

Förderpreis 2015

Vergleich zwischen dem Freiburger Sprachverständlichkeitstest und einer überarbeiteten Version des Freiburger Mehrsilbertests im Bezug zur Verständlichkeit im Störgeräusch

Bachelorarbeit

Verfasser: Bastian Schulze
Betreuer: Dipl.-Ing. Reimer Rohweder
Erster Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Tchorz
Zweiter Gutachter: Marlitt Frenz (B. Sc.)
Datum der Abgabe: 03.02.2015

E UHA

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 Daten, Texte und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung über den eigenen privaten Bereich hinaus ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

© EUHA 2015

Zusammenfassung

In dieser Bachelorarbeit wird ein vom Deutschen Hörgeräte Institut neu entwickelter Sprachtest, der „Erweiterte Zahlentest“, vorgestellt. Hierbei soll er auf seine Zielsetzung geprüft werden. Deshalb ist er bis dato als interne Forschung anzusehen und steht dem Markt noch nicht zur Verfügung.

Die Überlegung ist, ihn künftig für die Erfolgskontrolle mit Hörsystemen im Störgeräusch einsetzen zu können. Deshalb wird er mit dem Freiburger Einsilbertest verglichen, da dieser für die Erfolgskontrolle genutzt wird. Der Unterschied zwischen dem Erweiterten Zahlentest und dem bisher genutzten Freiburger Einsilbertest liegt hauptsächlich in der zeitlichen Dauer eines einzelnen Teststimulus (5 bis 8 Silben im Teststimulus des Erweiterten Zahlentests, eine Silbe im Teststimulus des Freiburger Einsilbertests). Der Erweiterte Zahlentest soll damit digitalen Hörsystemen mit Störgeräuschunterdrückung und Spracherkennung genügend Zeit zur Analyse bieten. Da nur die letzten 2 bis 4 Silben des Teststimulus in die Auswertung des Sprachtests einfließen, stellt sich das Hörsystem im optimalen Fall während der ersten 3 bis 4 Silben auf die Hörsituation ein und beeinflusst das Testergebnis nicht negativ.

Das Zutreffen dieser theoretischen Annahmen wird anhand eines Probandentests überprüft. Um Vergleichswerte zu erhalten, werden zusätzlich zu den Messungen mit dem Erweiterten Zahlentest die gleichen Messungen mit dem Freiburger Einsilbertest durchgeführt. Hierbei soll mit Hilfe des Vergleichs der ermittelten Daten untereinander und des Wilcoxon-Rangsummentests die Verbesserung des Erweiterten Zahlentests gegenüber dem Freiburger Einsilbertest dargestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| Impressum | i |
| Zusammenfassung | ii |
| Inhaltsverzeichnis | iii |
| 1. Einleitung | 1 |
| 2. Grundlagen | 3 |
| 2.1 Grundlagen der Sprachaudiometrie | 3 |
| 2.2 Anpassformel NAL-NL2 | 3 |
| 2.3 Hörsystem-Features | 4 |
| 2.3.1 Siemens Pure 701 | 5 |
| 2.3.2 Phonak Audeo S IX | 6 |
| 2.4 Probandentests | 6 |
| 2.5 Sprachverständlichkeitstests | 7 |
| 2.5.1 Weitere Sprachtests | 7 |
| 2.5.2 Freiburger Sprachverständlichkeitstest | 8 |
| 2.5.3 Erweiterter Zahlentest | 10 |
| 3. Testdesign | 15 |
| 3.1 Zielsetzung des Probandentests | 15 |
| 3.1.1 Anforderungsprofil der Probanden | 15 |
| 3.2 Auswahl der Wortlisten | 15 |
| 3.3 Ablauf der Versuchsdurchführung | 16 |
| 3.3.1 Einweisung der Probanden | 17 |
| 3.4 Anforderung und Aufbau der Messkabine | 17 |
| 3.5 Auswahl der Messtechnik | 18 |
| 3.5.1 Kalibrierung der Messtechnik ACAM® 5 | 18 |
| 3.6 Hörsystem-Einstellung | 19 |
| 3.7 Messergebnisse | 20 |
| 4. Fazit | 28 |
| 5. Danksagung | 29 |
| 6. Anhang | 30 |
| 6.1 Geräteliste | 30 |
| 6.2 Abbildungen | 31 |
| 7. Verzeichnisse | 44 |
| 7.1 Abkürzungsverzeichnis | 44 |
| 7.2 Abbildungsverzeichnis | 45 |
| 7.3 Tabellenverzeichnis | 47 |
| 7.4 Literaturverzeichnis | 48 |

1. Einleitung

Die sprachliche Kommunikation zwischen Menschen ist sehr faszinierend und bildet einen zentralen Punkt in unserem Leben. Egal, in welchem Alter man ist, das Sprechen, genauso wie das Hören, ist für die meisten ein essentieller Teil. Es sind dabei nicht nur die Worte, die wir sagen, sondern auch die Art der Emotionen, die wir in unsere Stimme legen können, um beim Erzählen einer Geschichte diese zum Leben zu erwecken.

Anhand eines Versuchs kann man sich schnell in die Lage eines Schwerhörigen versetzen: das Tragen eines Gehörschutzes über mehrere Stunden bzw. einen Tag. Mit dieser sehr einfachen Art zeigt sich schnell, wie schwierig und anstrengend so ein Tag mit eingeschränktem Hören sein kann und wie befreiend es ist, wenn man den Gehörschutz wieder ablegen darf. Durch diesen Versuch zeigt sich sehr deutlich, weshalb es einige Menschen gibt, die sich aufgrund dieser Anstrengung immer weiter aus dem sozialen Umfeld entfernen. Es ist nur einer von vielen Gründen, weshalb es wichtig ist, dass die Entwicklung von neuen Hörsystemen weitergehen muss.

Während der Entstehung der Freiburger Sprachtests durch Karl-Heinz Hahlbrock in den 1950er-Jahren [1] wurden die ersten HdO- und IdO-Geräte auf den Markt gebracht. Die heute noch charakteristischen Bauformen entstanden durch die Modul-Technik (Bauelemente wie Dioden, Transistoren, Widerstände usw. werden auf Kunststoffplättchen gebracht und verdrahtet, dadurch wird Platz eingespart). Neben den üblichen linearen Verstärkern in der Analogtechnik wurde zum Beispiel mit dem K-Amp-Verstärker eine nichtlineare Verstärkung ermöglicht [2]. Der Übergang zu digitalen Hörgeräten erfolgte durch digital programmierbare Hörgeräte fast fließend. Jedoch bietet die sich immer weiter entwickelte Digitaltechnik nicht nur lineare Verstärkung, sondern auch Einstellparameter in Abhängigkeit von der Analyse und Verarbeitung des Eingangsschalldruckpegels. Programmiererelemente wie Störgeräuschunterdrückung, Sprachverarbeitung usw. benötigen für die Analyse und Verarbeitung eine gewisse Zeit. Diese kann entweder je nach Hörsituation variieren oder fest vom Hersteller definiert und programmiert sein.

Am 1. November 2013 sind durch den GKV-Spitzenverband neue Festbeträge in Deutschland in Kraft getreten [3]. Um einen Zuschuss durch die Krankenkasse zu erhalten, muss unter anderem ein Hörsystem volldigital sein und eine Störschallunterdrückung aufweisen. Durch die inzwischen vorhandene Störgeräuschunterdrückung und Spracherkennung in modernen Hörsystemen ist ein zugeschnittenes Sprachmaterial notwendig, um bestmögliche Ergebnisse zu erhalten. Es soll damit sichergestellt werden, dass man für jeden Kunden bzw. Patienten aussagekräftige Werte erwarten kann. Deshalb ist es wichtig, einen geeigneten Sprachtest für die modernen Hörsysteme zur Verfügung zu stellen.

Die heute noch für diese Evaluationen genutzten Freiburger Sprachverständlichkeitstests wurden im Gegensatz zu Hörsystemen nicht weiterentwickelt und sind noch auf dem Stand der 1950er-Jahre. Demnach berücksichtigt der Freiburger Einsilbertest [4] nicht die

Analyse- und Verarbeitungszeiten digitaler Hörsysteme. Im schlimmsten Fall kann dies zu negativen Verfälschungen der Messergebnisse führen, da das Hörsystem eine gewisse Karenzzeit braucht, um das Sprachsignal aus dem Störgeräusch heraus zu erkennen, und das einsilbige Wort somit nicht in optimaler Einstellung des Hörsystems übertragen werden kann.

In dieser Bachelorarbeit werden verschiedene in der Hörgeräteakustik genutzte Sprachtests vorgestellt, wobei sich die angewandten Messungen auf den Erweiterten Zahlentest und den Freiburger Einsilbertest begrenzen werden. Der intern vom Deutschen Hörgeräteinstitut (DHI) in Zusammenarbeit mit Acousticon entwickelte „Erweiterte Zahlentest“ wird hier zum ersten Mal in einer praktischen Anwendung zum Zuge kommen. Er wurde mit dem Ziel entwickelt, die Verarbeitungszeit des digitalen Hörgerätes zu berücksichtigen, jedoch soll er keinen weiteren Einfluss auf die Testergebnisse im Vergleich zu den Ergebnissen des Freiburger Einsilbertests haben.

Das Bestreben ist es, den „Erweiterten Zahlentest“ künftig für die Abschlussmessung mit Hörsystemen im Störgeräusch einsetzen zu können. In der Regel wird dafür der Freiburger Einsilbertest genutzt. Er soll digitalen Hörsystemen mit Störgeräuschunterdrückung und Spracherkennung die Möglichkeit geben, sich auf die Hörsituation einzustellen. Im Vergleich zu dem Freiburger Einsilbertest werden bessere Messergebnisse erwartet.

Der Zweck dieser Bachelorarbeit ist es, zu untersuchen, ob der Erweiterte Zahlentest diese Anforderungen erfüllen kann.

2. Grundlagen

2.1 Grundlagen der Sprachaudiometrie

Bei der Entwicklung eines Sprachtests gibt es grundsätzlich viele Aspekte, die beachtet werden müssen. Zu diesen gehört unter anderem die Form eines Sprachtests. Es gibt offene Sprachtests, bei denen das Testsignal, zum Beispiel ein Wort, vom Patienten/Kunden nachgesprochen werden soll. Bei einem geschlossenen Sprachtest entscheidet sich der Patient/Kunde anhand einer vorgegebenen Auswahlliste. Zu beachten ist ebenso die Länge der Test-Items. Es gibt unter anderem die Möglichkeit von Sätzen, mehrsilbigen Wörtern, einsilbigen Wörtern und Logatomen. Bei der Auswertung gibt es verschiedene Auswahlmöglichkeiten, hier kann es darauf ankommen, ein Phonem, eine Silbe, ein Wort oder einen Satz zu verstehen. Die Auswahl der Sprecherinnen oder Sprecher sowie die Berücksichtigung, ob sie geschult oder ungeschult sind, spielt eine Rolle. Die Auswahl an Störgeräuschen ebenso wie die Anordnung des Nutz- und Störschalles werden individuell an den Sprachtest angepasst.

Durch diese Fülle an Möglichkeiten ist es schwierig, die Ergebnisse der verschiedenen Tests untereinander zu vergleichen. Auch das Ziel eines Sprachtests kann variieren. Bei der Diagnostik von Hörstörungen steht die analytische Fähigkeit des Sprachtests im Mittelpunkt. Bei der Anpassung von Hörsystemen ist eine hohe Empfindlichkeit, auch bei geringfügiger Änderung der Hörsysteme-Parameter, wichtig [5]. Grundsätzlich sind mehrsilbige Zahlwörter aufgrund ihrer Redundanz (d. h. die Möglichkeit, von einem richtig erkannten Teils des Wortes auf den nachfolgenden Teil schließen zu können) auch bei niedriger Lautstärke gut zu verstehen.

Um die Verständlichkeit von 0 % auf 100 % zu erhöhen, wird eine Pegelerhöhung von ~15 dB benötigt. Wenn im Vergleich die einsilbigen Wörter genommen werden, gemessen bei einem Guthörenden, werden ~30 dB benötigt, um eine Steigerung von 0 % auf 100 % zu erreichen [6].

2.2 Anpassformel NAL-NL2

NAL-NL2 ist die Weiterentwicklung der Anpassformel NAL-NL1. Beide beruhen auf einer Kombination von Theorie und praktischen Erfahrungswerten. Sie verfolgen das Ziel, das Sprachverstehen zu verbessern. Gleichzeitig soll die Gesamtlautstärke für einen Hörsystemträger genauso empfunden werden, wie sie ein Guthörender in der gleichen Hörsituation empfindet [7].

Über einen Regelkreis wird die Lautheit verglichen, die ein Schwerhöriger empfinden würde bzw. wie sie ein Guthörender empfinden würde. Wenn sich zeigt, dass die Lautheit über der des Guthörenden liegt, wird die Gesamtverstärkung reduziert. So wird verhindert, dass bei vergleichsweise geringen Eingangssignalen diese unnötig verstärkt werden.

Dadurch würde eine Hörsituation entstehen, die für einen Hörsystemträger nicht annehmbar wäre [7].

Bei der Anpassformel NAL-NL2 werden verschiedene Parameter berücksichtigt, die in die Vorberechnung miteinbezogen werden. Dazu gehören das Alter, Geschlecht, Erfahrung, wie auch die monaurale bzw. binaurale Hörsystemversorgung [7].

Eine Untersuchung mit 189 Erwachsenen, die an unterschiedlichen Studien teilgenommen haben [8], ergab die Tendenz, dass bei Erwachsenen mit leichtem bis mittelgradigem Hörverlust und mittlerem Eingangsspegel die Verstärkungsvorgabe bei NAL-NL1 im Mittel um 3 dB zu hoch ist [7]. Eine weitere Studie, die vornehmlich das Verhalten der Gesamtverstärkung des Hörsystemträgers berücksichtigt, bekräftigt diese Aussage [9].

Im Vergleich dazu zeigt sich, dass Kinder im Mittel eher etwas mehr Verstärkung bevorzugen, als es NAL-NL1 vorgibt [10].

Bei Betrachtung des Geschlechts macht sich bemerkbar, dass Männer im Mittel 2 dB mehr an Verstärkung bevorzugen als Frauen mit gleichem Schwerhörigkeitsgrad [8]. Es wurden Messungen mit 74 Frauen sowie 113 Männern durchgeführt. Dabei wurde festgestellt, dass sich diese Neigung über alle Schwerhörigkeitsgrade gleichbleibend bestätigt. Aufgrund dessen wurden die Verstärkungswerte der Anpassformel NAL-NL1 bei Männern um 1 dB erhöht und bei den Frauen um 1 dB reduziert [7].

Des Weiteren bevorzugt ein erfahrener Hörsystemträger mehr Verstärkung als ein erstmalig Hörsystemversorgter [11]. Die Differenz der Gruppen nimmt mit steigendem Hörverlust zu. Bei geringer Schwerhörigkeit sind es 0 dB bis ca. 10 dB bei einem starken Hörverlust. Anhand einer Studie wurde mit 76 Probanden ermittelt, wie weit die Verstärkung bei erstmaligen Hörsystemversorgten verringert und wie weit die Verstärkungswerte für erfahrene Hörsystemträger erhöht werden soll. Mit der Grundlage der Anpassformel NAL-NL1 konnte ein Korrekturwert für die Anpassformel NAL-NL2 erstellt werden [7].

Ergänzend wird bei der Anpassformel NAL-NL2 berücksichtigt, ob die Hörsystemversorgung monaural oder binaural ist. Mit einem Ohr zu hören, ergibt eine geringere Lautheit, als mit beiden zu hören [7]. Das Verhältnis von monauraler zu binauraler Lautstärke deutet anhand neuer Erkenntnisse darauf hin, dass es kleiner als 2:1 ist [12]. Bei der Anpassformel NAL-NL2 wird immer noch eine höhere Verstärkung für eine monaurale Versorgung berechnet, jedoch ist die Differenz im Vergleich zu NAL-NL1 geringer geworden [7].

2.3 Hörsystem-Features

Grundsätzlich muss bei den Hörsystem-Features berücksichtigt werden, dass für die Analyse und Verarbeitung des Eingangssignals eine gewisse Zeit benötigt wird. Diese Zeiten sind, je nachdem, welches Feature betrachtet wird, unterschiedlich. Eine Impulserkennung hat eine sehr schnelle Regelzeit, die unter einer Millisekunde liegt [13].

Bei Störgeräuschreduzierung und Spracherkennung muss zwischen zwei verschiedenen Situationen unterschieden werden. Zum einen gibt es die Situation, dass ein Störgeräusch plötzlich auftritt. Zum Beispiel, wenn man ein ruhiges Gebäude verlässt und vor eine viel befahrene Straße tritt. Aktuelle Hörsysteme benötigen 5 bis 15 Sekunden, um Störgeräusche zu reduzieren und Sprache hervorzuheben. Zum anderen gibt es die Situation, dass man sich schon in einem Störgeräusch aufhält und angesprochen wird. In diesem Fall benötigen aktuelle Hörsysteme ca. 200 bis 400 ms, um Sprache aus dem Störgeräusch hervorzuheben [14],[15].

Welche Algorithmen für die verschiedenen Features verwendet werden, ist in aller Regel nicht bekannt und wird von den Herstellern gut behütet [14].

