T_O_BB	R_W_o	R_W_FF	R_W_BB	R_O_o	R_O_FF	R_O_BB
VP01BB	0.56	0.60	0.60	-2.60	-7.70	-6.40	0.52	0.72	0.72	-3.40	-6.50	-6.50
VP02BB	0.76	0.80	0.84	-2.00	-6.50	-7.40	0.80	0.80	0.84	-3.90	-8.70	-7.80
VP03BB	0.92	0.96	0.92	-5.80	-5.40	-8.40	0.80	0.96	0.88	-4.30	-4.50	-8.40
VP04BB	0.48	0.52	0.44	-2.80	-3.90	-1.40	0.48	0.52	0.44	-3.50	-2.00	-4.50
VP05BB	0.64	0.72	0.68	-1.70	-5.50	-4.70	0.56	0.68	0.56	-1.20	-4.60	-3.80
VP06BB	0.52	0.64	0.64	-6.30	-5.50	-7.60	0.60	0.80	0.80	-4.70	-9.10	-5.20
VP07BB	0.72	0.60	0.60	-7.50	-8.50	-10.20	0.84	0.72	0.72	-6.60	-7.20	-7.00
VP08BB	0.84	0.80	0.72	-7.60	-7.30	-8.40	0.88	0.92	0.80	-7.40	-8.80	-6.80
VP09BB	0.60	0.40	0.52	6.70	1.50	2.20	0.40	0.44	0.36	2.60	-3.50	-5.20
VP10BB	0.52	0.56	0.44	-4.00	-8.20	-9.30	0.56	0.48	0.60	-7.50	-8.90	-9.50
VP11BB	0.32	0.40	0.72	-5.40	-6.80	-8.10	0.36	0.40	0.36	-9.90	-10.40	-12.70
VP12BB	0.40	0.64	0.28	-2.20	-5.20	-6.80	0.32	0.32	0.52	-3.90	-8.00	-9.10
VP13BB	0.72	0.84	0.80	-5.30	-7.40	-7.70	0.56	0.80	0.84	-6.50	-9.30	-6.50
VP14BB	0.28	0.76	0.76	-6.60	-10.90	-14.00	0.28	0.56	0.80	-11.80	-14.10	-14.50
VP15BB	0.52	0.60	0.64	-1.50	-4.70	-5.90	0.28	0.48	0.60	-2.20	-6.20	-7.70
VP16BB	0.80	0.84	0.92	-7.20	-7.90	-8.00	0.72	0.72	0.68	-8.90	-9.40	-9.60
VP17BB	0.96	0.92	0.92	-7.40	-6.20	-8.40	0.68	0.88	0.88	-8.30	-8.10	-9.60
VP18BB	0.96	1.00	0.96	-8.20	-9.10	-8.10	0.92	0.96	0.92	-9.20	-8.90	-9.10
VP19BB	0.56	0.56	0.64	-4.30	-5.60	-7.10	0.68	0.68	0.64	-7.80	-8.20	-8.70
VP20BB	0.52	0.76	0.84	-6.10	-4.70	-4.90	0.64	0.76	0.80	-5.90	-5.50	-5.50

Abb. F.9: Sortierte Messergebnisse des WAKO und OLSA für die Auswertung in Statistica 10

G. Shapiro-Wilk-Test – WAKO und OLSA

Die Messgrößen des WAKO und OLSA sind wertemäßig begrenzt und quantisiert und somit nicht normalverteilt. Der Shapiro-Wilk-Test dient dazu, zu testen, ob die Grundgesamtheit einer Stichprobe annähernd normalverteilt ist [31]. Aufgrund seiner hohen Teststärke eignet sich der Test auch für die Überprüfung kleiner Stichproben auf Normalverteilung [12]. Die Nullhypothese geht davon aus, dass eine Normalverteilung vorliegt. Liegt der resultierende p-Wert über dem Signifikanzniveau α (hier: $\alpha = 0.05$), wird die Nullhypothese nicht abgelehnt, es wird also davon ausgegangen, dass die Stichprobe annähernd aus einer normalverteilten Grundgesamtheit stammt. Liegt der p-Wert unter dem Signifikanzniveau, wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese („Es liegt keine Normalverteilung der Grundgesamtheit vor“) angenommen.

Bis auf den OLSA (Test) (siehe Abb. G.3) liegen alle p-Werte über dem Signifikanzniveau von $\alpha = 0.05$. Dies bedeutet, dass für alle Daten, mit Ausnahme des OLSA (Test), die Nullhypothese angenommen wird. Es wird also angenommen, dass die Stichprobe aus einer normalverteilten Grundgesamtheit stammt. Für den OLSA (Test) wird die Nullhypothese dagegen abgelehnt und die Alternativhypothese („Es liegt keine Normalverteilung der Grundgesamtheit vor“) angenommen – die Daten stammen aus keiner normalverteilten Grundgesamtheit.

G.1 WAKO – Test

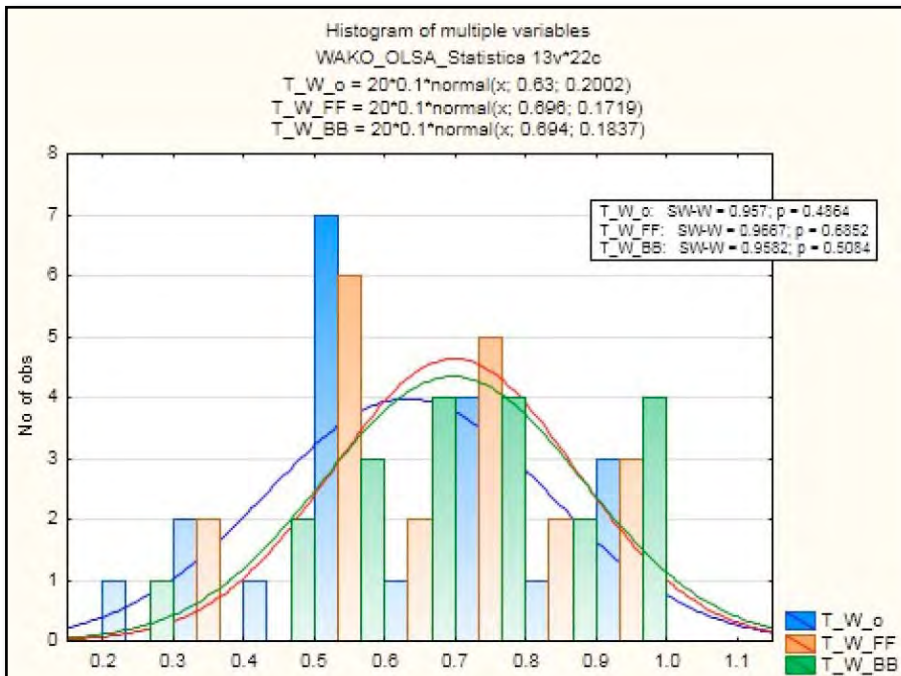


Abb. G.1: Prüfung der Messergebnisse des WAKO aus der 1. Sitzung (Test) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.

G.2 WAKO – Retest

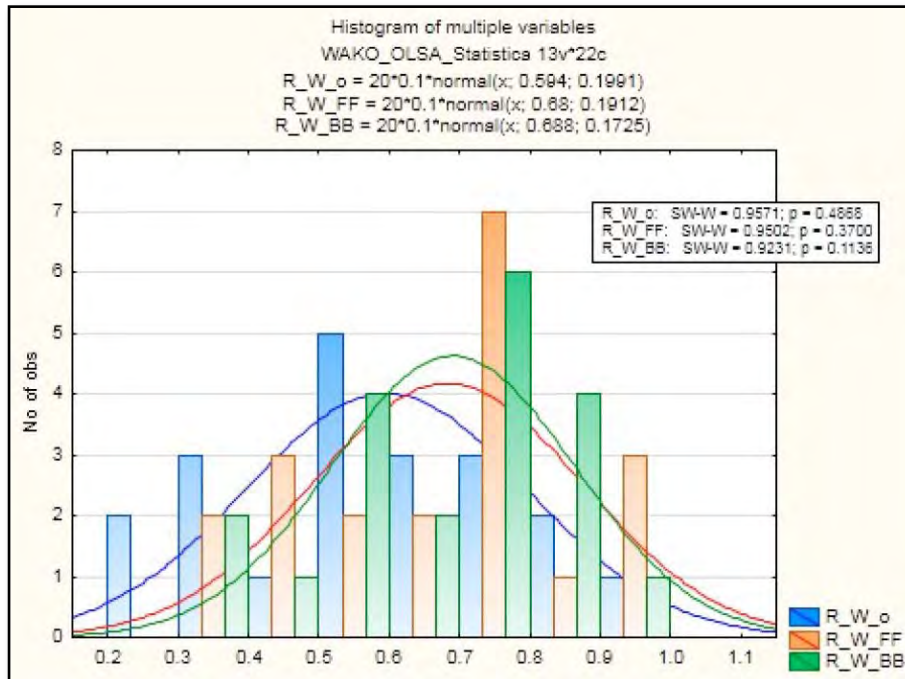


Abb. G.2: Prüfung der Messergebnisse des WAKO aus der 2. Sitzung (Retest) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.

G.3 OLSA – Test

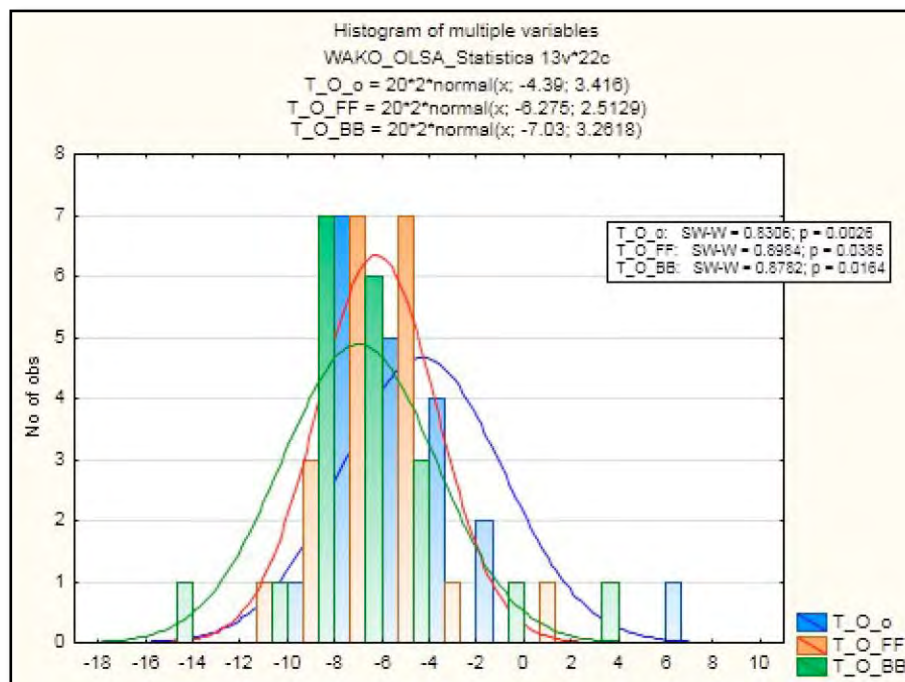


Abb. G.3: Prüfung der Messergebnisse des OLSA aus der 1. Sitzung (Test) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.