In den beiden folgenden Unterkapiteln werden die Störgeräuschreduzierung, die Spracherkennung und die Mikrofontechnologie des Siemens Pure 701 und des Phonak Audeo S IX kurz vorgestellt. Diese Features sind für das Durchführen des Probandentests von Bedeutung.

2.3.1 Siemens Pure 701

Siemens verwendet zwei verschiedene Verfahren gleichzeitig, um Störgeräusche zu erkennen. Bei der modulationsbasierenden Störgeräuschreduzierung kann aufgrund der Modulationsfrequenz zwischen Sprache und Störgeräusch unterschieden werden. Die charakteristische Modulationsfrequenz von Sprache liegt zwischen 4 und 6 Hz, die von Störgeräuschen liegt zwischen 30 und 50 Hz. Grundlage dafür ist die Analyse in mehreren Frequenzkanälen. Wenn in einem Kanal erkannt wird, dass es sich um Sprache handelt, bleibt die Verstärkung gleich. Ist jedoch das Störgeräusch dominierend, wird in diesem Kanal die Verstärkung reduziert [13].

Eine weitere Verbesserung der Sprache soll durch den Wiener-Filter ermöglicht werden. Hier werden Störgeräusche und Sprache getrennt voneinander analysiert. Die Störgeräusche werden reduziert, sobald Lücken im Sprachsignal zwischen den Silben und Wörtern erkannt werden [13].

Der Wiener-Filter und die modulationsbasierende Störgeräuschreduzierung werden bei Siemens zusammengefasst als „Sprach- und Störlärm-Management“ bezeichnet [13].

Neben der Störgeräuschreduzierung spielen Richtmikrofone eine wichtige Rolle für ein gutes Sprachverstehen im Störgeräusch. Sie nehmen die Sprache hauptsächlich von vorne auf und verringern Geräusche aus anderen Richtungen. Das adaptive Mehrkanal-Richtmikrofonsystem sorgt dafür, dass auch Störgeräusche, die in Bewegung sind, reduziert werden können, sofern diese nicht von vorne kommen. Die Einstellung im Mikrofon-Management nennt sich bei Siemens „Direktional (Adaptiv)“ [13].

Eine weitere Auswahlmöglichkeit ist der „SpeechFocus“. Bei dieser Einstellung wird berücksichtigt, dass Sprache nicht immer von vorne kommt. Je nachdem, woher das Sprach-

signal kommt, stellt das Hörsystem die passende Richtmikrofon-Charakteristik ein. Das kann omnidirektional, direktional und umgekehrt direktional sein. Für die Analyse des Eingangssignals und die damit verbundene Spracherkennung benötigt das Hörsystem etwa eine Sekunde [13].

2.3.2 Phonak Audeo S IX

Die Störgeräuschreduzierung bei Phonak nennt sich „NoiseBlock“. Hier wird die Verstärkung in den Kanälen reduziert, die einen geringen Signal-Rausch-Abstand aufweisen [16].

Unter „Mikrofon Modus“ wird die Einstellung der Mikrofone vorgenommen. Unter anderem gibt es die Auswahl „UltraZoom“, die in geräuschvollen Situationen die Sprache von vorne verstärken und die Störgeräusche reduzieren soll. Mit dem „UltraZoom & SNR-Boost“ werden zusätzlich räumliche Informationen genutzt, um die Sprache von vorne vom Störgeräusch zu unterscheiden [16].

Mit dem „StereoZoom“ wird die Richtmikrofon-Charakteristik im Vergleich zu monauralen direktionalen Hörsystemen weiter verengt. Damit soll ermöglicht werden, dass der Sprecher im Fokus steht und die Störgeräusche reduziert werden [16].

2.4 Probandentests

Wichtig für einen Probandentest ist die richtige Vorbereitung. Dies beinhaltet den Testablauf sowie die richtige Einweisung des Probanden. Dafür gibt es eine Norm, die eine Definition vorgibt [17].

Bevor mit dem eigentlichen Testablauf begonnen wird, sollte der Proband mindestens fünf Minuten vorher anwesend sein, um Fehlern durch körperliche Belastung entgegenzuwirken. Dabei ist zu beachten, dass der Proband nicht kurz vor dem Versuch eine Lärmeinwirkung erfahren hat; das könnte dazu führen, dass die Hörschwelle zu höheren Pegeln verschoben ist. Aus diesem Grund sollte vor einem Versuch Lärm vermieden werden, ansonsten muss diese Tatsache dokumentiert werden [17].

Ordnungsgemäß wird vor dem Beginn der Audiometrie der Gehörgang von einer qualifizierten Person durch eine Otoskopie untersucht. Es wird damit sichergestellt, dass der Gehörgang nicht durch Cerumen verschlossen ist. Sofern er verschlossen sein sollte, kann mit der Messung erst fortgefahren werden, wenn das Cerumen entfernt wurde [17].

Für den Probanden ist eine richtige Einweisung wichtig. Es sollte vermieden werden, dass die Anweisungen über den Testablauf zweideutig sind. Normalerweise sollten die Anweisungen bestimmte Angaben enthalten:

- Welches Ohr wird zuerst überprüft (sofern mit einem Kopfhörer bzw. Knochenhörer gemessen wird)
- Welche Art die Test-Items haben und welche Art der Antwort erwünscht wird

- Die Erfordernis, eine Antwort zu geben, sofern die Sprache auf einem Ohr gehört wird, egal wie leise sie ist
- Es ist erforderlich, sofort nach dem Test-Item eine Antwort zu geben
- Auch wenn Unsicherheit besteht, ob das Test- Item richtig verstanden wurde, soll es laut und deutlich wiederholt werden
- Für jedes Test-Item darf nur eine Antwort gegeben werden

Um unnötigen Geräuschen zu entgehen, soll der Proband nicht-dringliche Bewegungen vermeiden. Um sicherzugehen, ob die Anweisungen richtig verstanden wurden, muss der Versuchsleiter dies vor Beginn des Versuches abklären. Sofern Unsicherheiten bestehen, sollte eine Wiederholung der Anweisung erfolgen. Darüber hinaus sollte der Proband die Information erhalten, dass er zu jedem Zeitpunkt den Versuch abbrechen darf [17].

2.5 Sprachverständlichkeitstests

2.5.1 Weitere Sprachtests

Göttinger Satztest (GÖSA)

Der GÖSA ist eine Weiterentwicklung des Marburger Satztests [6] und gehört zu den offenen Sprachtests. Der Grundgedanke bei der Entwicklung war die Durchführung für Messungen im Störgeräusch, aber auch für Messungen in Ruhe ist er gut geeignet. Die 50%-Sprachverständlichkeitsschwelle (SVS) kann durch die steile Verständlichkeitschwelle schnell bestimmt werden [18].

Er besteht aus 20 Testlisten mit je zehn Sätzen und aus vier Übungslisten mit je zwölf Sätzen [19]. Bei der Auswahl der Sätze wurde auf eine annähernd gleiche Diskriminationsfunktion, gleiche Wort- und Phonemanzahl sowie die in der deutschen Sprache angepasste Phonemverteilung geachtet [20]. Die Steigung der Diskriminationsfunktion in Ruhe liegt bei 11 % pro dB, im Störgeräusch bei 19 % pro dB. Für einen Durchlauf der Testliste werden vier Minuten benötigt [21].

Oldenburger Satztest (OLSA)

Angelehnt an den schwedischen Satztest nach Hagermann wurde der OLSA entwickelt und 1999 vorgestellt [22]. Die Sprachverständlichkeitsschwelle kann in Ruhe oder im Störgeräusch festgestellt werden. Er besteht aus 40 Testlisten mit jeweils 30 oder 20 Sätzen, der Aufbau der Sätze besteht aus fünf Wörtern „Name-Verb-Zahlwort-Adjektiv-Objekt“. Aus einer Anzahl von 50 Wörtern werden zufällige Sätze gebildet, die nicht unbedingt sinnvoll sind [23]. Durch die vielen Möglichkeiten der Satzbildung eignet sich der Test auch bei häufiger Benutzung [24]. Die Steigung der Diskriminationsfunktion in Ruhe liegt bei 11 % pro dB, mit Störgeräusch bei 17 % pro dB. Für einen Durchlauf der Testliste werden vier Minuten benötigt [21].

Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier (WAKO)

Der entwickelte Reimtest von Sotscheck war anfänglich für die Nachrichtentechnik gedacht und wurde von von Wallenberg und Kollmeier für audiologische Zwecke modifiziert [25]. Mit dem WAKO kann die Sprachverständlichkeit in Ruhe wie auch im Störgeräusch ermittelt werden. Er gehört zu den geschlossenen Sprachtests und besteht aus 18 Testlisten mit 25 Wörtern sowie aus zehn Testlisten mit 47 Wörtern. Der Proband hat die Möglichkeit, aus einer Liste von fünf vorgegebenen Worten auszuwählen [26]. Die Steigung der Diskriminationsfunktion liegt in Ruhe wie auch im Störgeräusch bei 6 % pro dB. Bei der Auswahl der Testliste mit 25 Wörtern werden für einen Durchlauf zwei Minuten benötigt [21].

2.5.2 Freiburger Sprachverständlichkeitstest

Der Freiburger Sprachverständlichkeitstest (FST) ist im deutschsprachigen Raum der bekannteste und auch meistverwendete Sprachtest. Er wurde von Karl-Heinz Hahlbrock entwickelt und 1953 vorgestellt. Er ist normiert [4] und gehört zu den offenen Sprachtests. Er ist in zwei Tests unterteilt, den Freiburger Zahlentest (FBZ) und den Freiburger Einsilbertest (FBE). Der FBZ besteht aus zehn Gruppen mit je zehn mehrsilbigen Zahlenwörtern und wird verwendet, um den Hörverlust in dB zu ermitteln [6]. Die Steigung der Diskriminationsfunktion in Ruhe liegt bei 8 % pro dB, die Dauer für eine Testliste beträgt eine Minute [21]. Der FBE besteht aus 20 Gruppen mit je 20 einsilbigen Wörtern, ermittelt wird die Sprachverständlichkeit in Prozent [6]. Die Steigung der Diskriminationsfunktion in Ruhe liegt bei 5 % pro dB, die Dauer für eine Testliste beträgt 1,5 Minuten [21].

Für Hals-Nasen-Ohren-Ärzte (HNO-Ärzte) und Hörgeräteakustiker gehört er zum täglichen Gebrauch, da er sich zur Diagnostik sehr gut eignet [27].

Um überhaupt ein Hörgerät von einem HNO-Arzt verordnet zu bekommen, wurden Indikationen durch das Bundesministerium für Gesundheit festgelegt. Ein Teil dieser Indikation wird durch den Freiburger Einsilbertest (FBE) abgedeckt. Hierbei liegt die über den Kopfhörer abgegebene Lautstärke bei 65 dB. Das bestmögliche Sprachverstehen darf dabei maximal bei 80 % liegen. Die Messungen erfolgen monaural [28].

Es gibt aber nicht nur eine Indikation, um ein Hörgerät verordnet zu bekommen. Die sogenannte Abschlussmessung oder Erfolgsmessung mit Hörgeräten muss einen Mindestgewinn aufweisen. Bei dieser Messung wird mit dem FBE im Freifeld [17] gemessen. Wenn bei 65 dB ohne Hörgerät ein Einsilberverstehen ermittelt werden konnte, muss bei gleichem Pegel und binauraler Hörgeräteversorgung eine Verbesserung von mindestens 20 Prozentpunkten erreicht werden. Unter Berücksichtigung des maximalen Einsilberverstehens ist es das Ziel, diesem maximalen Wert im Freifeld bei 65 dB möglichst nahe zu kommen [28].

Neben dem Vorteil der guten Diagnostik ist die inzwischen gesammelte Erfahrung mit dem FST groß [18]. Seine Stärke ist auch die geringe Redundanz; es ist also nicht möglich, aus dem richtig erkannten Teil eines Wortes auf den weiteren Teil zu schließen [27].

Mit der Zeit haben sich aber auch Schwachstellen des FBE gezeigt. Einer der Hauptkritikpunkte ist die Unausgeglichenheit der Testgruppen. Es hat sich herausgestellt, dass die Testgruppen 3, 15 und 20 sehr gut und die Testgruppen 5, 9, 12, 13 und 14 schlecht verstanden werden (siehe Abb. 1.1 [29]).

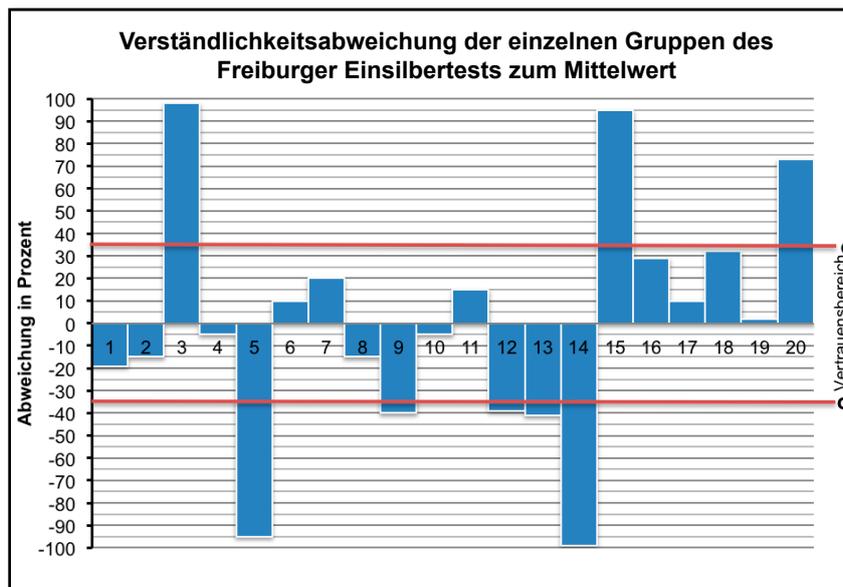


Abb. 1: Abweichung des Mittelwerts von Testergebnissen innerhalb einer Gruppe zum Mittelwert der Testergebnisse aller Gruppen [29]

Sofern diese Abweichungen der Testgruppen bei Messungen mit Hörsystemen nicht berücksichtigt werden, kommt es zu einem Trugschluss bei der Anpassung mit Hörsystemen. Es sollten daher die Testgruppen innerhalb des Vertrauensbereichs ± 1 Sigma (σ) für die Messungen genommen werden [29]. Der Buchstabe σ wird in der Statistik für die Standardabweichung der Grundgesamtheit genutzt [30].

Zu beachten ist auch, dass dieselbe Wortgruppe nicht in kürzester Zeit wiederholt wird. Dies könnte sonst dazu führen, dass die Person eine bessere Sprachverständlichkeit aufweist, da sich gewisse Wortkombinationen gut merken lassen.

Durch den offenen Wortschatz wird erwartet, dass die Testperson das gesprochene Wort kennt, um es wiederholen zu können. Er eignet sich dementsprechend eher für deutschsprachige Personen. Zu beachten ist auch eine eventuelle Hemmschwelle, die bei bestimmten Wörtern auftreten kann (z. B. „Pest“, oder „Sarg“). Es kann aber auch zu Fehlern bei der Wiederholung des Wortes kommen [27]. Hier kann es sein, dass der Proband eine undeutliche Aussprache hat oder der Testleiter etwas falsch versteht und es somit zu falschen Messergebnissen kommt. Da es nicht möglich ist, den FST automatisiert durchzuführen, besteht immer die Möglichkeit, dass er durch den Testleiter beeinflusst wird. Die Neuaufsprache des FST ist von 1976 und stammt von einem ausgebildeten Sprecher. Es

ist aber schon eine Zeit lang bekannt, dass die Aufnahmetechnik nicht auf dem neuesten Stand und die Aussprache überartikuliert und unnatürlich ist. Angesichts dessen kann das Testergebnis bei gegenwärtigen Messungen negativ beeinflusst werden [31].

2.5.3 Erweiterter Zahlentest

Der Erweiterte Zahlentest (EWZ) wurde durch das Deutsche Hörgeräteinstitut (DHI) in Zusammenarbeit mit Acousticon entwickelt. Die Überlegung dahinter ist, einen Test zur Verfügung zu stellen, der sein Hauptaugenmerk auf die Erfolgskontrolle von digitalen Hörsystemen im Störgeräusch legt.

Wie in der Einleitung erwähnt, benötigen digitale Hörsysteme eine gewisse Zeit, um ein Eingangssignal zu verarbeiten. Der Grundgedanke hinter dem EWZ ist deshalb, die Verarbeitungszeit zu berücksichtigen und so ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten. Die Basis für den EWZ ist der Freiburger Zahlentest (FBZ). Es werden die Zahlenworte des FBZ um eine Hunderterstelle erweitert, wodurch aus den zweistelligen Zahlen eine dreistellige wird. Die Zahl des FBZ wird um ca. 600 ms erweitert (Abb. 2).

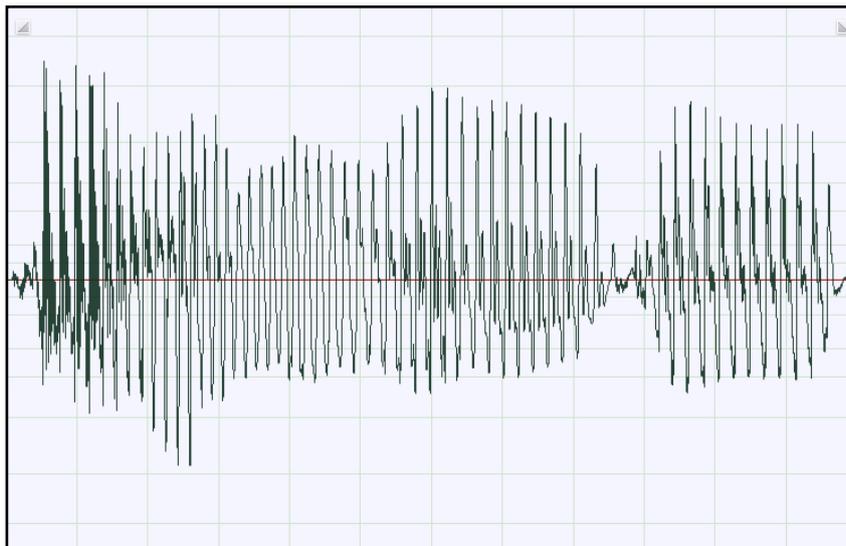


Abb. 2: Das Bild zeigt die Zahl 100, mit einer Signallänge von 602 ms. Es wurde aus der Zahl 198 herausgeschnitten.

Um es anschaulich zu gestalten, wird dies anhand der ersten Gruppe des FBZ bzw. EWZ in Zahlen beschrieben.

| | | | | | | | | | | |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1. Gruppe FBZ: | 98 | 22 | 54 | 19 | 86 | 71 | 35 | 47 | 80 | 63 |
|----------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|

| | | | | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1. Gruppe EWZ: | 198 | 122 | 154 | 119 | 186 | 171 | 135 | 147 | 180 | 163 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|

Wie sich zeigt, wird vor jede Zahl des FBZ eine „1“ gesetzt, das entspricht dann dem EWZ. Damit verlängert sich jede Zahl um drei Silben. Der EWZ weist somit immer drei Silben mehr auf als der FBZ.

1. Beispiel:

FBZ: 98 acht – und – neun – zig

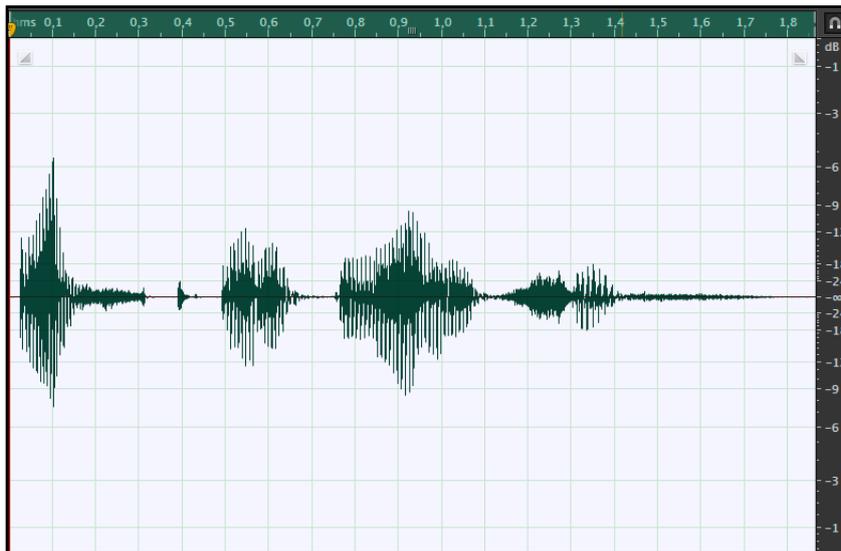


Abb. 3: Aufnahme der Zahl 98 (Freiburger Zahlentest), Dauer = 1,8 Sekunden

EWZ: 198 ein – hun – dert – acht – und – neun – zig

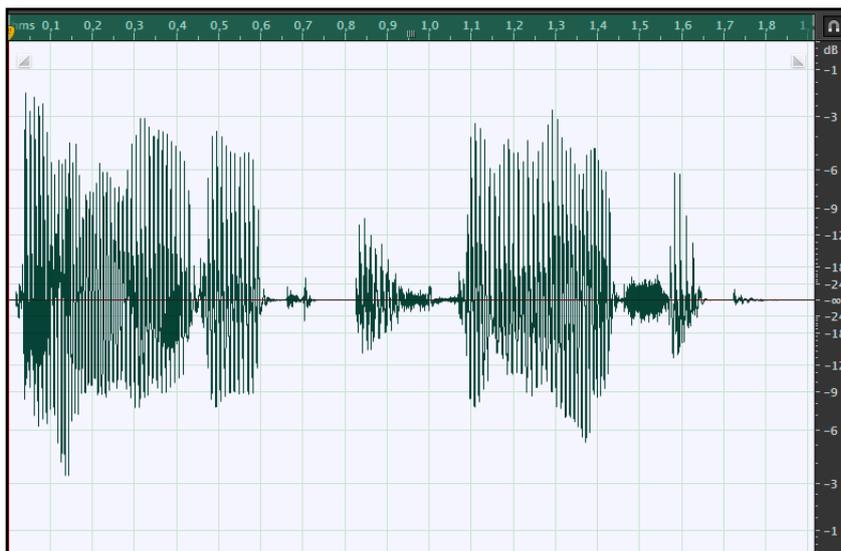


Abb. 4: Aufnahme der Zahl 198 (Erweiterter Zahlentest), Dauer = 1,9 Sekunden

Das Beispiel zeigt, dass die Zahl „98“ vier Silben hat. Der EWZ mit der erweiterten Hunderterstelle weist insgesamt sieben Silben auf. Die Silbenanzahl kann durchaus variieren, jedoch bleibt die Differenz der Silben bei dem Vergleich FBZ und EWZ immer dieselbe.

2. Beispiel:

FBZ: 19 neun – zehn

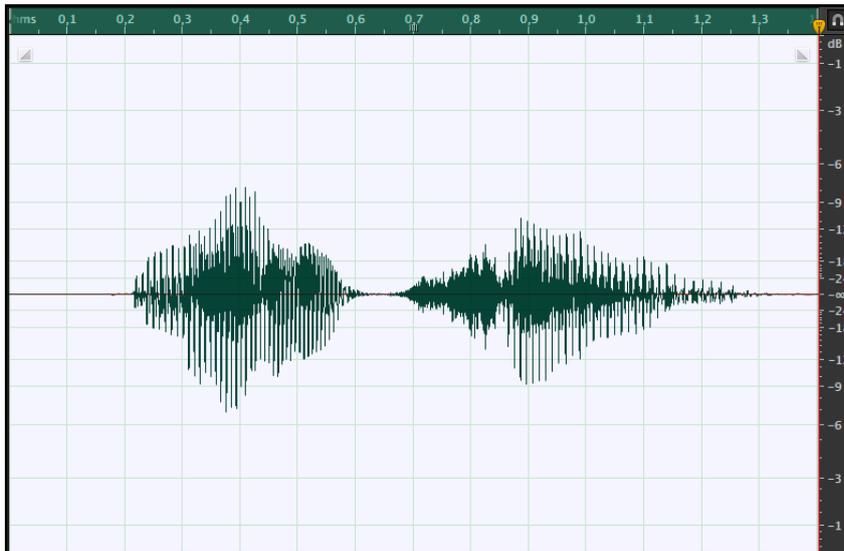


Abb. 5: Aufnahme der Zahl 19 (Freiburger Zahlentest), Dauer = 1,4 Sekunden

EWZ: 119 ein – hun – dert – neun – zehn

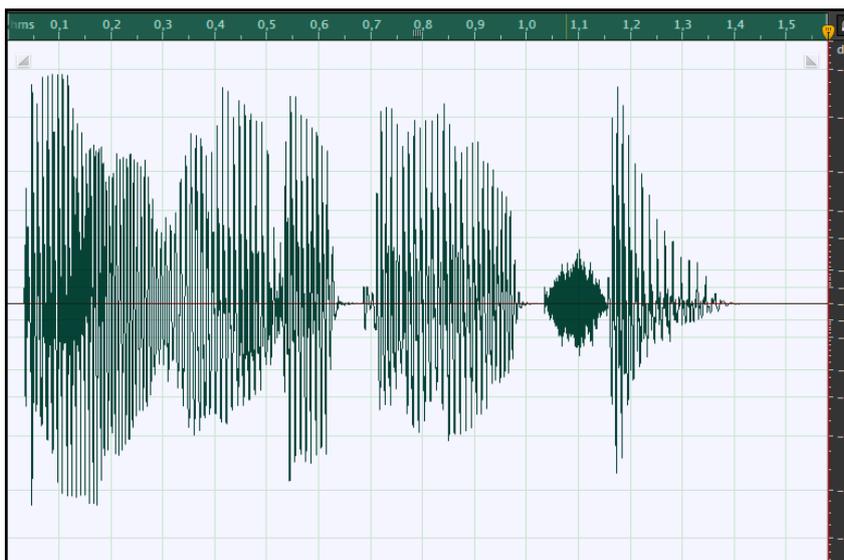


Abb. 6: Aufnahme der Zahl 119 (Erweiterter Zahlentest), Dauer = 1,6 Sekunden

Die „19“ besteht aus zwei Silben, die „119“ hat drei Silben mehr und kommt damit auf insgesamt fünf Silben. Somit ist egal, welche Zahl erweitert wird, die Differenz liegt immer bei drei Silben. Der FBZ wird nicht nur mit der Hunderterstelle erweitert, sondern genauso mit der 200er-, 300er-, 400er-, 500er-, 600er-, 800er- und der 900er-Stelle. Auch bei diesen Zahlen wird der FBE um drei Silben erweitert. Mit der 700er-Stelle kann der FBE in gleicher Weise erweitert werden, hier sind es dann zusätzliche vier Silben mehr. Es wird jedoch in einer Gruppe mit zehn Zahlenwörtern immer nur eine Hunderterstelle verwendet. Derzeit gibt es nur Aufnahmen des EWZ, die aus der ersten Gruppe des FBZ resultieren.

Die Aufnahmen dieser Testreihen wurden durch Acousticon ermöglicht. Es handelt sich bei der Aufnahme um einen professionellen männlichen Sprecher ohne Dialekt. Die Aussprache der Zahlen ist deutlich und ist weder zu schnell noch zu langsam gesprochen. Allerdings ist das Sprachmaterial des FBE im Vergleich zum Sprachmaterial des EWZ monoton gesprochen. Außerdem ist das Frequenzspektrum des neu aufgesprochenen EWZ im Vergleich zum FBE breiter (Abb. 7 und 8).

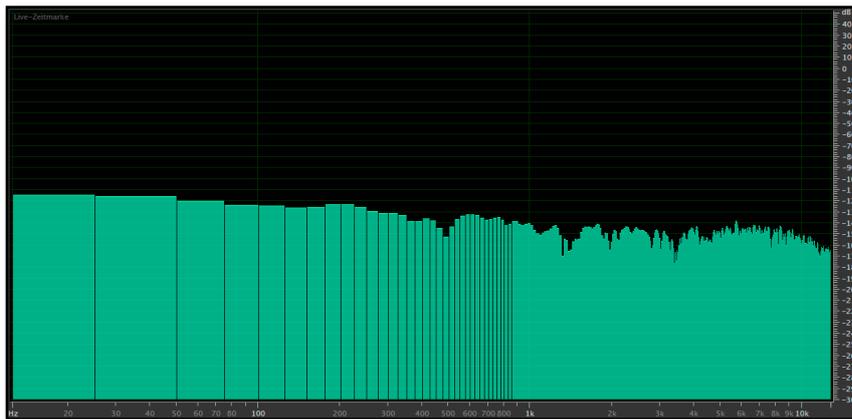


Abb. 7: Frequenzspektrum der Zahl 98 (Freiburger Zahlentest)

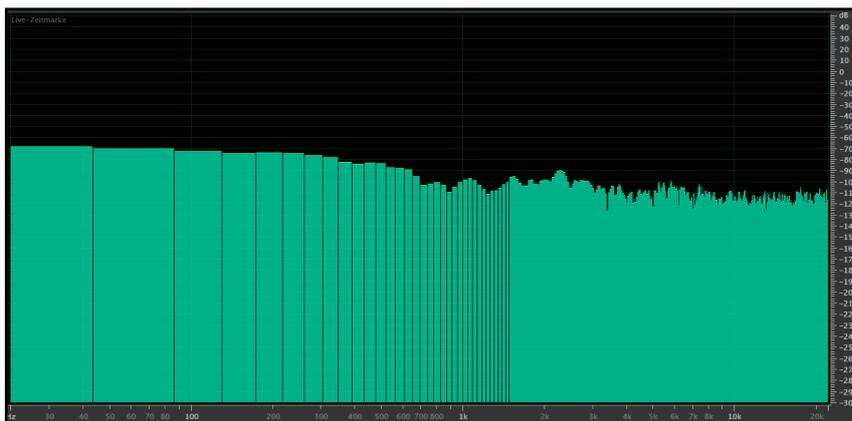


Abb. 8: Frequenzspektrum der Zahl 198 (Erweiterter Zahlentest)

Das Erweiterte Spektrum sowie das Testmaterial des EWZ wiesen innerhalb einer internen Studie des DHI, in der das Sprachverstehen in Ruhe bei festem Stimuluspegel von Normalhörenden gemessen wurde, keinen signifikanten Vorteil im Vergleich zum Testmaterial des FBE auf.

Durch die Erweiterung um die drei Silben soll ermöglicht werden, die Verarbeitungszeit des Hörsystems mit einzukalkulieren. Wenn dem Probanden z. B. die Zahl „198“ vorgespielt wird, muss er nur die Zahl „98“ wiederholen. Somit spielen die ersten drei Silben für den Probanden keine Rolle. Dementsprechend hat das Hörsystem die Zeit, das gesprochene Zahlenwort aus dem Störgeräusch heraus zu erkennen. Die Überlegung dahinter ist, ein besseres Ergebnis bei der Erfolgskontrolle im Vergleich zum meistens verwendeten FBE zu erreichen.

Da es noch keine Erfahrungswerte mit dem EWZ gibt, soll diese Bachelorarbeit mit dazugehörigem Probandentest erste Ergebnisse liefern. Bevor mit der Studie begonnen wird, gibt es drei Fragen, die es anhand der Messergebnisse zu klären gilt.

Die erste Frage ist, dass die Messergebnisse mit dem FBE und dem EWZ ohne Hörsystem keinen signifikanten Unterschied bezüglich des Sprachverstehens bei gleichem Lautstärkepegel zeigen.

Die zweite Frage ist, dass die Messergebnisse mit dem FBE und dem EWZ und aktiver Spracherkennung/Störgeräuschunterdrückung einen signifikanten Unterschied zeigen.

Die dritte Frage ist, dass die Messergebnisse mit dem EWZ bei aktiver und deaktivierter Spracherkennung/Störgeräuschunterdrückung einen signifikanten Unterschied zeigen.

3. Testdesign

3.1 Zielsetzung des Probandentests

In Kapitel 2.1 wird beschrieben, was in der Theorie für Sprachtests berücksichtigt werden muss und welches Ziel damit theoretisch verfolgt wird. Jedoch werden Sprachtests für den praktischen Gebrauch konzipiert. Dadurch wird berücksichtigt, dass wir Menschen Individuen sind und Ergebnisse in praktischer Anwendung von den theoretisch erwarteten abweichen können.

Um eine Aussage über Sprachtests zu erhalten, spielt der subjektive Test eine wesentliche Rolle. Deshalb war es bei dieser Studie wichtig, mit Probanden zusammenzuarbeiten.

3.1.1 Anforderungsprofil der Probanden

Bei dieser Studie wird die Abschlussmessung mit dem FBE und dem Erweiterten Zahlentest angewandt. Es stellt sich die Frage, welche Probanden für die Durchführung benötigt werden. Dabei spielen einige Faktoren, wie z. B. der Hörverlust, Alter usw. eine wichtige Rolle, da die Probandengruppe ein breites Spektrum aller Hörsystemträger in Deutschland widerspiegeln soll. Durch eine Klassifizierung wird festgelegt, welche Probanden für die jeweilige Stichprobe in Frage kommen.

Gesucht werden in diesem Fall Personen ab 65 Jahren mit einer binauralen Presbyakusis und sensorineuraler Schwerhörigkeit. Presbyakusis gehört zu den häufigsten Schwerhörigkeiten und beginnt oftmals ab dem 50. Lebensjahr [32]. Die Anzahl der teilnehmenden Frauen und Männer soll dabei möglichst ausgewogen sein.

3.2 Auswahl der Wortlisten

Freiburger Sprachtest:

Wie in Kapitel 2.2.1 erörtert, sind die 20 Testgruppen des FBE nicht ausgeglichen. Bei der Durchführung der Studie werden nur die Testgruppen verwendet, die laut Bangert im Vertrauensbereich $\pm 1 \sigma$ liegen. Dadurch ergibt sich eine Anzahl von zwölf möglichen Testgruppen (1, 2, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 16, 17, 18, 19).

Während des Probandentests wurde die Testgruppe durch den Prüfer per Zufall ausgewählt. Es wird dabei beachtet, dass kein Proband eine Testliste doppelt vorgespielt bekommt.

Erweiterter Zahlentest:

Da momentan nur Aufnahmen der ersten Testgruppe des FBZ existieren, gab es hier nicht die Möglichkeit zu variieren. Den Probanden wird der Erweiterte Zahlentest lediglich mit verschiedenen Vorsilben vorgespielt.