G.4 OLSA – Test

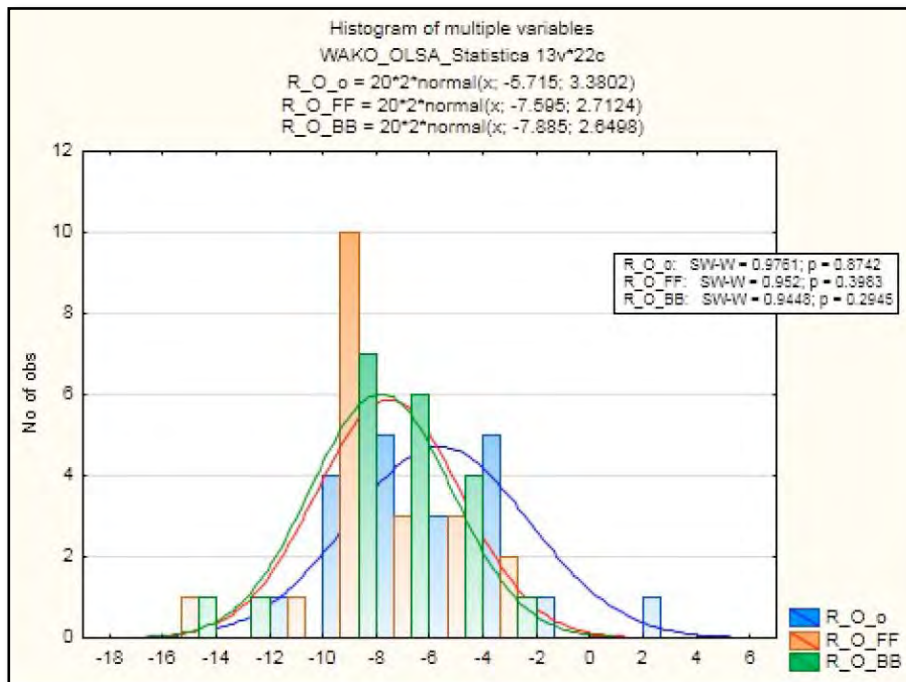


Abb. G.4: Prüfung der Messergebnisse des OLSA aus der 2. Sitzung (Retest) auf Normalverteilung anhand des Shapiro-Wilk-Tests.

H. Wilcoxon-Matched-Pair-Test – OLSA FF vs. BB

Wie einleitend in Kapitel 4.3 beschrieben, sind die Daten des OLSA nicht normalverteilt. Zunächst wurde dennoch eine ANOVA angewendet, um bei der großen Datenmenge mögliche Signifikanzen schnell aufzeigen zu können. In dieser Studie werden die Hörsystemeinstellungen FF und BB verglichen, daher erfolgt an dieser Stelle lediglich die Betrachtung der Messergebnisse von FF und BB anhand eines nicht-parametrischen Tests, dem Wilcoxon-Matched-Pair-Test, und nicht die Betrachtung der Messergebnisse „ohne HS“.

Für die Anwendung des Wilcoxon-Matched-Pair-Tests müssen keine Normalverteilung und keine gleichen Varianzen vorliegen. Jedoch muss es sich um eine randomisierte Stichprobe und gleiche Stichprobengrößen handeln [15]. Auf die vorliegenden Daten trifft dies alles zu.

Der Wilcoxon-Matched-Pair-Test geht in seiner Nullhypothese davon aus, dass die Stichproben aus der selben Grundgesamtheit stammen [15].

Liegt der resultierende p-Wert über dem Signifikanzniveau α (hier: $\alpha = 0.05$), wird die Nullhypothese nicht abgelehnt, es wird also davon ausgegangen, dass die Stichprobe aus der selben Grundgesamtheit stammt. Liegt der p-Wert unter dem Signifikanzniveau, wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese („Die Stichproben stammen nicht aus der gleichen Grundgesamtheit“) angenommen.

Dargestellt sind die Ergebnisse als sogenannte Boxplots, welche den Mittelwert (engl.: mean), den Mittelwert \pm Standardfehler (engl.: standard error, SE) sowie anhand der Antenne (engl.: whisker) den Mittelwert \pm der Standardabweichung (engl.: standard deviation, SD) anzeigen (siehe Abb. H.1).

Die Anwendung des Wilcoxon-Matched-Pair-Tests ergibt einen p-Wert von $p = 0.026498$ (siehe Abb. H.2). Die Nullhypothese, dass die Stichprobe aus derselben Grundgesamtheit stammt, wird somit verworfen. Aufgrund des signifikanten Unterschieds zwischen FF und BB wird also angenommen, dass die Stichproben aus zwei unterschiedlichen Grundgesamtheiten stammen.

H.1 OLSA FF vs. BB

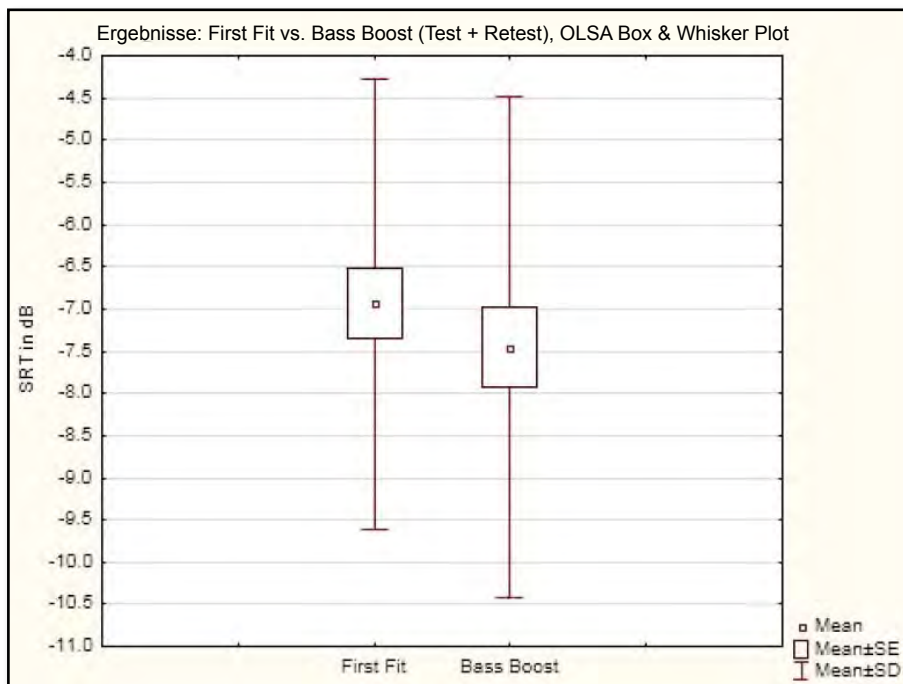


Abb. H.1: Dargestellt als Boxplots sind die Ergebnisse von FF und BB (Test + Retest) anhand eines nicht-parametrischen Tests. Die y-Achse zeigt den SRT in dB, die x-Achse zeigt die beiden Konfigurationen FF und BB.

H.2 OLSA FF vs. BB

Wilcoxon Matched Pairs Test (NichtPar_OLSA_FF_BB.sta)				
Marked tests are significant at p < .05000				
Pair of Variables	Valid N	T	Z	p-value
First Fit vs. Bass Boost	38	217.5000	2.218848	0.026498

Abb. H.2: Ergebnisse der Prüfung auf Signifikanz zwischen FF und BB anhand eines nicht-parametrischen Tests.

I. Messergebnisse - Fragebogen

ID	eS_LA_P1	eS_LA_P2	eS_LA_Bev	eS_NAT_P1	
VP01BB		0	0	0	10
VP02BB		0	2	-5	10
VP03BB		0	2	-4	6
VP04BB	0.4		0.4	0	8.6
VP05BB	0		0	0	9
VP06BB	0.4		0	-0.4	8
VP07BB	0		0	0	5
VP08BB	0		0	0	9
VP09BB	-1		0	1	8
VP10BB	-0.4		-0.4	-0.4	8
VP11BB	1		-0.6	0.8	5
VP12BB	0		0	0	10
VP13BB	0		0.6	0	4.4
VP14BB	-1		-1	0	8
VP15BB	2		2	0	8
VP16BB	0		0	-1	6.4
VP17BB	0		0	0	8
VP18BB	0		-1	-2	10
VP19BB	0		0	0	4.4
VP20BB	1		0	-1	8

ID	eS_NAT_P2	eS_NAT_Bev	eS_HAL_P1	eS_HAL_P2	
VP01BB	10		0	10	10
VP02BB	2		-5	10	3.2
VP03BB	2		-5	3	10
VP04BB	8.6		0	5	6
VP05BB	4		-5	3.4	4
VP06BB	7		-1	9	7
VP07BB	5		0	10	10
VP08BB	2		-4	1	4
VP09BB	8		0	8	8
VP10BB	9		5	4	5
VP11BB	5		0	5.6	5
VP12BB	10		0	10	10
VP13BB	4		-1	8	6
VP14BB	8.4		1	9	9
VP15BB	4		-4	9	3
VP16BB	6.4		0	6.4	-4.4
VP17BB	4		-5	8	2
VP18BB	10		0	9	8
VP19BB	6		1	4	7
VP20BB	4		-2	6	4

ID	eS_HAL_Bev	eS_ENT	SiR_LA_P1	SiR_LA_P2	
VP01BB		0	0	0	0
VP02BB		-5	-5	0	0
VP03BB		5	5	0	-2
VP04BB		2	2	0.4	0
VP05BB		1.2	3.6	0	0
VP06BB		-1	-1	0	-0.4
VP07BB		0	0	0	0
VP08BB		-4	-4	0	0
VP09BB		0	0	0	0
VP10BB			4	0	-1
VP11BB			0.8	0.4	0.4
VP12BB		0	1	0	0
VP13BB		-2	-5	0	0
VP14BB		0	1	-1	0
VP15BB		-4	-5	0	2
VP16BB		-2	-1.6	0	0
VP17BB		-4	-3.6	0	0
VP18BB		-1	-1	0	0
VP19BB		1	1	0	0
VP20BB		-1	-1	-1	0

ID	SiR_LA_Bev	SiR_NAT_P1	SiR_NAT_P2	SiR_NAT_Bev	
VP01BB		0	10	10	0
VP02BB		-5	10	4	-5
VP03BB		-5	10	2	-5
VP04BB		1	7	8	1
VP05BB		0	9.2	10	5
VP06BB		-0.4	9	8	-0.6
VP07BB		0	10	10	0
VP08BB		0	7	4	-4
VP09BB		0	10	10	0
VP10BB		-4	0.8	6	-4
VP11BB		0	7	7	0
VP12BB		0	10	10	0
VP13BB		0	10	9.6	-1
VP14BB		2	5	5	1
VP15BB		-4	8	7	-4
VP16BB		0	5	5	0
VP17BB		0	9	2	-4
VP18BB		0	10	10	0
VP19BB		-2	6	2	-2
VP20BB		0	7	4	-2

ID	SiR_SCHR_P1	SiR_SCHR_P2	SiR_SCHR_Bev	SiR_DUM_P1
VP01BB	10	10	0	10
VP02BB	10	10	-5	10
VP03BB	10	3	-5	10
VP04BB	3	6	2	7
VP05BB	9.4	10	5	9.4
VP06BB	9.8	9.8	0	6
VP07BB	10	10	0	10
VP08BB	9	4	-4	8
VP09BB	10	10	0	10
VP10BB	9.8	6	-5	8
VP11BB	7.6	7.6	0	6
VP12BB	10	10	0	10
VP13BB	9.2	9.2	0	9
VP14BB	9.9	9.9	1	9
VP15BB	9	9	0	8
VP16BB	8	8	0	7
VP17BB	10	10	0	9
VP18BB	10	9	-1	10
VP19BB	8	5	-3	7
VP20BB	3	7	-1	5

ID	SiR_DUM_P2	SiR_DUM_Bev	SiR_SPRA_P1	SiR_SPRA_P2
VP01BB	10	0	10	10
VP02BB	5	-5	10	10
VP03BB	8	-5	10	10
VP04BB	7	-1	9	9
VP05BB	10	5	10	10
VP06BB	4	-1	10	10
VP07BB	6	-2	10	10
VP08BB	8	0	9	9
VP09BB	10	0	10	10
VP10BB	3	-4	5	5
VP11BB	6	0	5	5
VP12BB	10	0	10	10
VP13BB	8	-1	10	10
VP14BB	9	1	10	10
VP15BB	7	-2	10	10
VP16BB	7	0	8	8
VP17BB	9	0	10	9
VP18BB	10	0	10	10
VP19BB	3	2	7	4.4
VP20BB	4	-1	9	7