3.3 Ablauf der Versuchsdurchführung

Bevor mit den Messungen gestartet wird, ist es wichtig, dem Probanden zu erläutern, was ihn erwartet. Dadurch werden auch eventuelle Unsicherheiten genommen. Wie in Kapitel 2.3 beschrieben, wird hier die DIN EN ISO 8253-3 berücksichtigt, um den Probanden fachgemäß vorzubereiten.

Begonnen wird mit dem Tonaudiogramm, sofern die letzte Messung über drei Monate zurückliegt. Die Reihenfolge bei dieser Messung ist: Hörschwelle über Luftleitung (LL), Hörschwelle über Knochenleitung (KL), Unbehaglichkeitsschwelle (US) über LL.

Insgesamt wurden mit jedem Probanden zehn Messungen im Freifeld durchgeführt. Bei jeder Messung kommt der Nutzschall von vorne (0°) mit 65 dB(A) und der Störschall von hinten (180°) mit 60 dB(A). Bei dem Störschall handelt es sich um ein sprachsimulierendes Rauschen. Der hier umgesetzte Messaufbau entspricht der gängigen Anordnung der Lautsprecher [33].

Gruppe 1:

Messung A: FBE ohne Hörsysteme

Messung B: Erweiterter Zahlentest ohne Hörsysteme

Gruppe 2:

Messung C: FBE mit Siemens Pure 701, Features an

Messung D: FBE mit Siemens Pure 701, Features aus

Messung E: Erweiterter Zahlentest mit Siemens Pure 701, Feature an

Messung F: Erweiterter Zahlentest mit Siemens Pure 701, Features aus

Gruppe 3:

Messung G: FBE mit Phonak Audeo S Smart IX, Features an

Messung H: FBE mit Phonak Audeo S Smart IX, Features aus

Messung I: Erweiterter Zahlentest mit Phonak Audeo S Smart IX, Features an

Messung J: Erweiterter Zahlentest mit Phonak Audeo S Smart IX, Features aus

Mit welcher Gruppe gestartet wird, ist nicht festgelegt und wird per Zufall gewählt. Die Messungen innerhalb einer Gruppe werden komplett durchgeführt, bevor der Wechsel zur nächsten Gruppe stattfindet. Das heißt, wenn z. B. mit Gruppe 3 begonnen wird, werden alle vier Messungen mit dem Phonak Audeo S beendet, bevor mit der Gruppe 1 oder Gruppe 2 fortgefahren wird. Dabei ist zu beachten, dass die Reihenfolge innerhalb einer

Gruppe immer eine andere ist. Es soll dadurch ausgeschlossen werden, dass die Probanden einen Lerneffekt erzielen können.

Genutzt werden Domes des jeweiligen Herstellers, die das Ohr möglichst fest verschließen. Um den richtigen Sitz im Ohr zu gewährleisten, wird mit dem Otoskop kontrolliert.

Die Auswahl der zwölf möglichen FBE-Listen erfolgt durch den Prüfer. Die genutzte Testliste wird dokumentiert, somit soll sichergestellt werden, dass kein Proband eine Testliste mehrmals vorgespielt bekommt.

3.3.1 Einweisung der Probanden

Die Gleichheit der Einweisung jedes Probanden in den jeweiligen Test soll gewährleistet sein, um einen Vorteil auszuschließen. Deshalb wird er hier wie folgt festgehalten:

FBE: „Sie hören nun aus dem vorderen Lautsprecher einsilbige Wörter, wie z. B. Baum oder Hund. Bitte sprechen sie das Wort nach, welches Sie verstanden haben. Von hinten hören Sie es gleichzeitig rauschen. Versuchen Sie, sich nur auf das Wort zu konzentrieren und das Rauschen, so gut Sie können, zu ignorieren.“

EWZ: „Sie hören nun aus dem vorderen Lautsprecher mehrsilbige Zahlen, wie z. B. 125 oder 374. Die Hunderterstelle der Zahl brauchen Sie nicht zu wiederholen. Das heißt bei der Zahl 125 würden Sie nur die Zahl 25 wiederholen, bei der Zahl 374 würden sie nur die Zahl 74 wiederholen. Von hinten hören Sie es gleichzeitig rauschen. Versuchen Sie, sich nur auf das Wort zu konzentrieren und das Rauschen, so gut Sie können, zu ignorieren.“

3.4 Anforderung und Aufbau der Messkabine

Die Messungen für den Probandentest haben in einem üblichen Hörerätechgeschäft stattgefunden. Ermöglicht wurde es von Frau Dagmar Kienaß, die ihr Fachgeschäft „Dagmar Kienaß ... besser HÖREN und SEHEN“ in Kiel-Schilksee für diese Studie zur Verfügung stellte. Über den Zeitraum von zwei Wochen konnte neben dem alltäglichen Geschäftsverlauf die Studie mit ausgewählten Kunden durchgeführt werden. Das Fachgeschäft ist mit zwei Hörkabinen ausgestattet. Bevor die Probandentests stattfanden, wurde festgelegt, welche der beiden Kabinen dafür genutzt wird. Alle 19 Probanden haben in derselben Kabine und unter gleichen Bedingungen an der Studie teilnehmen können.

Die Entfernung des Probanden zu dem vorderen wie zu dem hinteren Lautsprecher beträgt jeweils einen Meter. Da es nicht möglich ist, über 60 Minuten in der gleichen Sitzposition zu bleiben, wird bei Notwendigkeit der Abstand zwischen den beiden Lautsprechern erneut gemessen. Hinter den beiden Lautsprechern sind mindestens 0,5 m Zwischenraum zur Wand. Die Lautsprecher sind während der Messung immer auf den Probanden gerichtet. Der Versuchsleiter sitzt hinter dem Lautsprecher am Schreibtisch (Abb. 9).

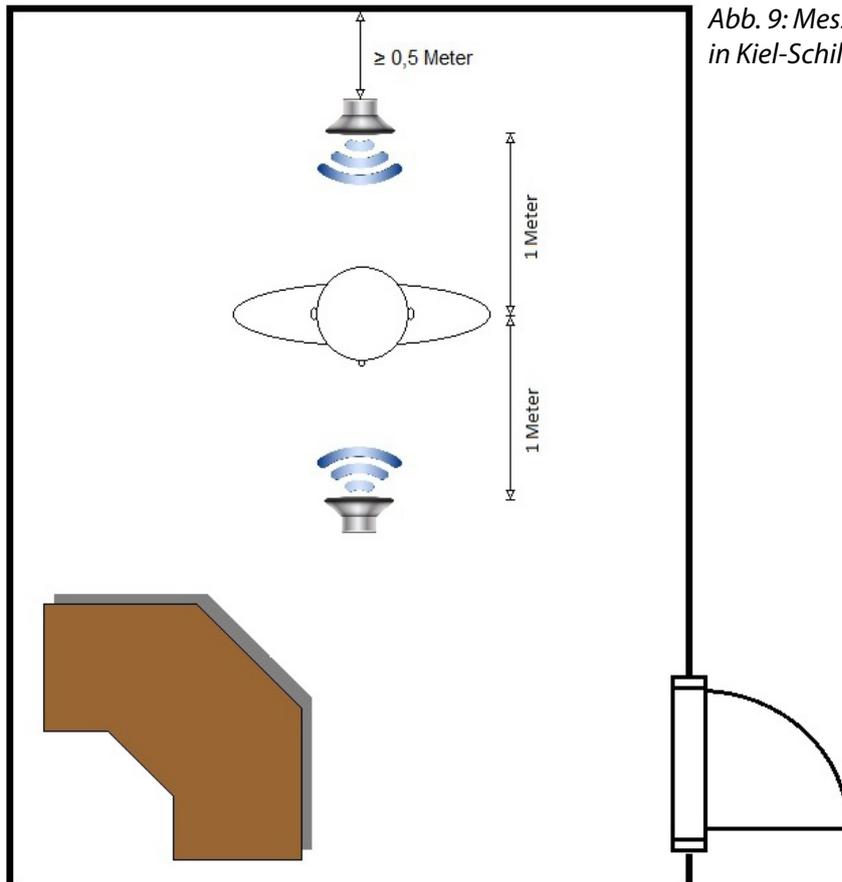


Abb. 9: Messaufbau in der Hörkabine in Kiel-Schilksee

3.5 Auswahl der Messtechnik

Die Messkabine ist mit einer ACAM[®] 5 ausgestattet. Das Programmieren der Hörsysteme ist durch eine NOHALink gewährleistet. Bei der Auswahl der Hörsysteme soll in der Regel der Hersteller keine Rolle spielen. Für die folgenden Messungen werden zwei Hersteller gewählt, die durch ihre Anpasssoftware dem Benutzer möglichst viele Anpassparameter, die die Sprachverarbeitung beeinflussen, zur Verfügung stellen. Genutzt wird das Pure 701 RIC von Siemens mit der Anpasssoftware Connexx und das Audeo S Smart IX von Phonak mit der Anpasssoftware Target.

3.5.1 Kalibrierung der Messtechnik ACAM[®] 5

Die Schallfeldkalibrierung wurde jeden Tag vor der ersten Messung eines Probanden angewendet. Der Ablauf wird durch die ACAM vorgegeben. Die In-situ-Sonde wird dabei so positioniert, wo sich typischerweise das Ohr des Kunden befindet. Der Sondenschlauch ist möglichst dicht an der Öffnung des Referenzmikrofons angebracht.

Für die eigentliche Kalibrierung gibt die ACAM zwei verschiedene Möglichkeiten zur Auswahl. Es kann zwischen „Alle Tests hintereinander starten“ oder „Individuelle Abfrage“ gewählt werden. In dem Handbuch der ACAM[®] 5 wird darauf hingewiesen, dass der Start aller Tests hintereinander für den täglichen Gebrauch in der Praxis am besten geeignet ist, und dies wird in diesem Fall täglich angewendet.

Bei Start der Messung laufen verschiedene für Freifeldmessungen typische Signale (z. B. Sinussignal, CHIRP Signal, weißes Rauschen usw.) hintereinander ab. Jedes einzelne Signal läuft so lange, bis es bei 80 dB eingeregelt ist.

3.6 Hörsystem-Einstellung

Die Voreinstellung der beiden Hörsysteme soll möglichst gleich sein unter der Berücksichtigung, dass zwei verschiedene Hersteller verwendet werden. Bei dieser Studie wird die Anpassformel NAL-NL2 verwendet, gleichwohl wären auch andere Anpassformeln in Frage gekommen.

Die genaue First-Fit-Einstellung der beiden Hörsysteme wird in Tabelle 1 dargestellt.

| | | |
|------------------------------|--------------------|----------------------|
| Herstellereinstellung | Siemens: Connexx | Phonak: Target |
| Hörsystem | Pure 701 RIC | Audeo S IX |
| Externer Hörer | miniReceiver M | xS (Standard) |
| Dome | Click Dome doppelt | Power Dome |
| Hörsystemerfahrung | routiniert | erfahrener Anwender |
| Akklimatisationsstufe | 100 % | 100 % |
| Sprache | nicht tonal | steht nicht zur Wahl |
| Anpassstrategie | NAL-NL2 | NAL-NL2 |

Tabelle 1: First Fit der Hörsysteme Siemens Pure RIC 701 mit der Anpasssoftware Connexx, Phonak Audeo S IX mit der Anpasssoftware Target

| Siemens Pure 701 Features: aktiviert | Siemens Pure 701 Features: deaktiviert |
|---|--|
| aktivierter Sprach- und Störlärm-Manager auf max. | deaktivierter Sprach- und Störlärm-Manager |
| SoundSmoothing deaktiviert | SoundSmoothing deaktiviert |
| eWindScreen deaktiviert | eWindScreen deaktiviert |
| Sound Brilliance deaktiviert | Sound Brilliance deaktiviert |
| FeedbackStopper deaktiviert | FeedbackStopper deaktiviert |
| Mikrofonsystem: direktional | Mikrofonsystem: direktional |

Tabelle 2: Siemens Pure 701 Einstellung bei Messungen mit aktiven Features und deaktivierten Features

| Phonak Audeo S IX Features: aktiviert | Phonak Audeo S IX Features: deaktiviert |
|--|--|
| NoiseBlock auf stark | NoiseBlock deaktiviert |
| WhistleBlock deaktiviert | WhistleBlock deaktiviert |
| WindBlock deaktiviert | WindBlock deaktiviert |
| EchoBlock deaktiviert | EchoBlock deaktiviert |
| Mikrofon-Modus: UltraZoom | Mikrofon-Modus: UltraZoom |
| SoundRecover deaktiviert | SoundRecover deaktiviert |

Tabelle 3: Phonak Audeo S IX Einstellung bei Messungen mit aktiven Features und deaktivierten Features

Eine Feinanpassung wird in diesem Fall nicht vorgenommen. Die Hörsysteme sollen möglichst gleich eingestellt bleiben, um die Ergebnisse der Probandentests nicht zu verfälschen. Es soll aber verhindert werden, dass die Hörsysteme für den Probanden subjektiv zu laut oder evtl. zu leise eingestellt sind. Deshalb wird jeder Proband gefragt, ob die Gesamtlautstärke erhöht oder gesenkt werden soll.

Bei beiden Hörsystemen werden Programmschalter und Lautstärkeregel deaktiviert. Dadurch kann sichergestellt werden, dass bei eventuellem Berühren der Schalter die Lautstärke oder das Programm nicht verändert werden.

3.7 Messergebnisse

Um die Messergebnisse anschaulich zu gestalten, werden hier hauptsächlich Boxplots verwendet. Es wird dadurch möglich, die Verteilung von Daten grafisch darzustellen. Der Vorteil liegt darin, dass nicht nur verschiedene Daten in einem Bild dargestellt werden, es wird gleichzeitig auch die Streuung erkennbar gemacht. Die Boxplots sind auch gut geeignet, um zwei verschiedene Datensätze miteinander zu vergleichen.

Um herauszufinden, ob die Ergebnisse aus der Stichprobe rein zufällig entstanden sind oder ob sie der Grundgesamtheit entsprechen, wird hier der Wilcoxon-Paardifferenzentest zu Hilfe genommen. Hierbei wird zunächst die Differenz der einzelnen x_i und y_i Werte beider Stichproben X und Y (zum Beispiel FBE ohne HS, EWZ ohne HS) berechnet. Mit dem Wilcoxon-Rangsummentest wird nun überprüft, ob der Median der Paardifferenzen ungleich null ist. Die Nullhypothese besagt, dass der Median = 0 ist. Aufgrund der geringen Anzahl von Probanden kann man nicht sicher sagen, ob es bei den Messungen zu einer Normalverteilung kommen wird. Aus diesem Grund wurde der Wilcoxon-Rangsummentest gewählt, der auch geeignet ist, wenn keine Normalverteilung vorliegt.

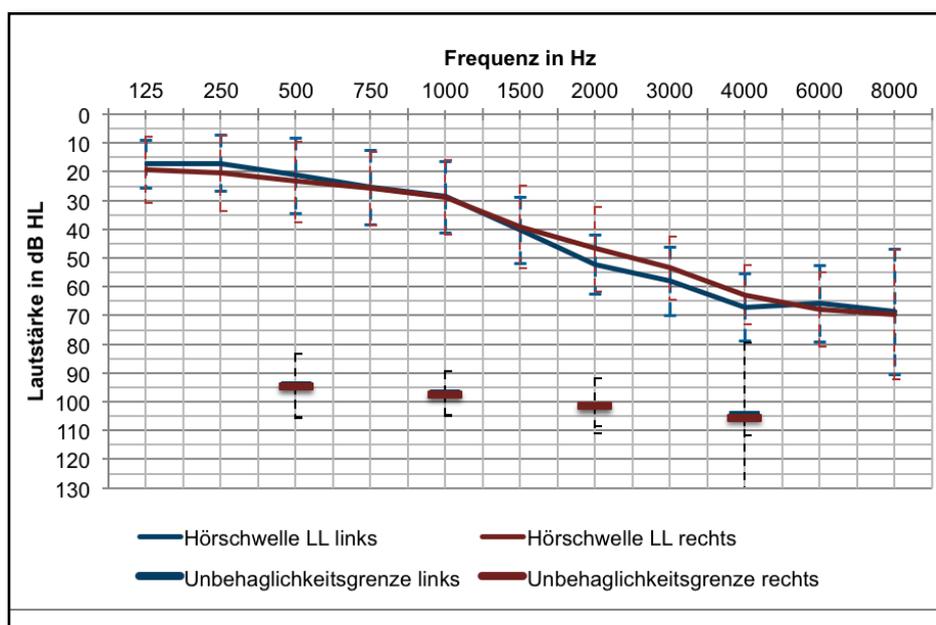


Abb. 10: Hörschwellen und Unbehaglichkeitsschwellen der 19 Probanden; die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung.

Zunächst muss aber auf die an der Studie teilnehmenden Probanden eingegangen werden, um zu überprüfen, ob sie den Anforderungen des Testdesigns (Kapitel 3.1.2) entsprechen.

Insgesamt nehmen 19 Probanden teil. Darunter befinden sich fünf weibliche und vierzehn männliche Probanden. Ein Kriterium ist die binaurale Presbyakusis, ein leichter bis mittelgradiger Hörverlust und die sensorineurale Schwerhörigkeit. Der Hörverlust entspricht in etwa dem Typ N3, der in der DIN EN 6118-15:2012 zu finden ist. Das mittlere Alter der Probanden ist $67,9 \pm 4,6$ Jahre. Der durchschnittliche Hörverlust wie auch die durchschnittliche Unbehaglichkeitsgrenze werden in der folgenden Abbildung dargestellt.