ID	SiR_SPRA_Bev	SiR_ENT	SiStra_LA_P1	SiStra_LA_P2
VP01BB	0	0	-2	-2
VP02BB	-5	-5	-1	-1
VP03BB	0	-5	-1	0
VP04BB	0	2	0	0
VP05BB	2.6	5	0	0
VP06BB	0	-1	1	2
VP07BB	0	-5	0	0
VP08BB	0	-4	0	0
VP09BB	0		2	2
VP10BB	0	-5	3	-3
VP11BB	0	-0.4	0	-0.4
VP12BB	0	2	-2	-1
VP13BB	0	-2	-1	0
VP14BB	1	1	-1	0
VP15BB	0	-3	-2	-2
VP16BB	0	0	-0.6	-0.6
VP17BB	-3	-4	-2	-1.6
VP18BB	0	-1	-1	-1
VP19BB	-1.8	-3	-2	-4
VP20BB	-4	-4	0	0

ID	SiStra_LA_Bev	SiStra_NAT_P1	SiStra_NAT_P2	SiStra_NAT_Bev
VP01BB	0	10	10	0
VP02BB	-5	10	10	0
VP03BB	5	7	7	0
VP04BB	0	6	6	0
VP05BB	-1	8.8	3	-3
VP06BB	-1	8.6	8.6	0
VP07BB	0	8	10	0
VP08BB	0	8	8	0
VP09BB	0	5	5	0
VP10BB	-4.4	8	3	-4.8
VP11BB	-0.4	6	6	0
VP12BB	2	10	10	0
VP13BB	1	8	7	1
VP14BB	1	9	9	1
VP15BB	0	8	7	-1
VP16BB	0	5	5	0
VP17BB	1	9	9	0
VP18BB	0	10	10	0
VP19BB	-1	5	4	-3
VP20BB	0	6	4	0

ID	SiStra_SCHR_P1	SiStra_SCHR_P2	SiStra_SCHR_Bev	SiStra_DUM_P1
VP01BB	10	10	0	10
VP02BB	10	9	-5	10
VP03BB	10	10	0	10
VP04BB	5.4	5.4	0	8
VP05BB	4	7.6	-1.2	8
VP06BB	10	10	0	10
VP07BB	10	10	0	9
VP08BB	9	9	0	9
VP09BB	10	10	0	10
VP10BB	5	4	-4.8	9
VP11BB	7	6	-0.4	7.8
VP12BB	10	10	0	10
VP13BB	8	6	2	7
VP14BB	9	9	1	9
VP15BB	10	10	0	4
VP16BB	8	7.6	0	8
VP17BB	10	10	0	10
VP18BB	8	8	0	10
VP19BB	8	6	-2	8
VP20BB	6	4	0	6

ID	SiStra_DUM_P2	SiStra_DUM_Bev	SiStra_SPRA_P1	SiStra_SPRA_P2
VP01BB	10	0	7.4	7.4
VP02BB	5	-5	10	10
VP03BB	10	0	10	10
VP04BB	8	0	7	7
VP05BB	2.4	-3.2	7	5
VP06BB	10	0	9	9
VP07BB	10	0	10	10
VP08BB	9	0	9	9
VP09BB	10	0	4	4
VP10BB	6	-4.8	9.6	9
VP11BB	7.8	0	8	8
VP12BB	10	0	7	8
VP13BB	10	1	8	10
VP14BB	9	1	8	9
VP15BB	4	0	7	6
VP16BB	8	0	8	8
VP17BB	10	0	9	9
VP18BB	10	0	7	7
VP19BB	5	-2	5	4
VP20BB	4	0	7	5

ID	SiStra_SPRA_Bev	SiStra_ENT	SiPar_LA_P1	SiPar_LA_P2
VP01BB	0	0	-3.4	-3.4
VP02BB	-5	-5	0	0
VP03BB	0	-1	0	0
VP04BB	0	0	3	3
VP05BB	-3.4	-4.4	-3	0
VP06BB	0	0	-2	-2
VP07BB	0	0	-2	-3
VP08BB	0	0	-2	-2
VP09BB	0	0	3	3
VP10BB	-5	-5	-2.2	0
VP11BB	1	0	1	1
VP12BB	5	0	-2	-2
VP13BB	1	1	-1	-1
VP14BB	1	1		-1
VP15BB	-2	-1	-2	-3
VP16BB	0	0	-1.2	-0.6
VP17BB	0	0	-2	-2
VP18BB	0	0	-2	-2
VP19BB	-2	-2	-1	1
VP20BB	-1	-1	-1	-1

ID	SiPar_LA_Bev	SiPar_NAT_P1	SiPar_NAT_P2	SiPar_NAT_Bev
VP01BB	0	10	10	0
VP02BB	-5	10	8	-5
VP03BB	0	10	10	0
VP04BB	0	8	8	0
VP05BB	2.2	4	6.8	2.4
VP06BB	0	7	7	0
VP07BB	-5	10	10	0
VP08BB	0	8	8	0
VP09BB	0	10	10	0
VP10BB	4.8	9.4	4	-5
VP11BB	0	6	6	0
VP12BB	0	5	5	0
VP13BB	0	4	4	0
VP14BB	-1	9	9	-1
VP15BB	-1	8	8	0
VP16BB	-1	5	5	0
VP17BB	0	9	9	0
VP18BB	0	10	10	0
VP19BB	1	5	6	1
VP20BB	-2	3	4	1

ID	SiPar_SCHR_P1	SiPar_SCHR_P2	SiPar_SCHR_Bev	SiPar_DUM_P1
VP01BB	10	10	0	10
VP02BB	9	2	-5	10
VP03BB	10	10	0	7
VP04BB	6	6	0	6
VP05BB	3.8	7	3.4	6.4
VP06BB	9	9	0	10
VP07BB	10	10	0	7
VP08BB	8	8	0	8
VP09BB	8	8	0	9
VP10BB	10	2.2	-5	9.8
VP11BB	4.2	4.2	0.6	7
VP12BB	10	10	0	10
VP13BB	3	3	0	10
VP14BB	9	9	-1	9
VP15BB	8	8	0	4
VP16BB	-4.4	-3	0	7.6
VP17BB	10	10	0	9
VP18BB	9	9	0	10
VP19BB	7	7	0	8
VP20BB	4	3	0	7

ID	SiPar_DUM_P2	SiPar_DUM_Bev	SiPar_SPRA_P1	SiPar_SPRA_P2
VP01BB	10	0	3	3
VP02BB	8	-5	10	10
VP03BB	10	5	8	10
VP04BB	6	0	10	10
VP05BB	9	3.8	3	6.4
VP06BB	10	0	3	4
VP07BB	6	0	10	10
VP08BB	8	0	4	4
VP09BB	9	0	3	2
VP10BB	6	-5	9.8	9.8
VP11BB	6.6	0	7	7
VP12BB	10	0	7	7
VP13BB	10	0	8	8
VP14BB	9	-1	8	8.4
VP15BB	3	-1	4	3
VP16BB	7	-0.8	7	7
VP17BB	9	0	8	8
VP18BB	10	0	8	8
VP19BB	8	0.2	5	5
VP20BB	8	-1	8	7

ID	SiPar_SPRA_Bev	SiPar_ENT	MuZi_LA_P1	MuZi_LA_P2
VP01BB	0	0	0	0
VP02BB	-5	-5	0	0
VP03BB	5	5	0	0
VP04BB	0	0	3	3.6
VP05BB	1.2	3	0	0
VP06BB	-1	1	0	0
VP07BB	0	-1	2	3
VP08BB	0	0	0	0
VP09BB	-5	-3	3	3
VP10BB	0	-5	2	3
VP11BB	-0.2	-0.2	0	0
VP12BB	0	0	2	2
VP13BB	0	0	5	5
VP14BB	-1	-1	0	1
VP15BB	-1	-2	2	3
VP16BB	0	0	1	0
VP17BB	0	0	5	5
VP18BB	0	0	0	0
VP19BB	0	-1	0	0
VP20BB	0	1	1	2

ID	MuZi_LA_Bev	MuZi_KQ_P1	MuZi_KQ_P2	MuZi_KQ_Bev
VP01BB	0	10	10	0
VP02BB	2	10	10	5
VP03BB	0	9	7	-1
VP04BB	0.6	8	8	0
VP05BB	0	4.2	9	4.4
VP06BB	0	8	8	0
VP07BB	-2	8	8	0
VP08BB	0	9	9	0
VP09BB	0	10	10	0
VP10BB	-4	7	9	4.8
VP11BB	0	7	7	0.8
VP12BB	0	6	6	0
VP13BB	0	3	3	0
VP14BB	-1	9	9	-1
VP15BB	-1	9	9	0
VP16BB	1	7	7	0
VP17BB	0	9	9	0
VP18BB	0	9	10	1
VP19BB	0	9	9	0
VP20BB	-1	8	6	-2

ID	MuZi_SCHR_P1	MuZi_SCHR_P2	MuZi_SCHR_Bev	MuZi_DUM_P1
VP01BB	10	10	0	10
VP02BB	10	10	5	8
VP03BB	10	10	0	10
VP04BB	8.4	9.4	1.6	7.6
VP05BB	3.6	8.6	3	6.2
VP06BB	6	6	0	10
VP07BB	10	8	0	5
VP08BB	10	10	0	9
VP09BB	10	10	0	10
VP10BB	9	4	-4.4	9.4
VP11BB	8	8	0	5.8
VP12BB	8	8	0	10
VP13BB	3	3	0	8
VP14BB	9	9	-1	9
VP15BB	9	9	0	8
VP16BB	7	8	1	7
VP17BB	10	10	0	10
VP18BB	9	10	1	10
VP19BB	10	10	0	10
VP20BB	6	7	-1	7

ID	MuZi_DUM_P2	MuZi_DUM_Bev	MuZi_ENT	MuLaDy_LA_P1
VP01BB	10	0	0	1
VP02BB	10	5	5	0
VP03BB	10	0	0	2
VP04BB	7.6	0	0	3
VP05BB	9.6	3.8	4.8	0
VP06BB	10	0	0	-0.2
VP07BB	4	0	-3	0
VP08BB	9	0	0	1
VP09BB	10	0	0	0
VP10BB	9.4	0	0	2
VP11BB	4.4	-0.2	-0.2	1
VP12BB	10	0	0	5
VP13BB	8	0	0	3
VP14BB	9	-1	-1	0
VP15BB	6	-1	-2	0
VP16BB	8	0.6	1	0
VP17BB	10	0	0	0
VP18BB	10	0	1	0
VP19BB	10	0	0	1
VP20BB	7	0	-1	2

ID	MuLaDy_LA_P2	MuLaDy_LA_Bev	MuLaDy_KQ_P1	MuLaDy_KQ_P2
VP01BB	1	0	10	10
VP02BB	0	4	10	10
VP03BB	2	0	4	7
VP04BB	3	0	10	10
VP05BB	0	0	3.4	8.4
VP06BB	-0.2	0	9.6	9.6
VP07BB	0	0	10	10
VP08BB	1	0	9	9
VP09BB	0	0	10	10
VP10BB	0	4.4	6	8
VP11BB	0	0.6	5	6
VP12BB	5	0	9	9
VP13BB	3	0	7	7
VP14BB	1	1	8	8
VP15BB	0	0	9	9
VP16BB	0	0	7	7.4
VP17BB	0	0	9	9
VP18BB	0	0	9	9
VP19BB	1	0	5	5
VP20BB	3	-1	4	7

ID	MuLaDy_KQ_Bev	MuLaDy_SCHR_P	MuLaDy_SCHR_P	MuLaDy_SCHR_Be
VP01BB	0	10	10	0
VP02BB	5	10	10	5
VP03BB	5	8	8	0
VP04BB	0	10	10	0
VP05BB	3.4	3.4	9.4	4.4
VP06BB	0	9.6	9.6	0
VP07BB	0	10	10	0
VP08BB	0	10	10	0
VP09BB	0	10	10	0
VP10BB	4.6	3	9.8	5
VP11BB	0.8	4.6	5.2	0.8
VP12BB	0	3	4	1
VP13BB	0	2	2	0
VP14BB	1	7	7.6	1
VP15BB	0	9	9	0
VP16BB	0.4	3.4	4	1
VP17BB	0	9.4	9.4	0
VP18BB	0	9	9	0
VP19BB	0	7	7	0
VP20BB	1	3	5	1

ID	MuLaDy_DUM_P1	MuLaDy_DUM_P2	MuLaDy_DUM_Be	MuLaDy_ENT
VP01BB	10	10	0	0
VP02BB	10	10	5	5
VP03BB	10	10	0	2
VP04BB	10	10	0	0
VP05BB	7.8	10	3	4.4
VP06BB	9.6	9.6	0	0
VP07BB	10	10	0	0
VP08BB	10	10	0	0
VP09BB	10	10	0	0
VP10BB	9.8	9.8	0	5
VP11BB	5	5	0	0.8
VP12BB	10	10	0	2
VP13BB	8	8	0	0
VP14BB	9.2	9	1	1
VP15BB	9	9	0	0
VP16BB	7	7	0	0.6
VP17BB	10	10	0	0
VP18BB	10	10	0	0
VP19BB	8	8	0	0
VP20BB	8	8	0	1

ID	halTrep_LA_P1	halTrep_LA_P2	halTrep_LA_Bev	halTrep_SPR
VP01BB	0	0	0	0
VP02BB	0	3	-5	-5
VP03BB	-1	0	5	5
VP04BB	1	0	-1	-1.4
VP05BB				
VP06BB				
VP07BB				
VP08BB	-1	-2	-3	-4
VP09BB	0	0	0	0
VP10BB	0	0	0	1
VP11BB	0.2	0.2	0	0
VP12BB	0	0	0	1
VP13BB				
VP14BB	0	0	0	0
VP15BB	0	0	0	-3
VP16BB	0	0	0	-0.6
VP17BB	0	0	0	-0.4
VP18BB	0	0	0	0
VP19BB	-1	1	1	0
VP20BB	0	0	0	-3

ID	halTrep_KQ	halTrep_ANSTR	halTrep_HAL_P1	halTrep_HAL_P2
VP01BB		0	10	10
VP02BB		-5	10	10
VP03BB		5	6	10
VP04BB		0	9	9
VP05BB				
VP06BB				
VP07BB				
VP08BB		-4	2	7
VP09BB		0	10	10
VP10BB		2	3	7
VP11BB		0	4.8	5.2
VP12BB		1	10	10
VP13BB				
VP14BB		0	7	7
VP15BB		-3	4	2
VP16BB		0	3.6	4.6
VP17BB		0	6	6.4
VP18BB		0	8	8
VP19BB		0	6	4
VP20BB		-3	3	2

ID	halTrep_HAL_Bev	halTrep_ENT
VP01BB	0	0
VP02BB	-5	-5
VP03BB	5	5
VP04BB	0	0
VP05BB		
VP06BB		
VP07BB		
VP08BB	-4	-4
VP09BB	0	0
VP10BB	4.6	4.6
VP11BB	0.2	0
VP12BB	0	1
VP13BB		
VP14BB	0	0
VP15BB	-2	-3
VP16BB	1	0.6
VP17BB	0.2	0
VP18BB	0	0
VP19BB	-1	-1
VP20BB	-1	-1

J. Shapiro-Wilk-Test – Fragebogen

Die Histogramme zeigen die Ergebnisse der Datenanalyse des Fragebogens zur Prüfung auf Normalverteilung.

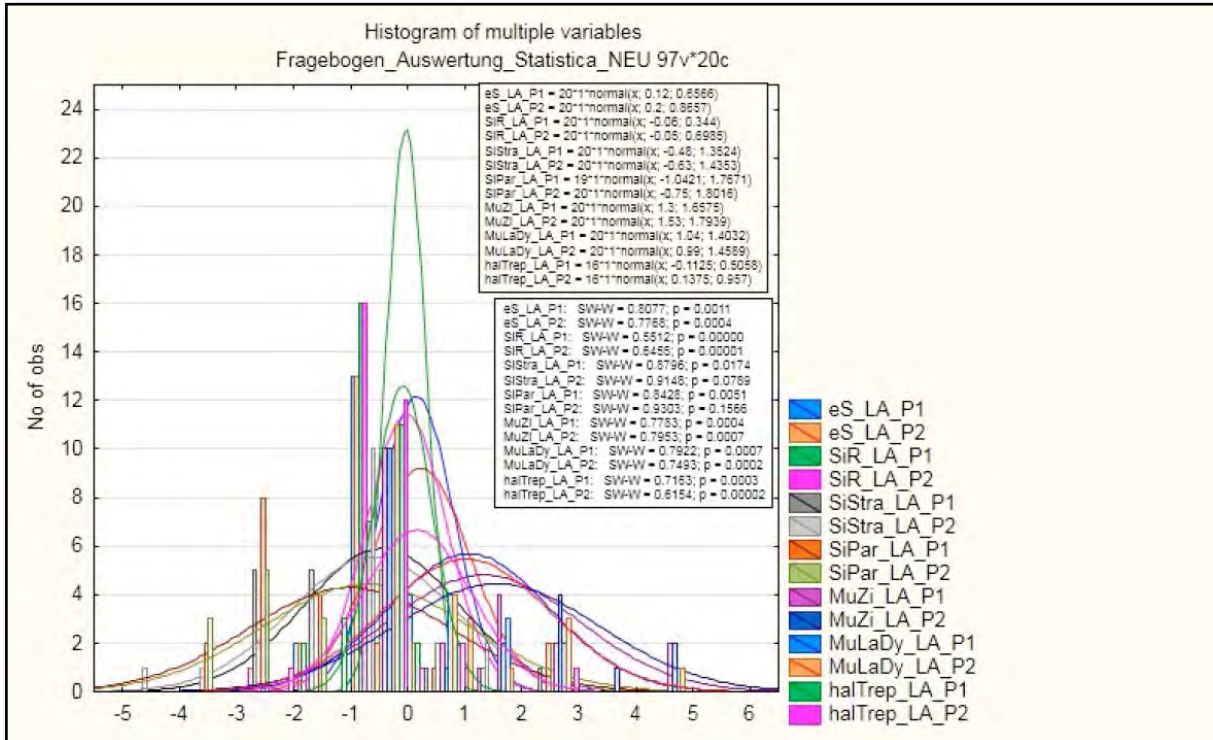


Abb. J.1: Überprüfung der Antworten zur Gesamtlautstärke auf Normalverteilung

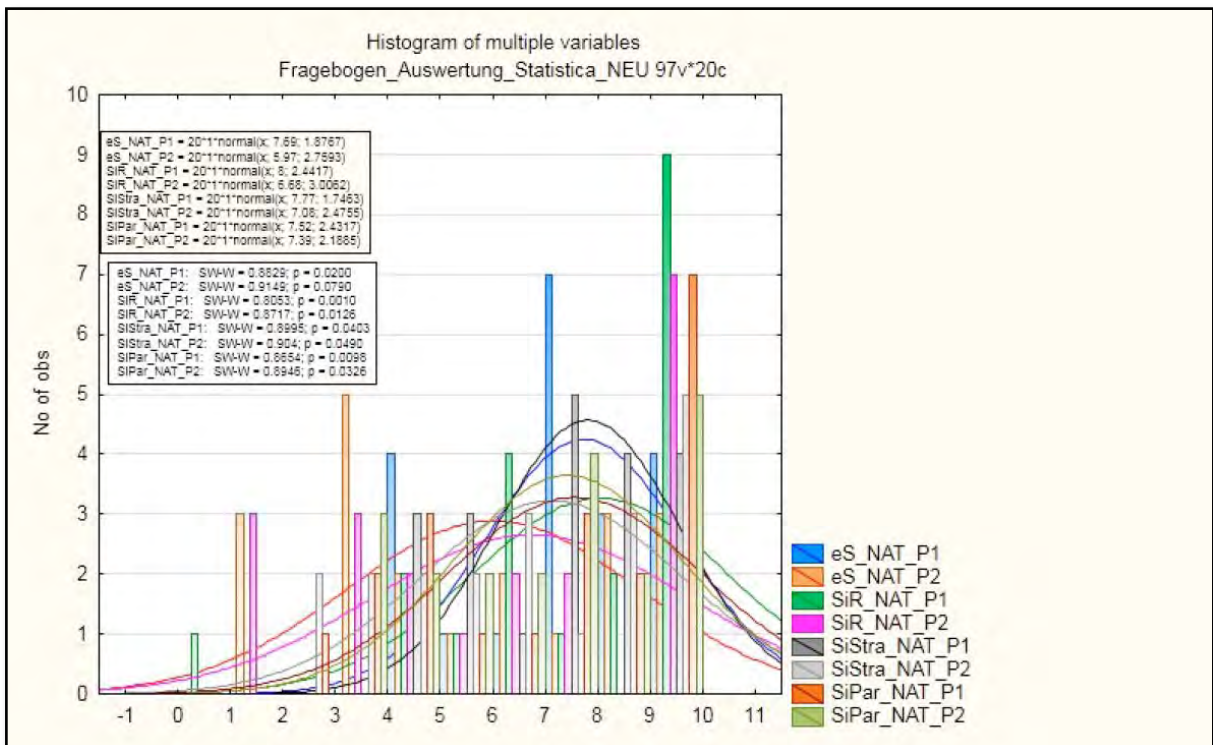


Abb. J.2: Überprüfung der Antworten zur Natürlichkeit auf Normalverteilung

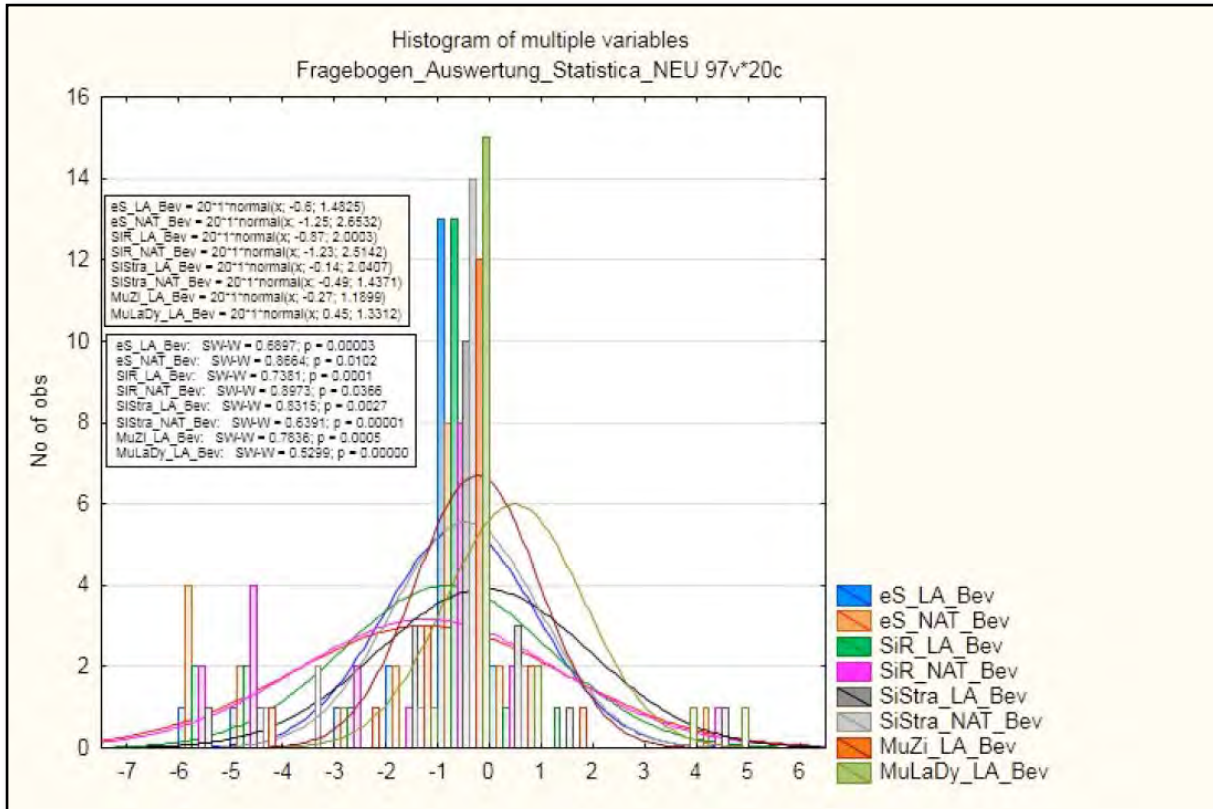


Abb. J.3: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Gesamtlautstärke und Natürlichkeit auf Normalverteilung