Der Verlauf der Hör- sowie Unbehaglichkeitsschwellen lässt darauf schließen, dass es sich um eine Presbyakusis handelt. Jedoch könnte in einzelnen Fällen eine Lärmschwerhörigkeit vorliegen, da die Unbehaglichkeitsschwelle bei 4 kHz teilweise zu höheren Pegeln verschoben und die Streuung relativ hoch ist. Das Alter sowie die diagnostizierte Hörkurve entsprechen somit dem Anforderungsprofil des Testdesigns.

Wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, soll bei der Abschlussmessung mit Hörsystem eine Verbesserung von mindestens 20 % gegenüber der Messung ohne Hörsystem erreicht werden. Um sicherzustellen, dass diese Vorgabe erfüllt wird, vergleichen wir die passenden Mediane.

Der Median des FBE ohne Hörsystem (Abb. 11) liegt bei 15 %. Bei der Messung mit dem Phonak Audeo S (Abb. 11) liegt der Median bei 55 %. Es ergibt sich eine Differenz von 40 %.

Der Median des EWZ ohne Hörsystem (Abb. 12) liegt bei 30 %. Die Messung mit Hörsystem (Abb. 12) ergibt einen Median von 60 %. Das entspricht einer Differenz von 30 %. Damit wird bei beiden Sprachtests eine Verbesserung von über 20 % erreicht.

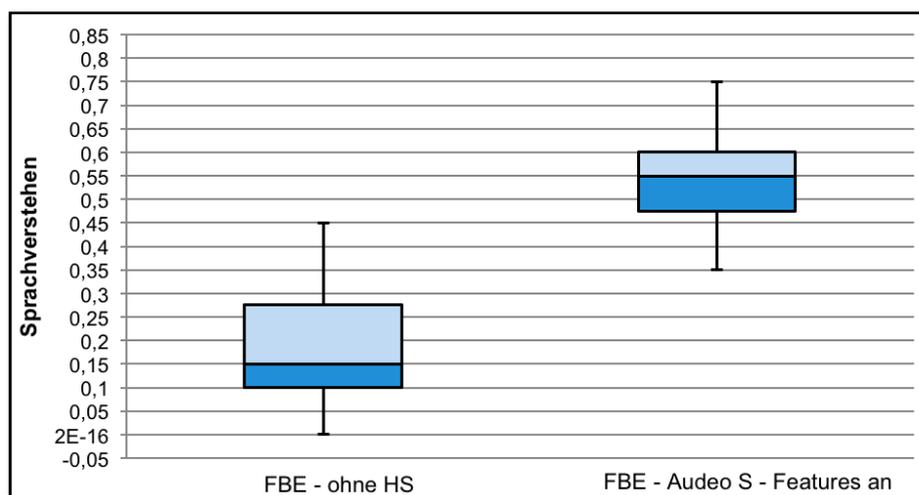


Abb. 11: Boxplot FBE ohne Hörsystem, Boxplot FBE mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features

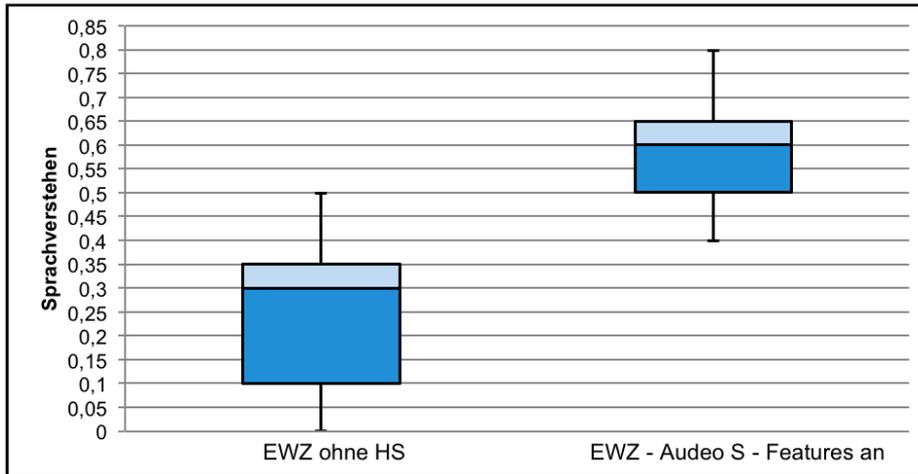


Abb. 12: Boxplot EWZ ohne Hörsystem, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features

Im nächsten Schritt werden die Mediane des FBE und des EWZ miteinander verglichen. Der Median des FBE ohne Hörsystem (Abb. 13) liegt bei 15 %, der Median des EWZ ohne Hörsystem (Abb. 13) liegt bei 30 %. Damit zeigt sich, dass der EWZ bei den Messungen ohne Hörsystem mit einer Differenz von 15 % besser verstanden wird.

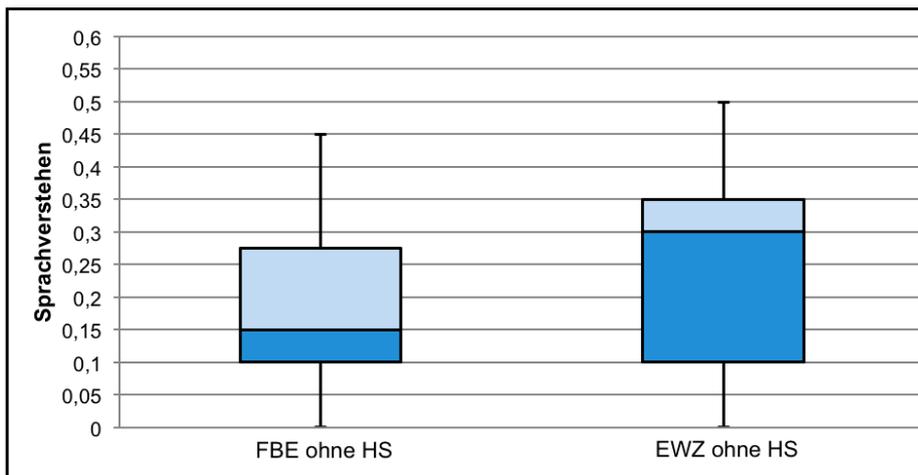


Abb. 13: Boxplot FBE ohne Hörsystem, Boxplot EWZ ohne Hörsystem

Der Median des FBE mit dem Phonak Audeo S und aktivierten Features (Abb. 14) liegt bei 55 %. Die gleiche Messung mit dem EWZ (Abb. 14) ergibt einen Median von 60 %. Das entspricht einer Differenz von 5 % zu Gunsten des EWZ.

Wenn man das 3. Quartil des FBE mit dem des EWZ vergleicht, zeigt sich auch hier, dass das 3. Quartil des EWZ mit 65 % um 5 % höher liegt als das des FBE. Das 1. Quartil des EWZ ergibt einen Wert von 50 %, die Messung mit dem FBE ergibt einen Wert von 47,5 %.

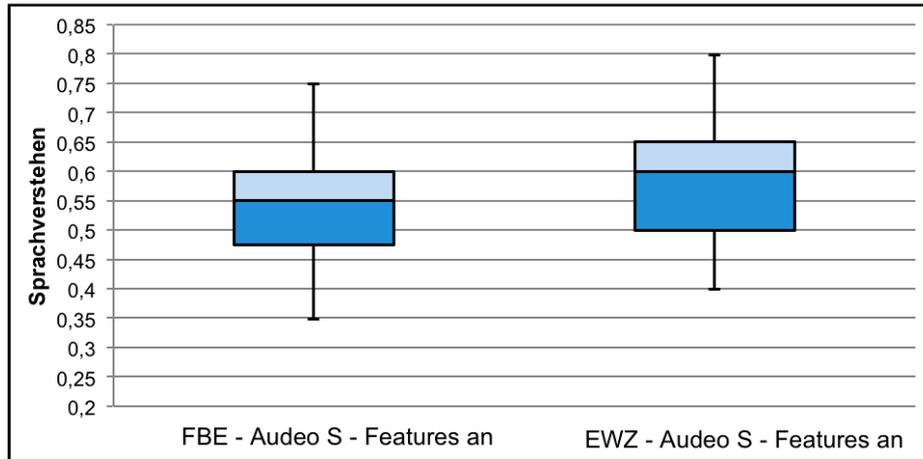


Abb. 14: Boxplot FBE Phonak Audeo S mit aktivierten Features, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features

Bei allen verglichenen Messungen zeigt sich, dass der EWZ bessere Ergebnisse liefert als der FBE. Dabei fällt aber auch auf, dass der Unterschied bei der Messung ohne Hörsystem deutlicher ausfällt als bei der Messung mit Hörsystem.

Um herauszufinden, ob auch die aktivierten Features der Hörsysteme eine Rolle spielen, werden die Messergebnisse des FBE mit aktiven (Abb. 15) und deaktivierten (Abb. 15) Features verglichen.

Bei aktiven Features ergibt der Median 55 %, das 1. Quartil 47,5 % und das 3. Quartil 60 %. Bei deaktivierten Features ergibt der Median 50 %, das 1. Quartil 40 % und das 3. Quartil 55 %. Alle drei markanten Werte zeigen, dass bei aktiven Features die Sprachdiskrimination höher liegt. Ein signifikanter Unterschied wird erreicht.

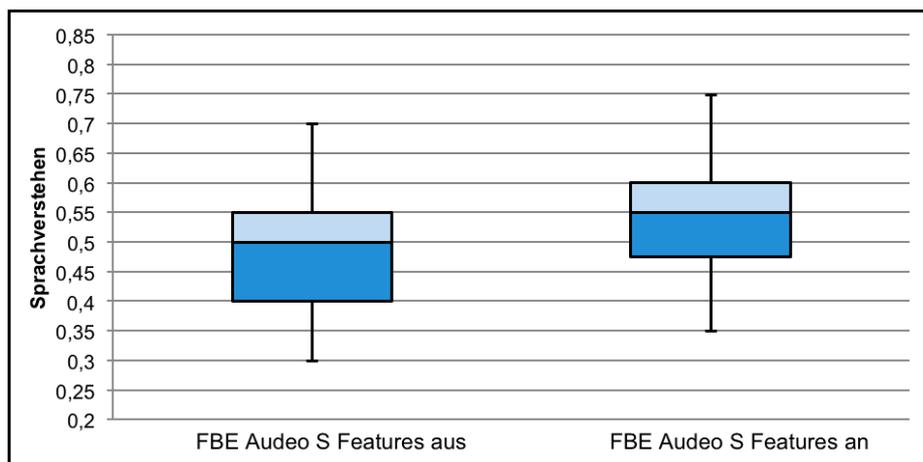


Abb. 15: Boxplot FBE Phonak Audeo S mit deaktivierten Features, Boxplot FBE mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features

Jetzt soll geklärt werden, ob die aktiven Features auch für den EWZ einen Vorteil bringen können.

Bei aktiven Features (Abb. 16) ergibt der Median 60 %, das 1. Quartil 50 %, das 3. Quartil 65 %. Bei deaktivierten Features (Abb. 16) liegt der Median bei 50 %, das 1. Quartil bei 50 % und das 3. Quartil bei 60 %. Auch hier zeigt sich, dass der Median bei aktiven Features

tures mit einer Differenz von 10 % über dem mit deaktivierten Features liegt. Das 3. Quartil bei aktiven Features liegt mit einer Differenz von 5 % höher. Das 1. Quartil liegt bei beiden Messungen gleich. Durch diese Zahlen wird deutlich gemacht, dass die aktiven Features auch bei den Messungen mit dem EWZ einen Vorteil bringen.

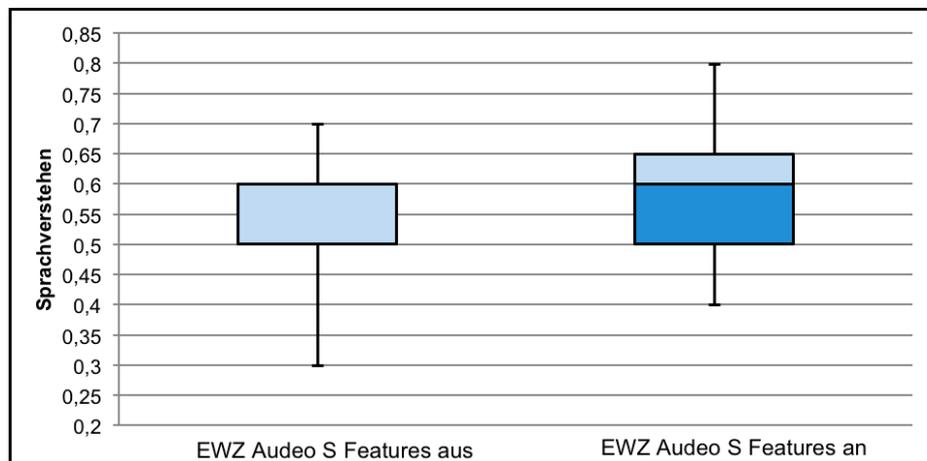


Abb. 16: Boxplot EWZ Phonak Audeo S mit deaktivierten Features, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features

Diskussion der Ergebnisse

In dieser Arbeit wurde das erste Mal der Erweiterte Zahlentest anhand einer praktischen Studie angewendet. Der Test setzt den Fokus auf digitale Hörsysteme und soll vornehmlich für die Erfolgskontrollmessung zum Einsatz kommen. Um erste Aussagen über diesen neu entwickelten Sprachtest geben zu können, wird er mit dem Freiburger Einsilbertest verglichen, der in vielen Fällen für die Erfolgskontrolle genutzt wird.

Zu Beginn des Kapitels 3.7 wird sichergestellt, dass der EWZ die geforderte Steigerung der Sprachdiskrimination von mindestens 20 % bei Messung ohne HS gegenüber mit HS erreicht. Bei beiden Hörsystemen liegt die Differenz der Mediane bei 30 %. Um einen Vergleich zu haben, wurden die Messungen ebenso mit dem FBE durchgeführt.

Der Vergleich der beiden Sprachtests bei Messung ohne Hörsystem zeigt, dass der EWZ besser verstanden wird. Ein signifikanter Unterschied kann nachgewiesen werden. Beim Betrachten der beiden Boxplots fällt auf, dass der EWZ eine höhere Streuung aufweist. Das 1. Quartil sowie der untere Whisker sind bei beiden noch gleich, die drei anderen markanten Punkte (Median, 3. Quartil, oberer Whisker) liegen bei der Messung mit dem EWZ höher. Dadurch zeigt sich, dass der EWZ besser verstanden wird. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, werden Zahlen aufgrund ihrer Redundanz besser verstanden. Da die Zahlwörter des EWZ bei ca. sieben Silben liegen, wird das einer der Gründe für das bessere Abschneiden sein. Bedacht werden muss ebenso, dass die Menge der Antwortmöglichkeiten durch Zahlen stark limitiert und somit die Vorhersehbarkeit einfacher ist. Mit Sicherheit kann man aber sagen, dass der EWZ ohne HS besser verstanden wird und dass das Sprachmaterial der Grund dafür sein muss. Dies zeigen die besseren Ergebnisse ohne HS im Vergleich zum FBE.

Wenn man sich die Messergebnisse aus Kapitel 3.7 (Abb. 14) anschaut – verglichen werden die beiden Tests mit dem Phonak Audeo S und aktiven Features –, zeigt sich auch hier ein besseres Abschneiden mit dem EWZ. Der Unterschied bei den Ergebnissen ist aber nicht mehr so deutlich wie noch bei den Messungen ohne Hörsystem. Eine Signifikanz kann mit einem Wert von $p = 0,078$ nicht mehr nachgewiesen werden. Bei der gleichen Messung mit dem Pure 701 kann eine deutliche Signifikanz mit dem Wert $p = 0,0045$ nachgewiesen werden. Beim Betrachten der Messergebnisse zeigt sich auch hier ein Vorteil durch den EWZ. Das 1. Quartil und das 3. Quartil liegen nur 5 % auseinander, es ergibt sich dadurch eine sehr kleine Streuung. Jedoch fällt auf, dass der untere Whisker bei 30 % und der obere Whisker bei 80 % liegen. Somit liegen die minimalen bzw. maximalen Werte im Vergleich eher weit auseinander, obwohl die gesamte Streuung sehr gering ist. Es sollte dabei aber beachtet werden, dass der untere Whisker nur aufgrund einer Person zustande kommt. Insgesamt haben bei der Messung mit dem EWZ und dem Siemens Pure 701 14 Probanden (entspricht 74 %) mehr verstanden als bei der Messung mit dem FBE. Bei vier Probanden (21 %) ergab sich das gleiche Ergebnis und ein Proband (5 %) erzielte ein besseres Ergebnis mit dem FBE. Bei den Messungen mit dem Audeo S erreichten 13 Probanden (68 %) bessere Ergebnisse mit dem EWZ, drei Probanden (16 %) verstanden bei den Tests gleich gut, und drei Probanden (16 %) erzielten ein besseres Ergebnis mit dem FBE.

Es konnte bis jetzt sichergestellt werden, dass bei der Erfolgskontrolle ohne und mit Hörsystem eine Steigerung von mindestens 20 % erreicht werden kann. Damit ist die Vorgabe durch die DIN ISO 8253-3 erfüllt [17].