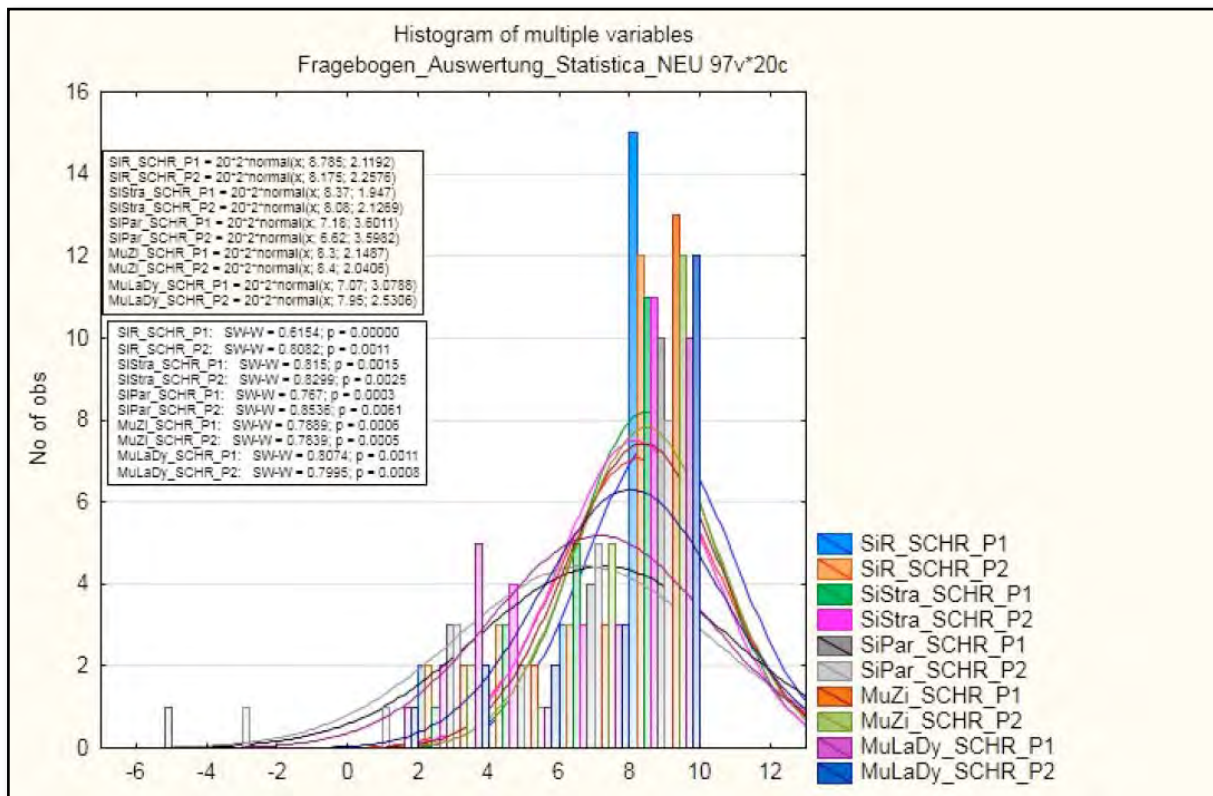


Abb. J.4: Überprüfung der Antworten zur Schrilheit auf Normalverteilung

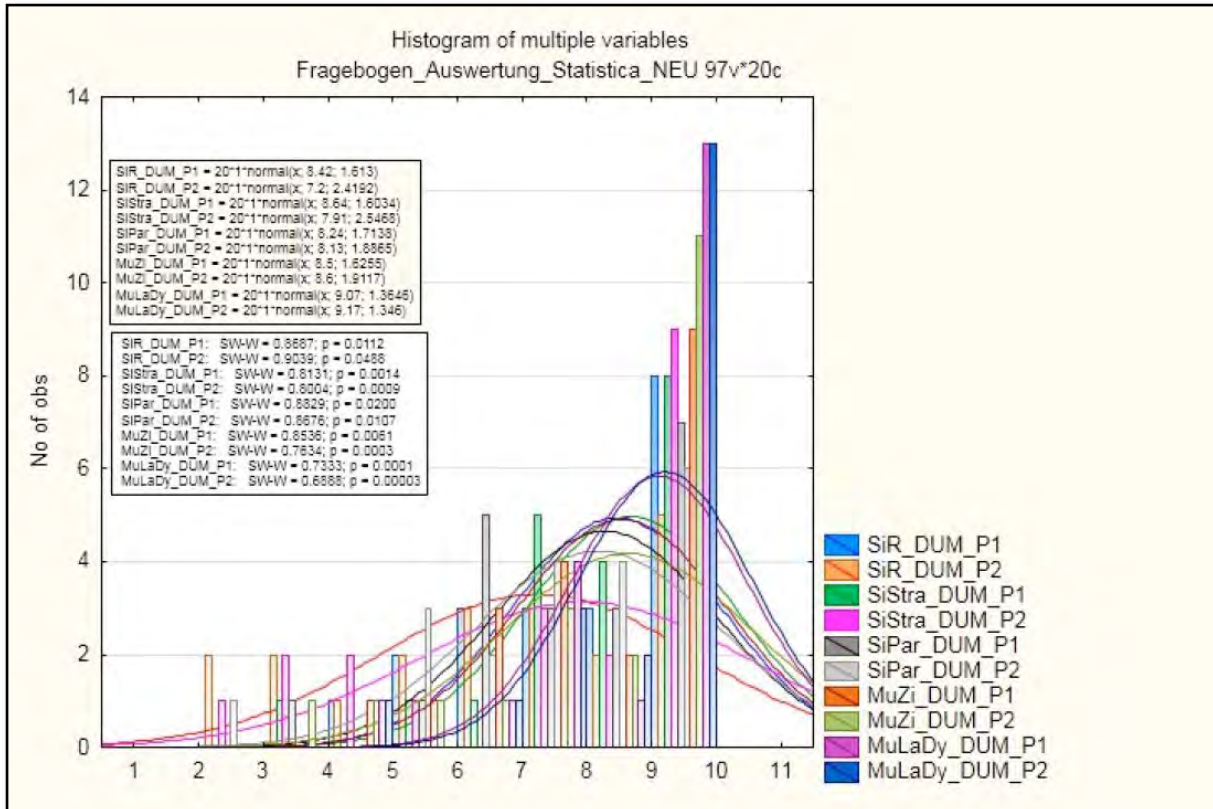


Abb. J.5: Überprüfung der Antworten zur Dumpfheit auf Normalverteilung

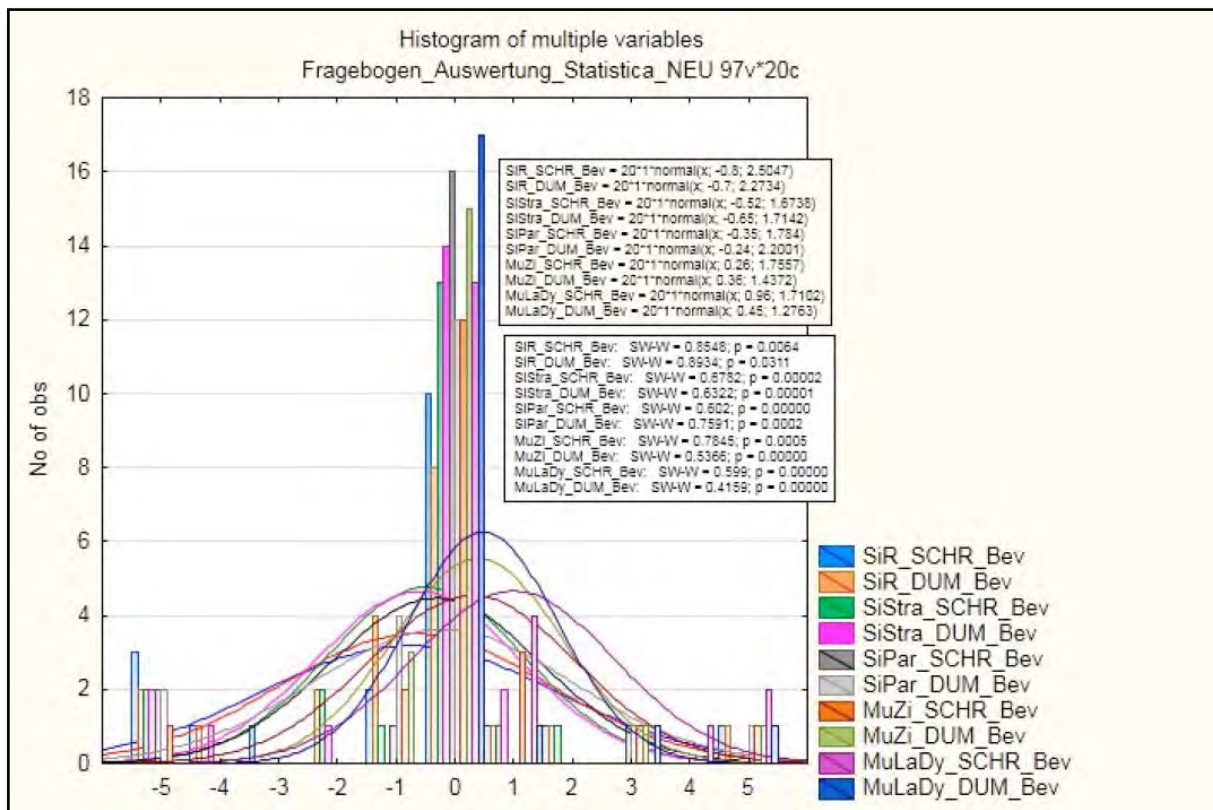


Abb. J.6: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Schrilheit und Dumpfheit auf Normalverteilung

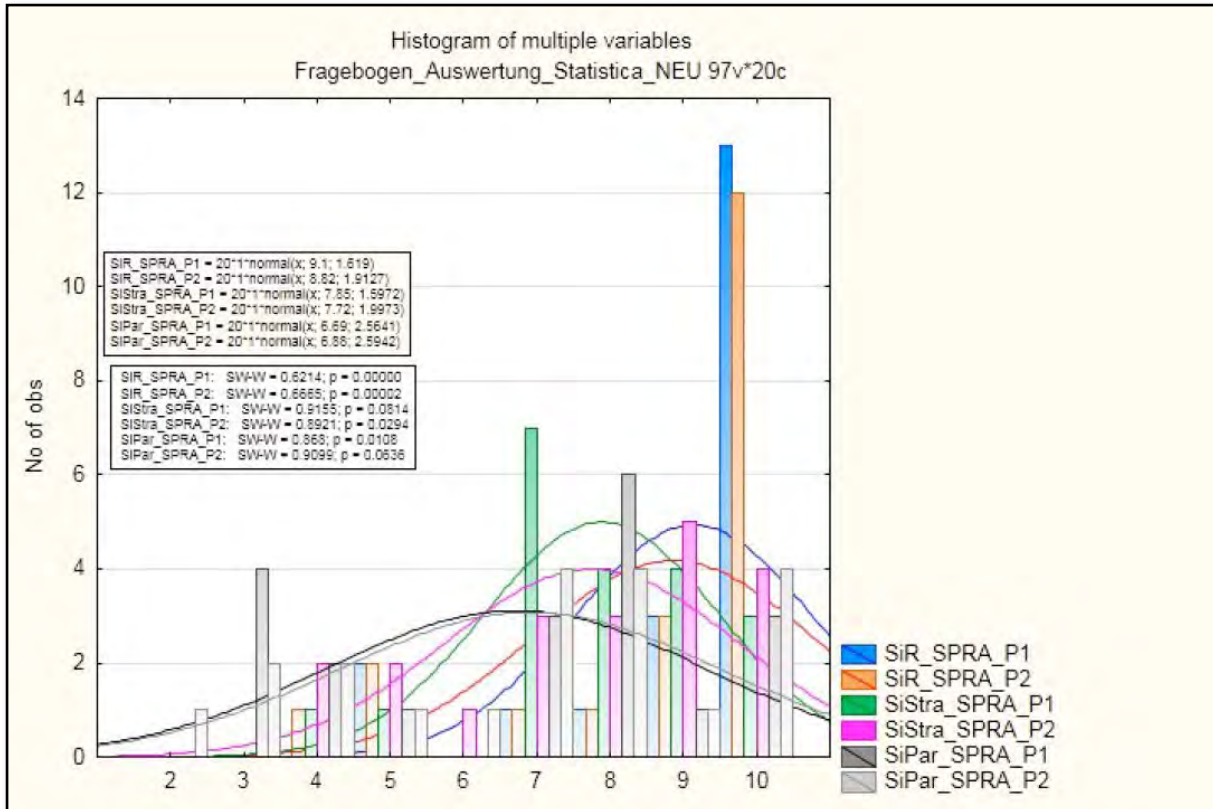


Abb. J.7: Überprüfung der Antworten zur Sprachverständlichkeit auf Normalverteilung

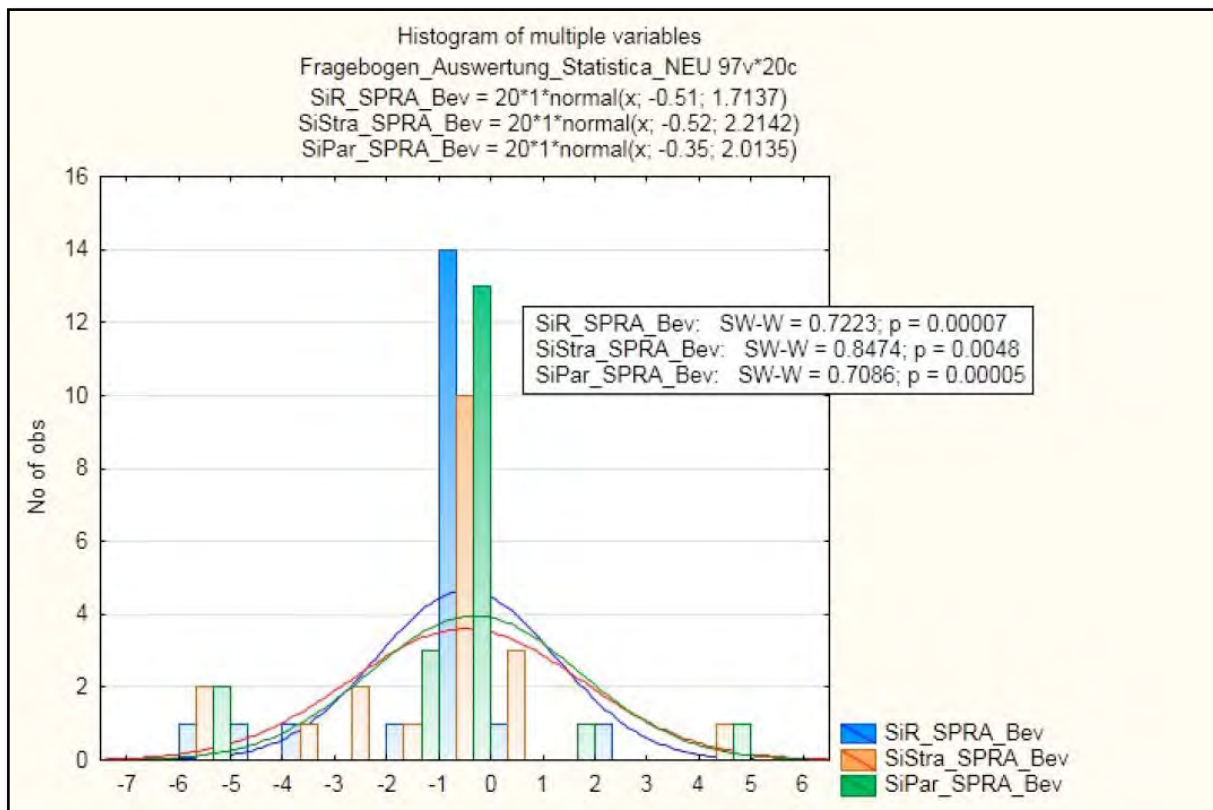


Abb. J.8: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Sprachverständlichkeit

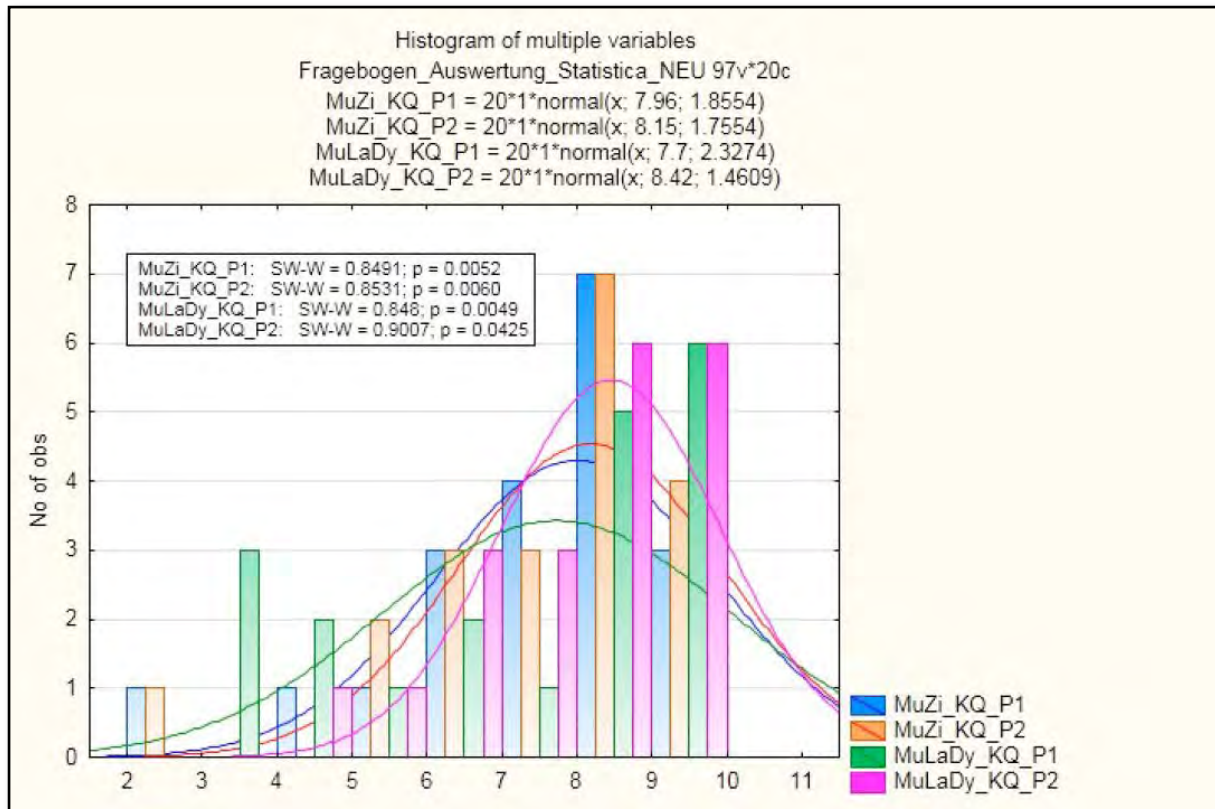


Abb. J.9: Überprüfung der Antworten zur Klangqualität auf Normalverteilung

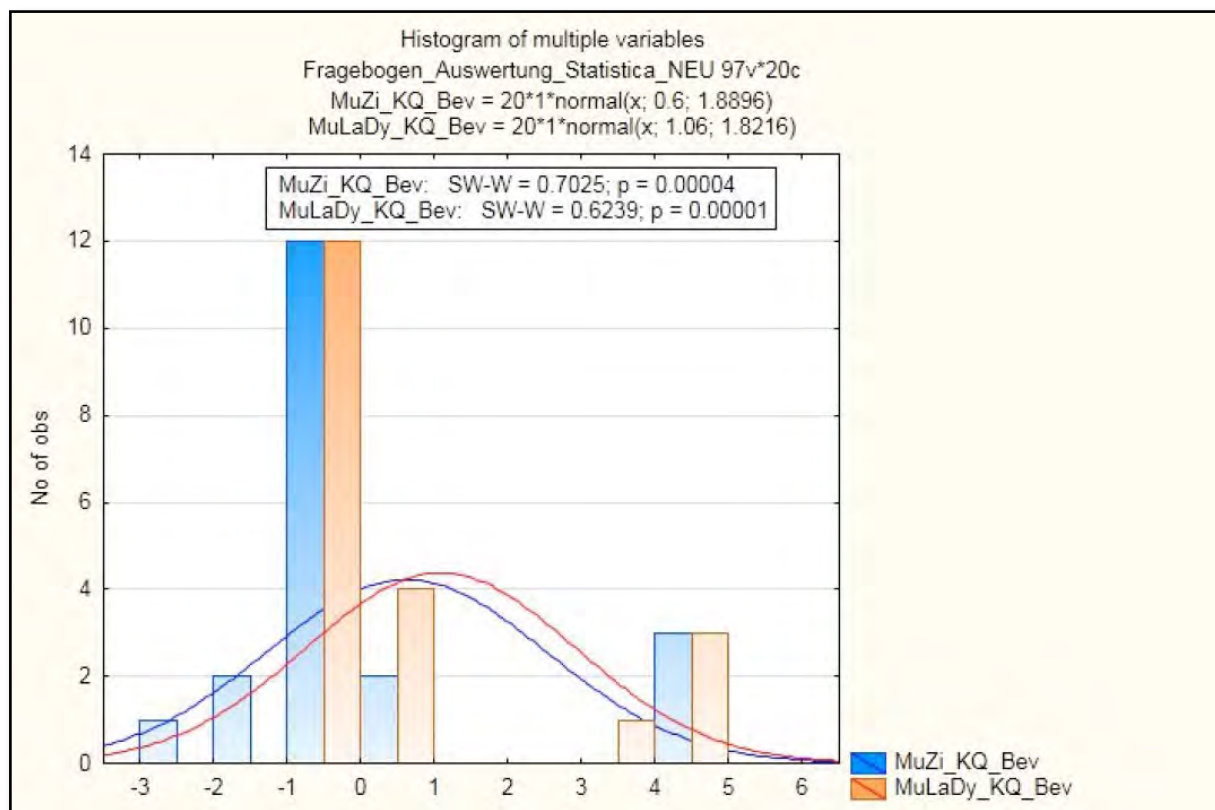


Abb. J.10: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung in Bezug auf die Klangqualität auf Normalverteilung