Ebenso zeigt sich, dass bei der Messung mit dem EWZ ohne HS wie auch mit HS und aktiven Features eine bessere Sprachdiskrimination erreicht wird als mit dem FBE. Das bessere Abschneiden bei der Messung ohne HS lässt darauf schließen, dass das Sprachmaterial ausschlaggebend ist.

Die Ergebnisse mit dem Phonak Audeo S bzw. dem Siemens Pure 701 zeigen bei den Messungen mit dem FBE eine Verbesserung des Sprachverstehens bei aktiven Features. Der gemessene Median bei beiden Hörsystemen wie auch das 3. Quartil liegen mit einer Differenz von 5 % über den Werten mit deaktivierten Features. Mit dem Phonak Audeo S wird ein p -Wert von 0,00044 erreicht, mit dem Siemens Pure 701 ein p -Wert von 0,0054. Somit kann bei beiden Hörsystemen ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden.

Die entscheidende Frage konnte aber anhand dieser Messungen und Ergebnisse noch nicht geklärt werden. Um herauszufinden, ob die Einschwingzeit bei der Messung mit dem EWZ eine Rolle spielt, werden die Messergebnisse des EWZ mit aktiven und deaktivierten Features verglichen.

Bei der Messung mit dem Phonak Audeo S unter Verwendung des EWZ, wie in Kapitel 3.7 (Abb. 16) beschrieben, können die Mediane bei aktiven bzw. deaktivierten Features ver-

glichen werden. Die Differenz ist zugunsten der aktiven Features um 10 % höher. In diesem Fall würde man darauf schließen, dass nicht nur durch das Sprachmaterial eine Verbesserung ermöglicht wird, sondern auch durch die aktive Spracherkennung und somit durch die Signalverarbeitung im HS. Wenn nur das Sprachmaterial der Grund für die besseren Messergebnisse gewesen wäre, könnte man bei beiden Messungen einen ähnlichen Median erwarten. Ein signifikanter Unterschied kann auch hier nachgewiesen werden. Zusätzlich zeigt sich bei aktiven Features, dass der untere Whisker, das 3. Quartil wie auch der obere Whisker mit einer Differenz von 5 bis 10 % höher liegen. Bis auf das 1. Quartil, das das gleiche Messergebnis aufweist, zeigt sich ein besseres Sprachverstehen mit dem Phonak Audeo S bei aktiven Features.

Bei Betrachtung der Messergebnisse mit dem Siemens Pure 701 fällt auf, dass die Unterschiede geringer ausfallen. Der Median wie auch das 3. Quartil liegen bei aktiven wie auch deaktivierten Features bei 60 %. Im Vergleich zu den Messergebnissen mit dem Phonak Audeo S würde man in diesem Falle darauf schließen, dass das Sprachmaterial der Grund für das bessere Sprachverstehen ist. Das 1. Quartil liegt zwar mit einer Differenz von 5 % höher, und auch der obere Whisker liegt mit einer Differenz von 10 % höher als ohne Sprachverarbeitung, trotz allem ist der Unterschied vergleichsweise gering. Ein signifikanter Unterschied wird dennoch erreicht.

Die erste Frage bei dieser Studie war, dass der Vergleich zwischen dem FBE und dem EWZ ohne HS im besten Fall keinen signifikanten Unterschied ergibt. Mit dem EWZ werden aber bessere Messergebnisse erzielt als mit dem FBE und somit auch ein signifikanter Unterschied erreicht. In dem Buch von Ernst Lehnhardt und Roland Laszig, Praxis der Audiometrie, wird darauf hingewiesen, dass Zahlen besser verstanden werden als einsilbige Wörter. Es wird auch beschrieben, dass im Vergleich zu den einsilbigen Wörtern der Anstieg der Sprachverständlichkeitskurve bei Zahlenwörtern steiler ist. Es wird nur eine geringere Pegelerhöhung benötigt, um ein besseres Messergebnis zu erreichen. Bei einsilbigen Worten wird ein größerer Unterschied der Pegel benötigt, um ein besseres Verstehen zu erreichen. Dadurch lässt sich erklären, warum die Messergebnisse ohne HS mit dem EWZ besser ausfallen und die Vorüberlegung damit nicht eingehalten werden kann.

Die zweite Frage war, dass ein signifikanter Unterschied erreicht werden soll, wenn man die Messergebnisse mit dem FBE bzw. EWZ bei aktiven Features mit dem jeweiligen HS vergleicht. Zusätzlich soll ein höherer Median bei den Messungen mit dem EWZ herauskommen. Es soll damit gezeigt werden, dass ein besseres Sprachverstehen mit dem EWZ erreicht werden kann. Die Ergebnisse sind hier bei den verglichenen Hörsystemen unterschiedlich, mit dem Siemens Pure 701 kann ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Der Median liegt hier bei der Messung mit dem EWZ mit einer Differenz von 5 % höher. Mit dem Phonak Audeo S wird kein signifikanter Unterschied erreicht, dafür liegt auch hier der Median mit einer Differenz von 5 % über dem der Messung mit dem FBE. Es

zeigt sich zwar, dass mit dem EWZ immer noch bessere Ergebnisse erreicht werden, jedoch ist gerade der Unterschied bei dem Phonak Audeo S gering. Es lässt sich bei diesem Vergleich nicht klären, ob allein das Sprachmaterial der Grund für das bessere Verstehen ist oder ob es noch weitere Gründe dafür gibt.

Die dritte Frage war, dass die Messergebnisse mit dem EWZ des jeweiligen HS bei aktiven und deaktivierten Features einen signifikanten Unterschied ergeben soll. Das könnte ein Indiz dafür sein, dass die Signalverarbeitung in dem HS eine Rolle spielt und nicht nur, wie inzwischen bekannt, das Sprachmaterial für ein besseres Messergebnis sorgt. Aber auch hier zeigt sich, dass die Messergebnisse bei beiden Hörsystemen unterschiedlich ausfallen. Mit dem Phonak Audeo S ergibt sich, dass bei aktiven Features besser verstanden wird als ohne; ein signifikanter Unterschied wird erreicht mit $p = 0,0468$. Mit dem Siemens Pure 701 zeigt sich kaum ein Unterschied der Messergebnisse. Der Median ist sogar gleich. Ein signifikanter Unterschied ergibt sich mit $p = 0,0117$.

4. Fazit

Den Freiburger Sprachtest gibt es inzwischen seit 1957. Seitdem wurden einige Studien durchgeführt, die die Stärken und Schwächen offengelegt haben. Bei der hier durchgeführten Studie wird der FBE mit dem vom DHI entwickelten EWZ verglichen. Das Hauptaugenmerk ist dabei die Erfolgskontrolle mit Hörsystemen im Störgeräusch.

Die Messungen ohne HS zeigen, dass der EWZ besser verstanden wird. Unter Berücksichtigung, dass ein Zahlenwort des EWZ aus mindestens fünf Silben besteht und Zahlen an sich schon die Antwortmöglichkeiten einschränken, konnte mit diesem Ergebnis gerechnet werden.

Die Messergebnisse mit HS und aktiven Features zeigen ebenfalls, dass der EWZ besser verstanden wird. Hierfür gibt es zwei mögliche Ursachen. Einerseits könnte sich die durch das DHI aufgestellte Hypothese bewahrheiten, dass durch die erhöhte Silbenanzahl eines Teststimulus das HS die Sprache erkennt und während der eigentlichen Stimulusdarbietung schon bewusst arbeitet, wodurch der Proband ein besseres Sprachverstehen erreichen kann. Andererseits könnte es ebenfalls an der Stimulusart liegen, was sich bei den Messungen ohne Hörsystem gezeigt hat. Zu beachten ist, dass nur mit dem Siemens Pure 701 ein signifikanter Unterschied nachgewiesen wird.

Die letzten Ergebnisse zeigen den Vergleich mit dem EWZ bei aktiven und deaktivierten Features. Hier kann mit beiden Hörsystemen ein signifikanter Unterschied nachgewiesen werden. Jedoch wird wahrscheinlich nicht wie erhofft die Erweiterung durch die Silben der Grund sein. Naheliegender dafür sind andere Gründe. Zum einen waren die Ohren trotz der relativ geringen Hörverluste durch die Domes verschlossen, zum anderen kommen noch die aktivierten Features wie Störgeräuschunterdrückung, Spracherkennung und die Richtcharakteristik der Mikrofone dazu. Das wird im Ganzen dazu führen, dass ein signifikanter Unterschied erreicht werden kann.

Es kann somit festgehalten werden, dass die besseren Ergebnisse mit dem EWZ wohl aufgrund des Sprachmaterials zustande kommen. Das liegt unter anderem an der vergleichsweise großen Anzahl an Silben (5 bis 8 pro Zahlenwort), mit Sicherheit aber auch daran, dass die Menge der Antwortmöglichkeiten stark eingeschränkt und die Vorhersehbarkeit einfacher ist. Angesichts dessen wäre zu überlegen, ob man noch andere Möglichkeiten in Betracht zieht. Zum Beispiel könnte man den FBE durch Logatome erweitern. Dies könnte folgendermaßen aussehen: „ada ada Baum“. Die ersten beiden Silben sind willkürlich aus Sprachlauten zusammengesetzt und würden wie bei der Überlegung mit dem EWZ dazu dienen, dem Hörsystem Zeit zu geben, die Sprache zu erkennen.

5. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei einigen Personen bedanken, die mich während der Zeit meiner Bachelorarbeit vielseitig unterstützt haben.

Als Erstes möchte ich Dipl.-Ing. Reimer Rohweder danken, der es mir ermöglicht hat, über das DHI diese Studie durchzuführen und diese Bachelorarbeit schreiben zu dürfen.

Elisabeth Bäuml vom DHI, die mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Neben ihren motivierenden Worten bedanke ich mich ebenso für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Ein großer Dank geht an Marlitt Frenz vom DHI, die mich über die ganze Zeit der Bachelorarbeit begleitet hat und mir immer tatkräftig zur Seite stand.

Prof. Dr. Jürgen Tchorz, der vom ersten bis zum letzten Tag des Studiums für seine Studenten da ist und weitaus mehr Aufgaben übernimmt, als „nur“ Wissen zu vermitteln. Von daher kann ich mit voller Überzeugung sagen, dass er einer der besten Professoren ist, die man haben kann.

Dagmar Kienaß, die mir ihre Räume für die Messungen in Kiel-Schilksee zur Verfügung gestellt hat, und Philipp Genz, der sich um die Rekrutierung der Probanden in seinem Fachgeschäft gekümmert hat.

Zum Schluss danke ich meiner Mutter Astrid Schulze und ihrem Lebenspartner Peter Kosowski, die es mir überhaupt erst ermöglicht haben, dieses Studium machen zu können. Auch danke ich meiner Tochter, mit der ich während der Bachelorarbeit gerne mehr Zeit verbracht hätte.

6. Anhang

6.1 Geräteliste

Windows XP-Pro-SP3

Office Programm: Amparex

ACAM 5 mit der Seriennummer 5011780

ACAM-Version: 2899

NOAHlink mit der Seriennummer 306924

Beyerdynamic DT 48 Kopfhörer

Knochenleitungshörer B-71

Lautsprecher Tannoy i5AW

Siemens Pure 701 RIC

Phonak Audeo S Smart IX

6.2 Abbildungen

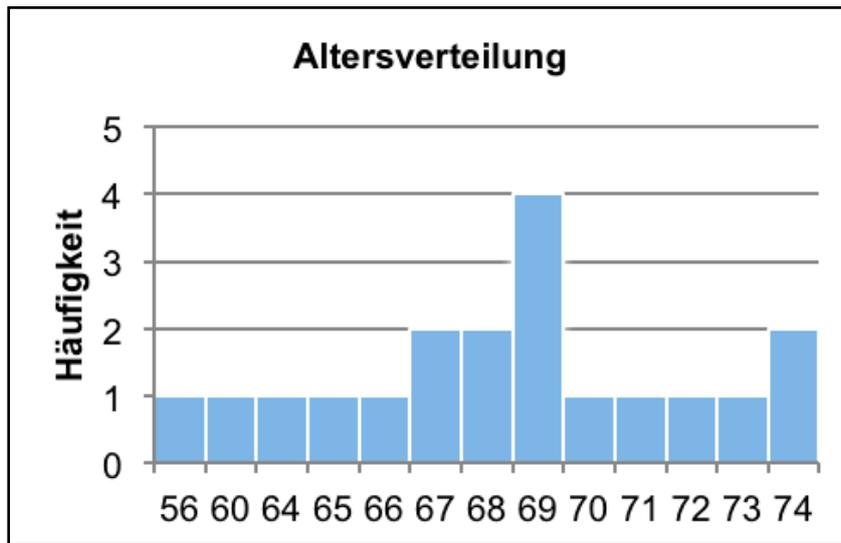


Abb. 17: Altersverteilung der 19 Probanden; Mittelwert, Standardabweichung, Median

| | |
|---------------------------|--------|
| Mittelwert | 67,889 |
| Standardabweichung | 4,651 |
| Median | 68,5 |

| | Alter | Proband | Gruppe 1 | |
|----|--------------------|---------|-------------|-------------|
| | | | FBE ohne HS | EWZ ohne HS |
| 1 | 56 | KL WI | 0,45 | 0,5 |
| 2 | 60 | EW VO | 0,15 | 0,3 |
| 3 | 64 | ER SC | 0,1 | 0,2 |
| 4 | 65 | EL RE | 0,3 | 0,4 |
| 5 | 66 | ED FI | 0,1 | 0,1 |
| 6 | 67 | WI RU | 0,25 | 0,3 |
| 7 | 67 | PE RO | 0,3 | 0,4 |
| 8 | 68 | PA PE | 0,1 | 0,2 |
| 9 | 68 | LO RA | 0,1 | 0,1 |
| 10 | 69 | KL HE | 0,35 | 0,4 |
| 11 | 69 | IR OR | 0 | 0 |
| 12 | 69 | IN KR | 0,3 | 0,3 |
| 13 | 69 | HO KL | 0,25 | 0,4 |
| 14 | 70 | HE LA | 0,25 | 0,3 |
| 15 | 71 | HE BÖ | 0 | 0 |
| 16 | 72 | GÜ SC | 0,1 | 0,1 |
| 17 | 73 | GÜ PR | 0,2 | 0,3 |
| 18 | 74 | GÜ DR | 0 | 0 |
| 19 | 74 | GE KI | 0 | 0 |
| | Mittelwert | | 0,174 | 0,226 |
| | Standardabweichung | | 0,134 | 0,163 |
| | Median | | 0,150 | 0,300 |

Abb. 18: Probandenanzahl; Alter; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE ohne Hörsystem, Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Mittelwert, Standardabweichung, Median

| | | Gruppe 2 | | | |
|--------------------|---------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | Proband | FBE Pure 701 Features aus | FBE Pure 701 Features an | EWZ Pure 701 Features aus | EWZ Pure 701 Features an |
| 1 | KL WI | 0,7 | 0,7 | 0,7 | 0,8 |
| 2 | EW VO | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 3 | ER SC | 0,35 | 0,45 | 0,5 | 0,5 |
| 4 | EL RE | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 5 | ED FI | 0,55 | 0,55 | 0,6 | 0,7 |
| 6 | WI RU | 0,45 | 0,45 | 0,6 | 0,6 |
| 7 | PE RO | 0,5 | 0,45 | 0,6 | 0,6 |
| 8 | PA PE | 0,55 | 0,55 | 0,6 | 0,6 |
| 9 | LO RA | 0,35 | 0,45 | 0,5 | 0,6 |
| 10 | KL HE | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 11 | IR OR | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 12 | IN KR | 0,55 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| 13 | HO KL | 0,55 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 14 | HE LA | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,6 |
| 15 | HE BÖ | 0,35 | 0,4 | 0,4 | 0,5 |
| 16 | GÜ SC | 0,5 | 0,55 | 0,6 | 0,6 |
| 17 | GÜ PR | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| 18 | GÜ DR | 0,3 | 0,35 | 0,3 | 0,4 |
| 19 | GE KI | 0,35 | 0,4 | 0,3 | 0,3 |
| Mittelwert | | 0,482 | 0,518 | 0,542 | 0,584 |
| Standardabweichung | | 0,107 | 0,096 | 0,112 | 0,112 |
| Median | | 0,500 | 0,550 | 0,600 | 0,600 |

Abb. 19: Probandenanzahl; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features aus; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Mittelwert, Standardabweichung, Median

| | | Gruppe 3 | | | |
|--------------------|---------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | Proband | FBE Audeo S Features aus | FBE Audeo S Features an | EWZ Audeo S Features aus | EWZ Audeo S Features an |
| 1 | KL WI | 0,7 | 0,75 | 0,7 | 0,8 |
| 2 | EW VO | 0,55 | 0,6 | 0,5 | 0,6 |
| 3 | ER SC | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| 4 | EL RE | 0,55 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| 5 | ED FI | 0,55 | 0,6 | 0,7 | 0,7 |
| 6 | WI RU | 0,4 | 0,45 | 0,5 | 0,6 |
| 7 | PE RO | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,7 |
| 8 | PA PE | 0,5 | 0,55 | 0,5 | 0,6 |
| 9 | LO RA | 0,45 | 0,5 | 0,6 | 0,6 |
| 10 | KL HE | 0,6 | 0,65 | 0,6 | 0,5 |
| 11 | IR OR | 0,35 | 0,4 | 0,5 | 0,5 |
| 12 | IN KR | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,7 |
| 13 | HO KL | 0,55 | 0,55 | 0,6 | 0,6 |
| 14 | HE LA | 0,45 | 0,55 | 0,5 | 0,5 |
| 15 | HE BÖ | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 16 | GÜ SC | 0,6 | 0,65 | 0,6 | 0,5 |
| 17 | GÜ PR | 0,5 | 0,55 | 0,5 | 0,6 |
| 18 | GÜ DR | 0,3 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| 19 | GE KI | 0,35 | 0,35 | 0,3 | 0,4 |
| Mittelwert | | 0,482 | 0,534 | 0,542 | 0,579 |
| Standardabweichung | | 0,112 | 0,103 | 0,107 | 0,113 |
| Median | | 0,500 | 0,550 | 0,500 | 0,600 |