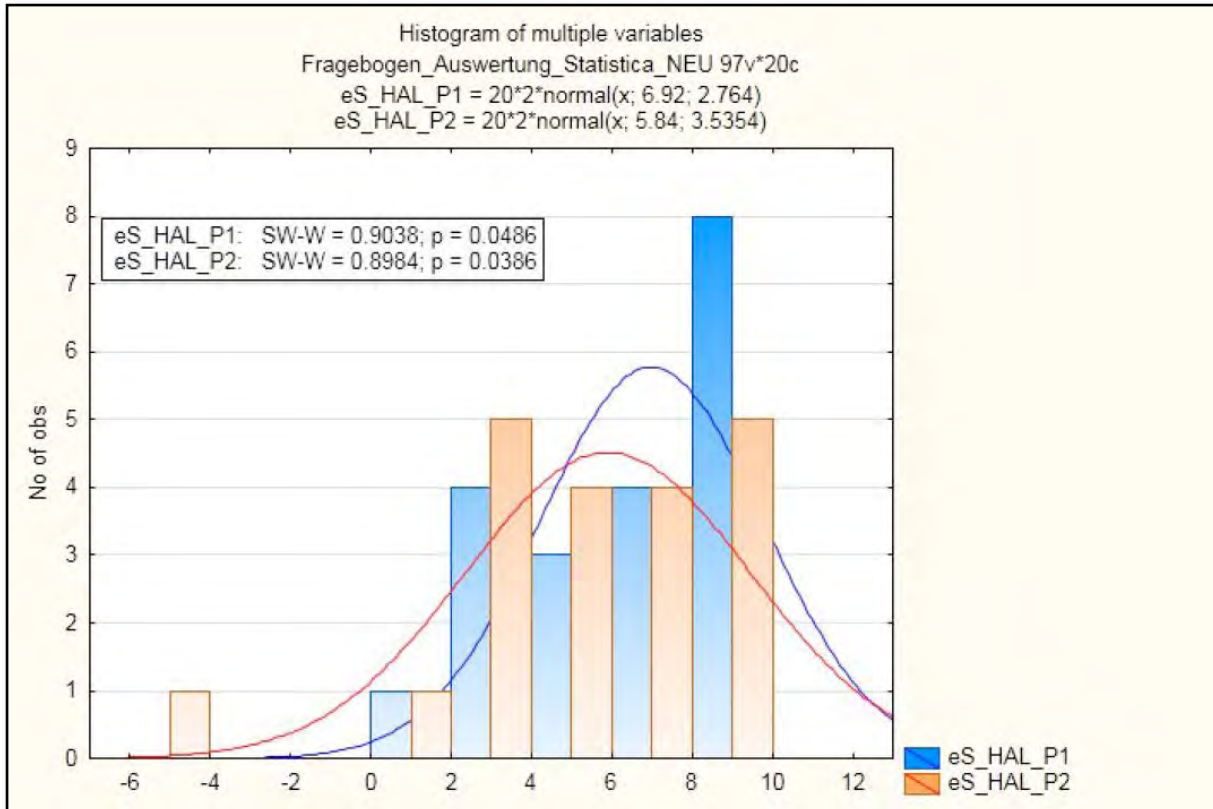


Abb. J.11: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Halligkeit der eigenen Stimme auf Normalverteilung

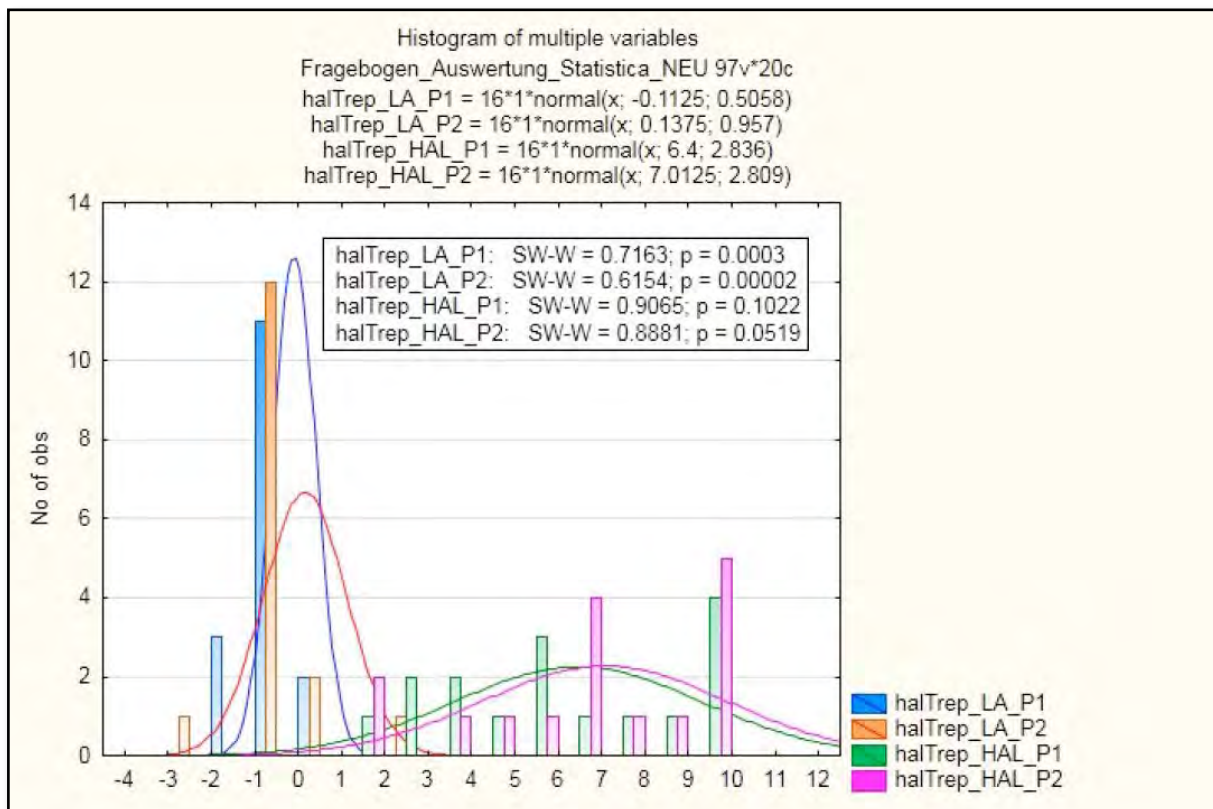


Abb. J.12: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Gesamtlautstärke im halligen Treppenhause auf Normalverteilung

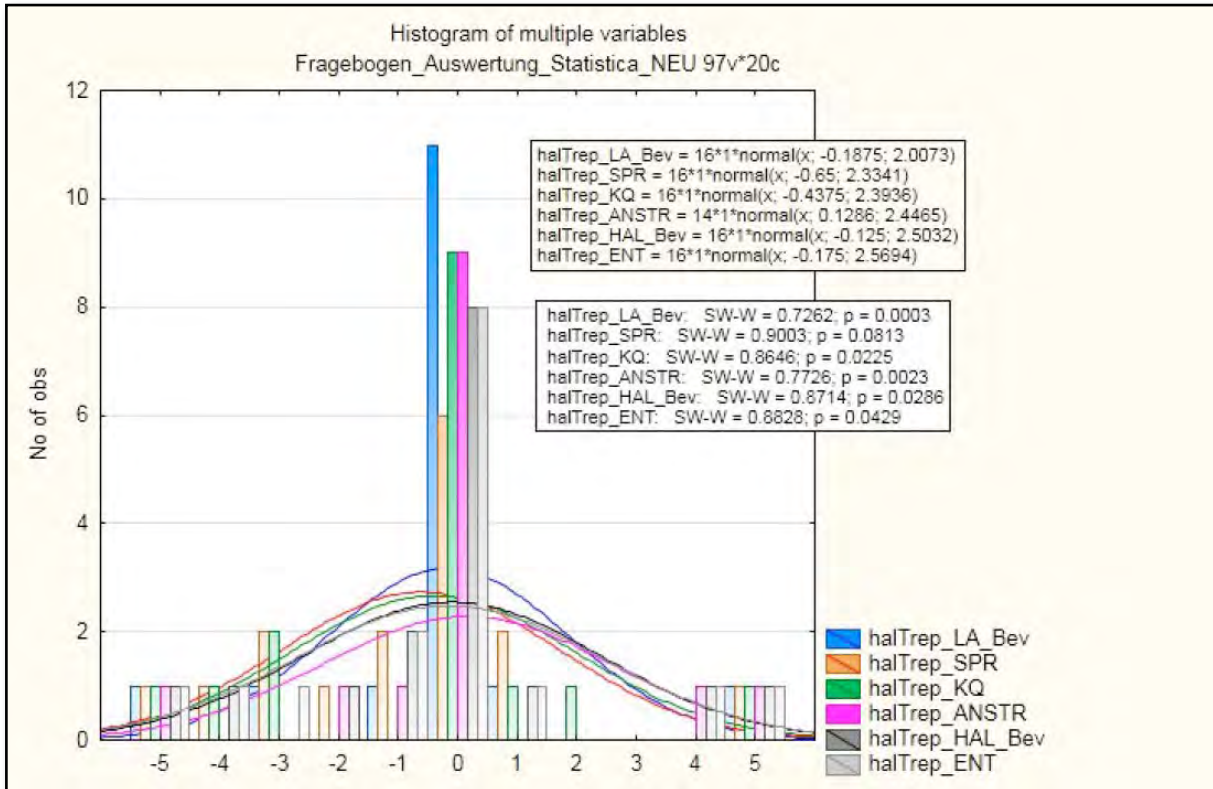


Abb. J.13: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der Bevorzugung der Gesamtlautstärke, Halligkeit, Sprachverständlichkeit, Klangqualität, Zuhöranstrengung und endgültigen Entscheidung im halligen Treppenhaus auf Normalverteilung

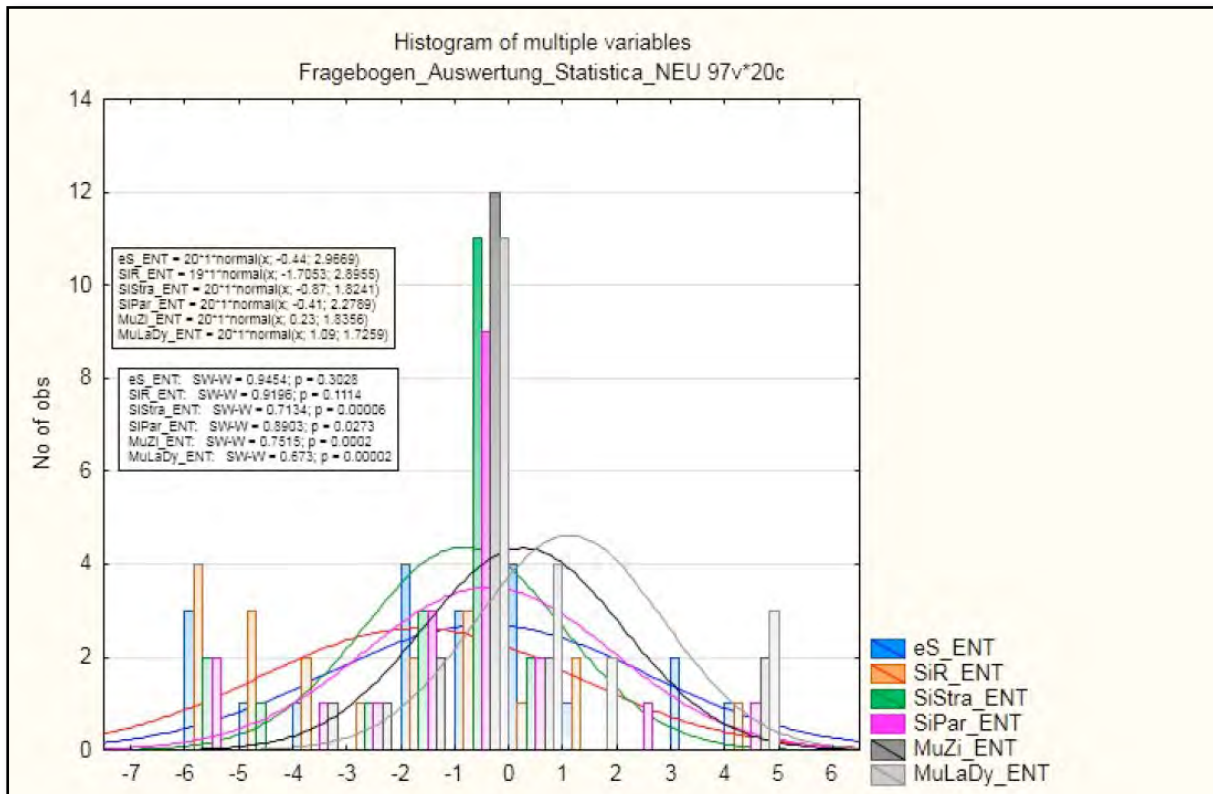


Abb. J.14: Überprüfung der Antworten bei der Frage nach der endgültigen Entscheidung für ein Hörprogramm pro Hörsituation auf Normalverteilung

K. Wilcoxon-Mann-Whitney-Test – Fragebogen

Der Wilcoxon-Mann-Whitney-Test (kurz: U-Test) ist ein nicht-parametrischer Test, welcher sich für die Analyse von Daten eignet, welche nicht normalverteilt sind. Der U-Test ist ein Homogenitätstest und dient der Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen, also ob zwei unabhängige Verteilungen von A und B zu derselben Grundgesamtheit gehören. Er eignet sich somit als Alternative zum T-Test [11]. Anhand des U-Tests wurden die erhobenen Daten in Bezug auf die Bevorzugung eines Hörprogramms auf Signifikanz überprüft. Da der U-Test als einseitiger Test angewendet wurde – die Mittelwerte der Antworten der Testpersonen wurden auf die Abweichung von „0“ („beide gleich“) getestet –, liegt das Signifikanzniveau bei $\alpha = 0.025$. Die Nullhypothese des U-Tests besagt, dass beide Stichproben aus der selben Grundgesamtheit stammen.

Liegt der resultierende p-Wert über dem Signifikanzniveau α (hier: $\alpha = 0.025$), wird die Nullhypothese nicht abgelehnt, es wird also davon ausgegangen, dass die Stichprobe aus der selben Grundgesamtheit stammt. Liegt der p-Wert unter dem Signifikanzniveau, wird die Nullhypothese abgelehnt und die Alternativhypothese („Die Stichproben stammen nicht aus der gleichen Grundgesamtheit“) angenommen.

Die Betrachtung in Bezug auf mögliche Tendenzen zur Signifikanz zeigt keine Unterschiede im Vergleich zum angewendeten T-Test. Die p-Werte unterscheiden sich nur geringfügig.

		Wilcoxon Matched Pairs Test (Fragebogen_Auswertung_Statistica_NEU) Marked tests are significant at p < .05000			
Pair of Variables		Valid N	T	Z	p-value
eS_NAT_P1 & eS_NAT_P2		12	10.00000	2.274947	0.022910

Abb. K.1: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation eS

		Wilcoxon Matched Pairs Test (Fragebogen_Auswertung_Statistica_NEU) Marked tests are significant at p < .05000			
Pair of Variables		Valid N	T	Z	p-value
SiR_NAT_P1 & SiR_NAT_P2		12	15.00000	1.882715	0.059740

Abb. K.2: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation SiR

		Wilcoxon Matched Pairs Test (Fragebogen_Auswertung_Statistica_NEU) Marked tests are significant at p < .05000			
Pair of Variables		Valid N	T	Z	p-value
SiR_DUM_P1 & SiR_DUM_P2		10	1.000000	2.701130	0.006911

Abb. K.3: U-Test: Bewertung der Dumpfheit für die Hörsituation SiR

		Wilcoxon Matched Pairs Test (Fragebogen_Auswertung_Statistica_) Marked tests are significant at p < .05000			
Pair of Variables		Valid N	T	Z	p-value
SiStra_DUM_P1 & SiStra_DUM_P2		7	5.000000	1.521278	0.128191

Abb. K.4: U-Test: Bewertung der Natürlichkeit für die Hörsituation SiStra

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9) Marked tests are significant at p <.02500			
	Valid N	T	Z	p-value
eS_LA_Bev & Var10	9	8.00000	1.717812	0.085832
SiR_LA_Bev & Var10	8	5.50000	1.750350	0.080059
SiStra_LA_Bev & Var10	11	32.00000	0.088911	0.929153
SiPar_LA_Bev & Var10	9	15.50000	0.829288	0.406942
MuZi_LA_Bev & Var10	8	11.00000	0.980196	0.326990
MuLaDy_LA_Bev & Var10	5	2.50000	1.348400	0.177531

Abb. K.5: U-Test: Gesamtlautstärke

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9) Marked tests are significant at p <.02500			
	Valid N	T	Z	p-value
eS_NAT_Bev & Var10	12	15.00000	1.882715	0.059740
SiR_NAT_Bev & Var10	13	18.00000	1.921856	0.054625
SiStra_NAT_Bev & Var10	6	4.00000	1.362770	0.172956
SiPar_NAT_Bev & Var10	6	8.00000	0.524142	0.600180

Abb. K.6: U-Test: Natürlichkeit

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9) Marked tests are significant at p <.02500			
	Valid N	T	Z	p-value
SiR_SCHR_Bev & Var10	10	14.50000	1.325083	0.185145
SiR_DUM_Bev & Var10	12	21.00000	1.412036	0.157940
SiStra_SCHR_Bev & Var10	7	6.50000	1.267731	0.204895
SiStra_DUM_Bev & Var10	6	3.00000	1.572427	0.115852
SiPar_SCHR_Bev & Var10	5	4.00000	0.943880	0.345232
SiPar_DUM_Bev & Var10	9	15.00000	0.888523	0.374260
MuZi_SCHR_Bev & Var10	8	12.00000	0.840168	0.400815
MuZi_DUM_Bev & Var10	6	8.00000	0.524142	0.600180
MuLaDy_SCHR_Bev & Var10	8	0.00000	2.520504	0.011719
MuLaDy_DUM_Bev & Var10	3	0.00000	1.603567	0.108810

Abb. K.7: U-Test: Schrilheit und Dumpfheit

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9) Marked tests are significant at p <.05000			
	Valid N	T	Z	p-value
SiR_SPRA_Bev & Var10	6	4.00000	1.362770	0.172956
SiStra_SPRA_Bev & Var10	10	16.50000	1.121224	0.262193
SiPar_SPRA_Bev & Var10	8	12.00000	0.840168	0.400815

Abb. K.8: U-Test: Sprachverständlichkeit

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9)			
	Valid N	T	Z	p-value
MuZi_KQ_Bev & Var10	8	11.00000	0.980196	0.326990
MuLaDy_KQ_Bev & Var10	8	0.00000	2.520504	0.011719

Abb. K.9: U-Test:
Klangqualität

Pair of Variables	Wilcoxon Matched Pairs Test (Spreadsheet9)			
	Valid N	T	Z	p-value
eS_ENT & Var10	17	62.00000	0.686403	0.492460
SiR_ENT & Var10	17	30.00000	2.201222	0.027721
SiStra_ENT & Var10	9	6.00000	1.954751	0.050613
SiPar_ENT & Var10	12	27.50000	0.902134	0.366986
MuZi_ENT & Var10	9	21.00000	0.177705	0.858955
MuLaDy_ENT & Var10	9	0.00000	2.665570	0.007686

Abb. K.10: U-Test:
Entscheidung

L. Datenblatt – Hörsystem Prototyp

Dataseet Bolero Q90 M13
Ear simulator data
EN / IEC 60118 and IEC 60711

[Last saved at 18.04.2013 / 15:52:15](#)

Output sound pressure level
(Input 90dB SPL)

Maximum: 125 dB SPL
Nominal: 123 dB SPL
HFA: 115 dB SPL

Frequency response

Max gain (Input 90dB SPL): 123 dB
Reference test gain (Input 90dB SPL): 115 dB

Acoustic gain
(Input 90dB SPL)

Maximum: 59 dB
HFA: 48 dB
RTG: 48 dB

Frequency response

Max gain (Input 90dB SPL): 59 dB
Reference test gain (Input 90dB SPL): 48 dB

Frequency range (DIN 45605)
<100Hz - 7800Hz

Total harmonic distortion
500Hz: 0.4 %
800Hz: 0.3 %
1600Hz: 0.8 %

Battery current
Quiescent: 3.4 mA
Working: 3.4 mA

Equivalent input noise level: 13 dB SPL

2cm³ coupler data
ANSI S3.22-2003

Output sound pressure level
(Input 90dB SPL)

Maximum: 126 dB SPL
Nominal: 123 dB SPL
HFA: 115 dB SPL

Frequency response

Full-on gain (Input 90dB SPL): 123 dB
Reference test gain (Input 90dB SPL): 115 dB

Acoustic gain
(Input 90dB SPL)

Maximum: 55 dB
HFA: 45 dB
RTG: 47 dB

Frequency response

Full-on gain (Input 90dB SPL): 55 dB
Reference test gain (Input 90dB SPL): 45 dB

Frequency range
<100Hz - 7200Hz

Total harmonic distortion
500Hz: 0.4 %
800Hz: 0.2 %
1600Hz: 0.4 %

Battery current
Quiescent: 3.5 mA
Working: 3.6 mA

Equivalent input noise level: 18 dB SPL

2cm³ coupler data
ANSI S3.22-2003

Input / Output characteristics at 2000 Hz

Frequency response

Full-on gain: 110 dB
Reference test gain: 100 dB

M. Polardiagramm – „Real Ear Sound“

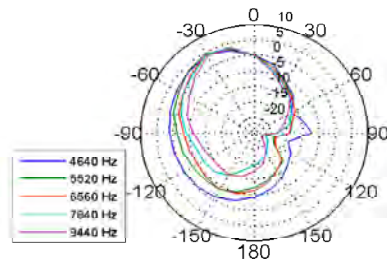
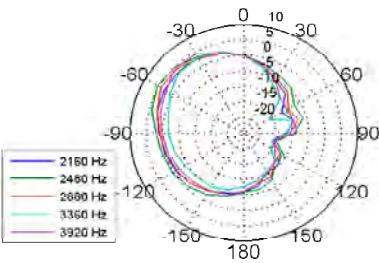
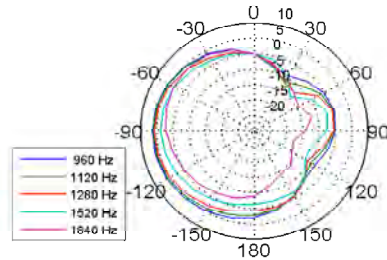
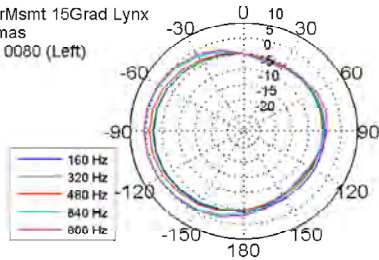
Dargestellt sind Polardiagramme, welche die Richtwirkung im Mikrofon-Modus „Real Ear Sound“ für die Messung in 20 Frequenzbändern zeigt. Die oberen vier Grafiken zeigen die Aufnahme am linken Ohr des Kunstkopfes (KEMAR) mit eingesetztem und eingeschaltetem Hörsystem im reflektionsarmen Raum (Phonak, Stäfa). Die unteren vier Grafiken zeigen die Messergebnisse für das rechte Ohr. Um die natürliche Richtwirkung der Ohrmuschel nachzubilden, befindet sich das Richtmikrofon in den Frequenzbändern der tiefen Frequenzen im omnidirektionalen Modus. Mit steigendem Frequenzband nimmt die Richtwirkung des Richtmikrofons die Charakteristik eines Cardioids (Niere) an.



Objective HPP Test Report
Project: PolarMsmt_Thomas

13-Apr-2012 16:40:05
HPP Version: 1.0 2.2552

PolarMsmt 15Grad Lynx
Thomas
REZ 0080 (Left)



PolarMsmt 15Grad Lynx
Thomas
REZ 0080 (Right)