Abb. 20: Probandenanzahl; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Mittelwert, Standardabweichung, Median

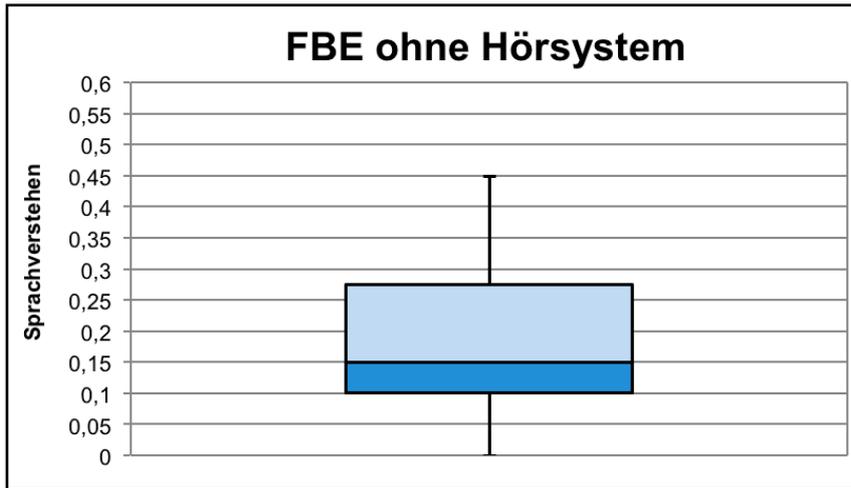


Abb. 21: Boxplot, FBE ohne Hörsystem

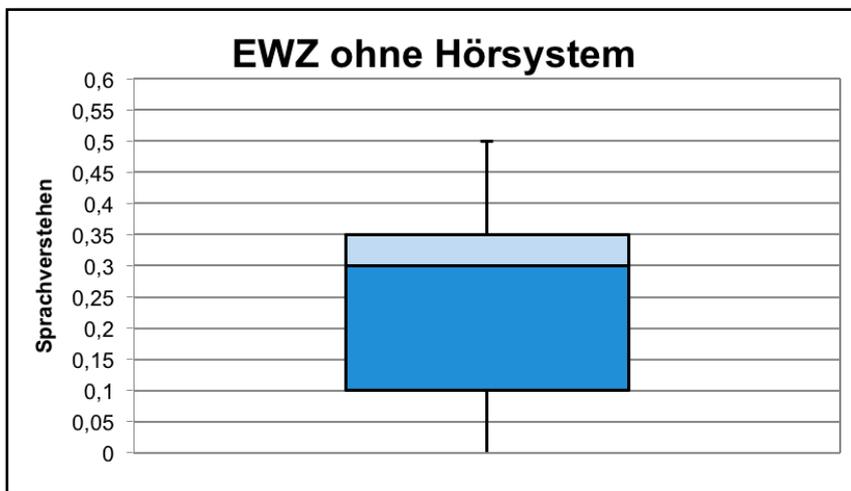


Abb. 22: Boxplot, EWZ ohne Hörsystem

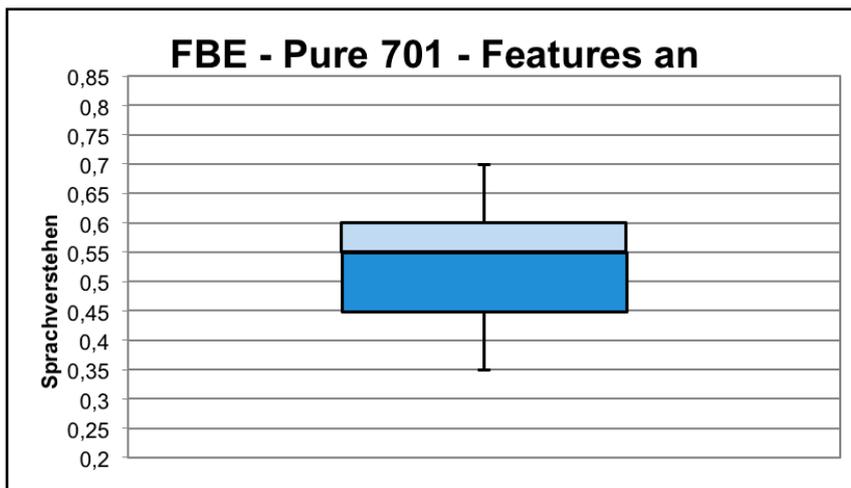


Abb. 23: Boxplot, FBE Pure 701 Features an

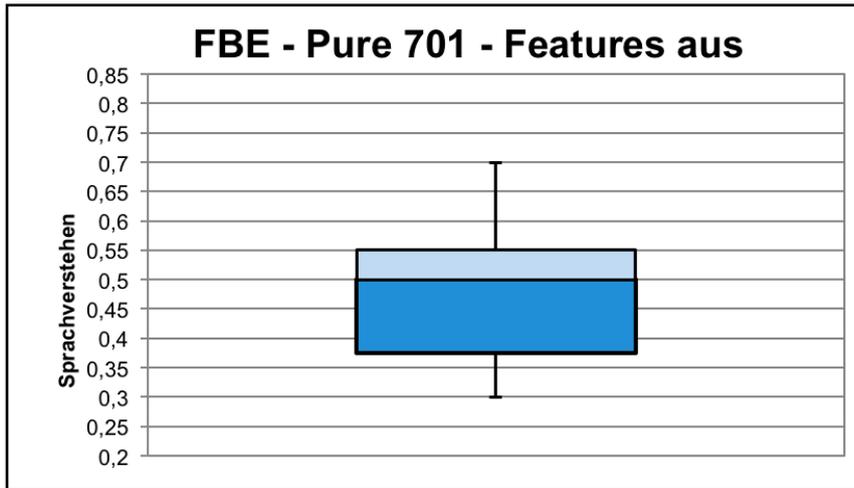


Abb. 24: Boxplot, FBE
Pure 701 Features aus

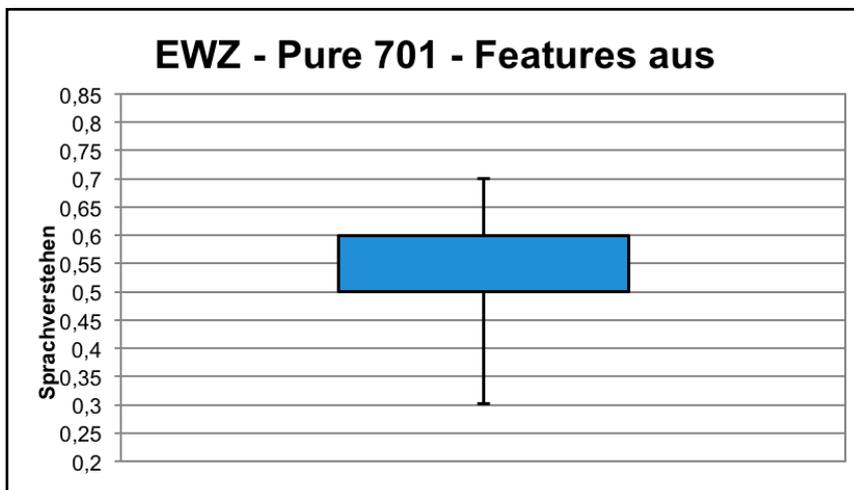


Abb. 25: Boxplot, EWZ
Pure 701 Features aus

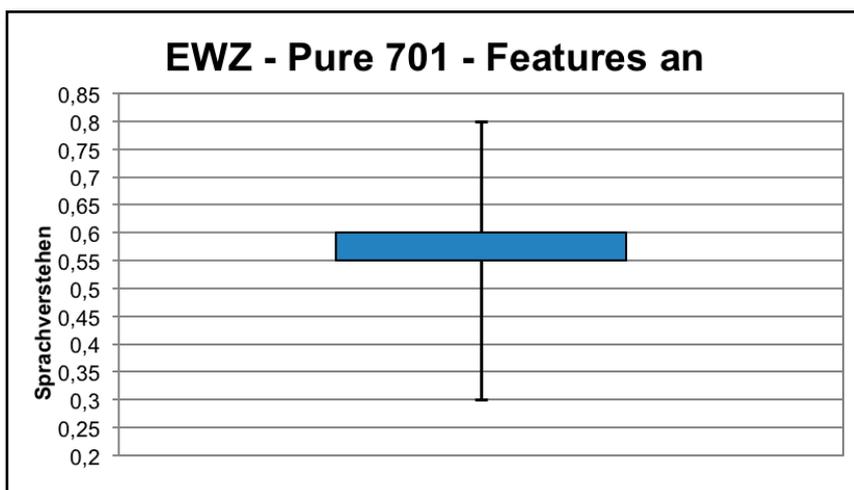


Abb. 26: Boxplot, Pure 701
Features an

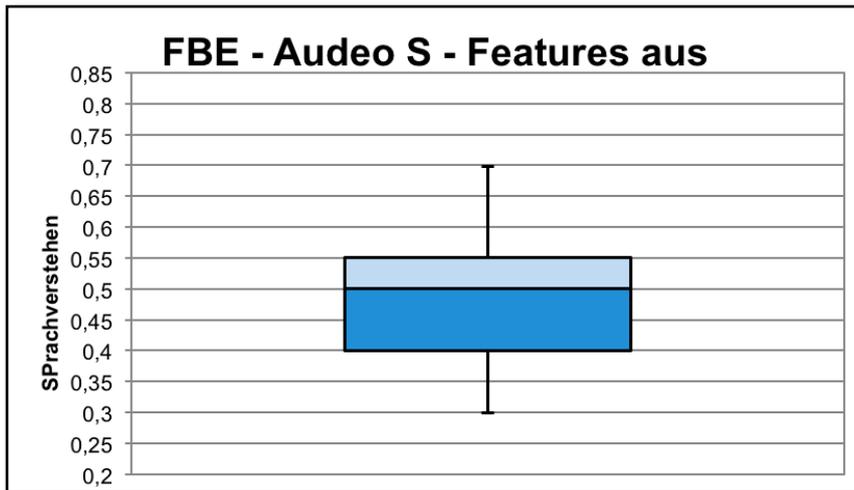


Abb. 27: Boxplot, FBE Audeo S Features aus

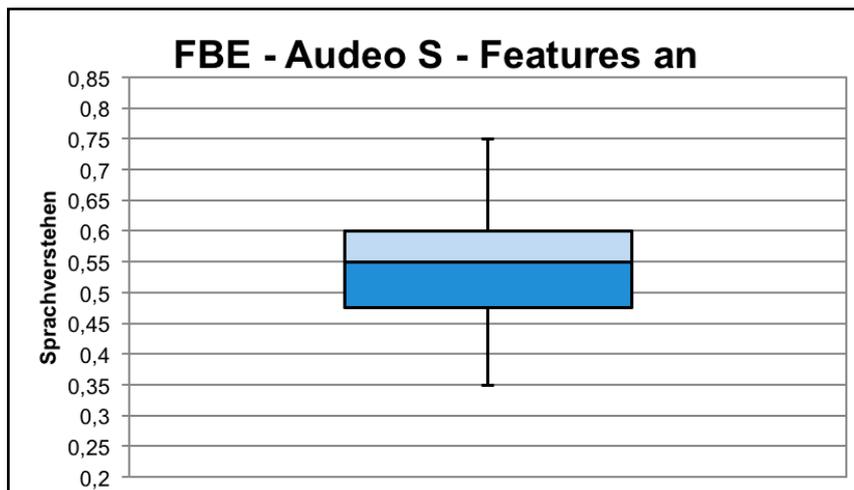


Abb. 28: Boxplot, FBE Audeo S Features an

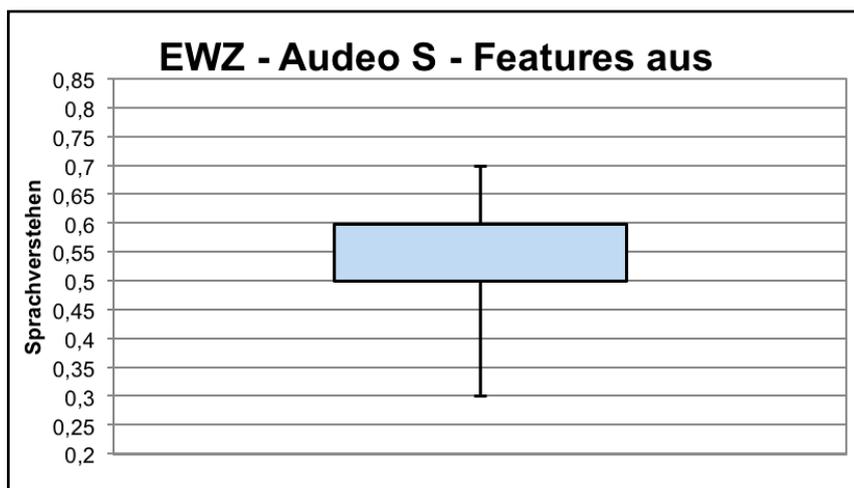


Abb. 29: Boxplot, EWZ Audeo S Features aus

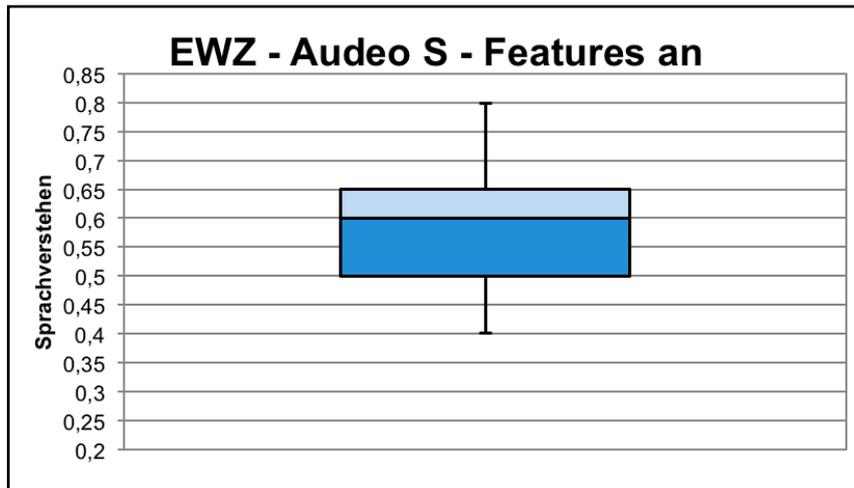


Abb. 30: Boxplot, Audeo S Features an

| EWZ Audeo S Features an | EWZ Audeo S Features aus | Wilcoxon Test | | |
|-------------------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,8 | 0,7 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,6 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,6 | Negativ | 8 | 47 |
| 0,7 | 0,7 | Positiv | 2 | 8 |
| 0,7 | 0,7 | Null | 9 | |
| 0,6 | 0,5 | | | |
| 0,7 | 0,6 | | p-Wert | 0,046853285 |
| 0,6 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,5 | | | |
| 0,7 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,5 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,6 | 0,5 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,4 | 0,3 | | | |

Abb. 31: Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Audeo S Features an | EWZ Audeo S Features an | Wilcoxon Test | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,75 | 0,8 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,6 | Negativ | 13 | 102 |
| 0,6 | 0,7 | Positiv | 3 | 34 |
| 0,6 | 0,7 | Null | 3 | |
| 0,45 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,7 | | p-Wert | 0,078730811 |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,65 | 0,5 | | | |
| 0,4 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,7 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,55 | 0,5 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,65 | 0,5 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |

Abb. 32: Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Audeo S Features aus | EWZ Audeo S Features aus | Wilcoxon Test | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,7 | 0,7 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,55 | 0,5 | | | |
| 0,4 | 0,6 | Negativ | 11 | 93 |
| 0,55 | 0,7 | Positiv | 3 | 12 |
| 0,55 | 0,7 | Null | 5 | |
| 0,4 | 0,5 | | | |
| 0,45 | 0,6 | | p-Wert | 0,011007913 |
| 0,5 | 0,5 | | | |
| 0,45 | 0,6 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,5 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,45 | 0,5 | | | |
| 0,3 | 0,4 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,5 | | | |
| 0,3 | 0,4 | | | |
| 0,35 | 0,3 | | | |

Abb. 33: Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE ohne HS | EWZ ohne HS | Wilcoxon Test | | |
|-------------|-------------|---------------|--------|-------------|
| 0,45 | 0,5 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,15 | 0,3 | | | |
| 0,1 | 0,2 | Negativ | 11 | 66 |
| 0,3 | 0,4 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,1 | Null | 8 | |
| 0,25 | 0,3 | | | |
| 0,3 | 0,4 | | p-Wert | 0,003345618 |
| 0,1 | 0,2 | | | |
| 0,1 | 0,1 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |
| 0 | 0 | | | |
| 0,3 | 0,3 | | | |
| 0,25 | 0,4 | | | |
| 0,25 | 0,3 | | | |
| 0 | 0 | | | |
| 0,1 | 0,1 | | | |
| 0,2 | 0,3 | | | |
| 0 | 0 | | | |
| 0 | 0 | | | |

Abb. 34: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Audeo S Features aus | FBE Audeo S Features an | Wilcoxon Test | | |
|--------------------------|-------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,7 | 0,75 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,5 | Negativ | 16 | 136 |
| 0,55 | 0,6 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,55 | 0,6 | Null | 3 | |
| 0,4 | 0,45 | | | |
| 0,45 | 0,5 | | p-Wert | 0,000437777 |
| 0,5 | 0,55 | | | |
| 0,45 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,65 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,55 | 0,55 | | | |
| 0,45 | 0,55 | | | |
| 0,3 | 0,4 | | | |
| 0,6 | 0,65 | | | |
| 0,5 | 0,55 | | | |
| 0,3 | 0,4 | | | |
| 0,35 | 0,35 | | | |

Abb. 35: Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| EWZ ohne HS | EWZ Audeo S Features an | Wilcoxon Test | | |
|-------------|-------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,5 | 0,8 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0,2 | 0,6 | Negativ | 19 | 190 |
| 0,4 | 0,7 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,7 | Null | 0 | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,7 | | p-Wert | 0,000131834 |
| 0,2 | 0,6 | | | |
| 0,1 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,5 | | | |
| 0 | 0,5 | | | |
| 0,3 | 0,7 | | | |
| 0,4 | 0,6 | | | |
| 0,3 | 0,5 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0,1 | 0,5 | | | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |

Abb. 36: Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE ohne HS | FBE Audeo S Features an | Wilcoxon Test | | |
|-------------|-------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,45 | 0,75 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,15 | 0,6 | | | |
| 0,1 | 0,5 | Negativ | 19 | 190 |
| 0,3 | 0,6 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,6 | Null | 0 | |
| 0,25 | 0,45 | | | |
| 0,3 | 0,5 | | p-Wert | 0,000131834 |
| 0,1 | 0,55 | | | |
| 0,1 | 0,5 | | | |
| 0,35 | 0,65 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0,25 | 0,55 | | | |
| 0,25 | 0,55 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0,1 | 0,65 | | | |
| 0,2 | 0,55 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0 | 0,35 | | | |

Abb. 37: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Pure 701 Features an | EWZ Pure 701 Features an | Wilcoxon Test | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,7 | 0,8 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,6 | 0,7 | | | |
| 0,45 | 0,5 | Negativ | 14 | 110 |
| 0,6 | 0,6 | Positiv | 1 | 10 |
| 0,55 | 0,7 | Null | 4 | |
| 0,45 | 0,6 | | | |
| 0,45 | 0,6 | | p-Wert | 0,004514053 |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,45 | 0,6 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,7 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,5 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |
| 0,4 | 0,3 | | | |

Abb. 38: Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Pure 701 Features aus | FBE Pure 701 Features an | Wilcoxon Test | | |
|---------------------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,7 | 0,7 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,45 | Negativ | 11 | 74,5 |
| 0,5 | 0,6 | Positiv | 1 | 3,5 |
| 0,55 | 0,55 | Null | 7 | |
| 0,45 | 0,45 | | | |
| 0,5 | 0,45 | | p-Wert | 0,005355264 |
| 0,55 | 0,55 | | | |
| 0,35 | 0,45 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,55 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |
| 0,5 | 0,55 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,3 | 0,35 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |

Abb. 39: Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| EWZ ohne HS | EWZ Pure 701 Features an | Wilcoxon Test | | |
|-------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,5 | 0,8 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,3 | 0,7 | | | |
| 0,2 | 0,5 | Negativ | 19 | 190 |
| 0,4 | 0,6 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,7 | Null | 0 | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,6 | | p-Wert | 0,000131834 |
| 0,2 | 0,6 | | | |
| 0,1 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,5 | | | |
| 0,3 | 0,7 | | | |
| 0,4 | 0,6 | | | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,5 | | | |
| 0,1 | 0,6 | | | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0 | 0,3 | | | |

Abb. 40: Messergebnisse EWZ Pure ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE ohne HS | FBE Pure 701 Features an | Wilcoxon Test | | |
|-------------|--------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,45 | 0,7 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,15 | 0,6 | | | |
| 0,1 | 0,45 | Negativ | 19 | 190 |
| 0,3 | 0,6 | Positiv | 0 | 0 |
| 0,1 | 0,55 | Null | 0 | |
| 0,25 | 0,45 | | | |
| 0,3 | 0,45 | | p-Wert | 0,000131834 |
| 0,1 | 0,55 | | | |
| 0,1 | 0,45 | | | |
| 0,35 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0,3 | 0,6 | | | |
| 0,25 | 0,6 | | | |
| 0,25 | 0,55 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |
| 0,1 | 0,55 | | | |
| 0,2 | 0,6 | | | |
| 0 | 0,35 | | | |
| 0 | 0,4 | | | |

Abb. 41: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest

| FBE Pure 701 Features aus | EWZ Pure 701 Features aus | Wilcoxon Test | | |
|---------------------------|---------------------------|---------------|--------|-------------|
| 0,7 | 0,7 | Unterschiede | N | Rangsumme |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,5 | Negativ | 13 | 100 |
| 0,5 | 0,6 | Positiv | 1 | 5 |
| 0,55 | 0,6 | Null | 5 | |
| 0,45 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | p-Wert | 0,002864816 |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,5 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,4 | 0,4 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,55 | 0,6 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,35 | 0,4 | | | |
| 0,5 | 0,6 | | | |
| 0,6 | 0,6 | | | |
| 0,3 | 0,3 | | | |
| 0,35 | 0,3 | | | |

Abb. 42: Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest



Abb. 43: Phonak Power Domes

| | | | |
|---------|--|---|--------------------|
| Doppelt | Für Kunden, die breitbandige Verstärkung und größere Abdichtung benötigen. Der Double Dome kann auch mit dem miniReceiver P kombiniert werden. |  | 8/10 mm 10/12mm |
|---------|--|---|--------------------|

Abb. 44: Siemens Click Domes doppelt

| Siemens Pure 701 RIC | |
|--------------------------------|---|
| SpeechFocus | fokussiert den Sprecher, egal aus welcher Richtung er spricht |
| FeedbackStopper | verhindert Rückkopplungspfeifen |
| SoundLearning 2.0 | merkt sich Veränderungen, die durch den Kunden vorgenommen werden |
| SoundBrilliance | Hörbarkeit hochfrequenter Signale |
| TrueEar | natürliche Klangerichtung |
| Direktional (Adaptiv) | Sprecher von vorne wird bestmöglich verstärkt, Störgeräusche werden adaptiv reduziert |
| Störgeräuschreduktion | Sprachreduzierung |
| Sprachanhebung (Wiener-Filter) | Verbesserung des Sprachverstehens |
| SoundSmoothing | Impulserkennung |
| eWindScreen | Windgeräuschreduzierung |
| Situationserkennung | automatische Situationserkennung |

Tabelle 4: Siemens Pure 701 RIC; Datenblatt

| Phonak Audeo S IX | |
|--------------------------|---|
| Sound Recover | Hörbarkeit hochfrequenter Signale |
| UltraZoom Premium | automatischer Zoom auf Stimmen, die von hinten kommen, und Ausblenden von Störgeräuschen von der Seite und hinten |
| StereoZoom | zoomt noch näher an die Stimme einer Person heran und reduziert Störgeräusche noch mehr |
| auto ZoomControl | gut hören, auch wenn man den Sprecher nicht angucken kann |
| NoiseBlock Premium | Störgeräuschreduzierung |
| DuoPhone | beim Telefonieren die Stimme des Anrufers auf beiden Ohren hören |
| SoundFlow Premium | automatische Situationserkennung |
| Echo Block | Verbesserung in hallender Hörumgebung |
| WindBlock | Windgeräuschreduzierung |
| WhistleBlock | verhindert Rückkopplungspfeifen |
| Real Ear Sound | natürliche Klangerichtung |
| Sound Relex | Impulsunterdrückung |

Tabelle 5: Phonak Audeo S IX; Datenblatt

7. Verzeichnisse

7.1 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------|--|
| EWZ: | Erweiterter Zahlentest |
| FST: | Freiburger Sprachtest |
| FBZ: | Freiburger Zahlentest |
| FBE: | Freiburger Einsilbertest |
| DHI: | Deutsches Hörgeräte Institut |
| HS: | Hörsystem |
| SVS: | Sprachverständlichkeitsschwelle |
| NAL: | National Acoustic Laboratories |
| LL: | Luftleitung |
| KL: | Knochenleitung |
| US: | Unbehaglichkeitsschwelle |
| GÖSA: | Göttinger Satztest |
| OLSA: | Oldenburger Satztest |
| WAKO: | Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier |
| RIC: | Receiver-in-the-Canal |

7.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Abweichung des Mittelwerts von Testergebnissen innerhalb einer Gruppe zum Mittelwert der Testergebnisse aller Gruppen [29] | 9 |
| Abb. 2: Das Bild zeigt die Zahl 100, mit einer Signallänge von 602 ms. Es wurde aus der Zahl 198 herausgeschnitten. | 10 |
| Abb. 3: Aufnahme der Zahl 98 (Freiburger Zahlentest), Dauer = 1,8 Sekunden | 11 |
| Abb. 4: Aufnahme der Zahl 198 (Erweiterter Zahlentest), Dauer = 1,9 Sekunden | 11 |
| Abb. 5: Aufnahme der Zahl 19 (Freiburger Zahlentest), Dauer = 1,4 Sekunden | 12 |
| Abb. 6: Aufnahme der Zahl 119 (Erweiterter Zahlentest), Dauer = 1,6 Sekunden | 12 |
| Abb. 7: Frequenzspektrum der Zahl 98 (Freiburger Zahlentest) | 13 |
| Abb. 8: Frequenzspektrum der Zahl 198 (Erweiterter Zahlentest) | 13 |
| Abb. 9: Messaufbau in der Hörkabine in Kiel-Schilksee | 18 |
| Abb. 10: Hörschwellen und Unbehaglichkeitsschwellen der 19 Probanden; die Fehlerbalken kennzeichnen die Standardabweichung. | 20 |
| Abb. 11: Boxplot FBE ohne Hörsystem, Boxplot FBE mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features | 21 |
| Abb. 12: Boxplot EWZ ohne Hörsystem, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features | 22 |
| Abb. 13: Boxplot FBE ohne Hörsystem, Boxplot EWZ ohne Hörsystem | 22 |
| Abb. 14: Boxplot FBE Phonak Audeo S mit aktivierten Features, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features | 23 |
| Abb. 15: Boxplot FBE Phonak Audeo S mit deaktivierten Features, Boxplot FBE mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features | 23 |
| Abb. 16: Boxplot EWZ Phonak Audeo S mit deaktivierten Features, Boxplot EWZ mit Phonak Audeo S mit aktivierten Features | 24 |
| Abb. 17: Altersverteilung der 19 Probanden; Mittelwert, Standardabweichung, median | 31 |
| Abb. 18: Probandenanzahl; Alter; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE ohne Hörsystem, Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Mittelwert, Standardabweichung, Median | 31 |
| Abb. 19: Probandenanzahl; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features aus; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Mittelwert, Standardabweichung, Median | 32 |

| | |
|---|----|
| Abb. 20: Probandenanzahl; Kennzeichnung der Probanden; Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Mittelwert, Standardabweichung, Median | 32 |
| Abb. 21: Boxplot, FBE ohne Hörsystem | 33 |
| Abb. 22: Boxplot, EWZ ohne Hörsystem | 33 |
| Abb. 23: Boxplot, FBE Pure 701 Features an | 33 |
| Abb. 24: Boxplot, FBE Pure 701 Features aus | 34 |
| Abb. 25: Boxplot, EWZ Pure 701 Features aus | 34 |
| Abb. 26: Boxplot, Pure 701 Features an | 34 |
| Abb. 27: Boxplot, FBE Audeo S Features aus | 35 |
| Abb. 28: Boxplot, FBE Audeo S Features an | 35 |
| Abb. 29: Boxplot, EWZ Audeo S Features aus | 35 |
| Abb. 30: Boxplot, Audeo S Features an | 36 |
| Abb. 31: Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 36 |
| Abb. 32: Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 37 |
| Abb. 33: Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse EWZ Audeo S Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 37 |
| Abb. 34: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 38 |
| Abb. 35: Messergebnisse FBE Audeo S Features aus; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 38 |
| Abb. 36: Messergebnisse EWZ ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 39 |
| Abb. 37: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse FBE Audeo S Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 39 |
| Abb. 38: Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 40 |
| Abb. 39: Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 40 |
| Abb. 40: Messergebnisse EWZ Pure ohne Hörsystem; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 41 |
| Abb. 41: Messergebnisse FBE ohne Hörsystem; Messergebnisse FBE Pure 701 Features an; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 41 |

| | |
|---|----|
| Abb. 42: Messergebnisse FBE Pure 701 Features aus; Messergebnisse EWZ Pure 701 Features aus; Ergebnis Wilcoxon-Rangsummentest | 42 |
| Abb. 43: Phonak Power Domes | 42 |
| Abb. 44: Siemens Click Domes doppelt | 42 |

7.3 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: First Fit der Hörsysteme Siemens Pure RIC 701 mit der Anpasssoftware Connexx, Phonak Audeo S IX mit der Anpasssoftware Target | 19 |
| Tabelle 2: Siemens Pure 701 Einstellung bei Messungen mit aktiven Features und deaktivierten Features | 19 |
| Tabelle 3: Phonak Audeo S IX Einstellung bei Messungen mit aktiven Features und deaktivierten Features | 19 |
| Tabelle 4: Siemens Pure 701 RIC; Datenblatt | 43 |
| Tabelle 5: Phonak Audeo S IX; Datenblatt | 43 |

7.4 Literaturverzeichnis

- [1] Hahlbrock, Karl-Heinz. Sprachaudiometrie. Stuttgart: G. Thieme, 1957.
- [2] Sandlin, Robert E. Hearing Aid Amplification. San Diego, California: Singular Publishing, 2000.
- [3] GKV-Spitzenverband. Festbeträge Hörsysteme. Berlin: s. n., 2013.
- [4] Sprache für Gehörprüfung. DIN 45621-1.
- [5] Kollmeier, Birger. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Bd. 1. Heidelberg: Median-Verlag von Killisch-Horn, 1992.
- [6] Lehnhardt, Ernst; Laszig, Roland. Praxis der Audiometrie. Stuttgart: G. Thieme, 2001. S. 175.
- [7] Dillon, H; Keidser, G; Ching, TYC; Flax, MR; Brewer, S. Das NAL-NL2 Anpassverfahren. [Online]
- [8] Dillon, Harvey; Keidser, Gitte. What's new in prescriptive fittings Down Under? In: Palmer, C. V.; Seewald, R. (Hgg.), Hearing Care for Adults 2006. Stäfa, Schweiz: s. n., 2006.
- [9] Keidser, G; O'Brien, A; Carter, L; McLelland, M; Yeend, I. Variation in preferred gain with experience for hearing aid users.
- [10] Ching TYC, Scollie SD, Dillon H., Seewald R. A cross-over, double-blind comparison of the NAL-NL1 and the DSL v4.1 prescriptions for children with mild to moderately severe hearing loss. 2010.
- [11] Keidser G., O'Brien A., Carter L., McLelland M., Yeend I. Variation in preferred gain with experience for hearing aid users. 2008.
- [12] Epstein, M; Florentine, M. Binaural loudness summation for speech and tones presented via earphones and loudspeakers. 2009.
- [13] Siemens. Die Technikbroschüre BestSound. Audiologische Technik. Erlangen: s. n., 2010.
- [14] Rohweder, Reimer. Lübeck: Deutsches Hörgeräte Institut, 29. Januar 2015.
- [15] Paar, Matthias. Reinheim: Acousticon, 29. Januar 2015.
- [16] Phonak. spice_generation_collection. 2011.
- [17] Prüfverfahren, Audiometrische. DIN EN ISO 8253-3.
- [18] Brand, Thomas; Sukowski, Helga; Wagner, Kirsten; Kollmeier, Birger. 9. DGA Jahrestagung. Oldenburg: s. n., 2006.
- [19] Satztest, Göttinger. Bedienungsanleitung für den manuellen Test auf Audio-CD. Oldenburg: HörTech GmbH, 2011.
- [20] Wesselkamp, Matthias; Kliem, Kathrin; Kollmeier, Birger. Erstellung eines optimierten Satztests in deutscher Sprache. Moderne Verfahren der Sprachaudiometrie. Bd. 1. Heidelberg: Median-Verlag von Killisch-Horn GmbH, 1992, S. 330.

- [21] Kollmeier, B; Lenarz, T; Winkel, A; Zokoll, MA; Sukowski, H. Hörgeräteindikation und -überprüfung nach modernen Verfahren der Sprachaudiometrie im Deutschen. [Online] 20. Juli 2011.
- [22] Kollmeier, Birger. Hördiagnostik für die rehabilitative Audiologie. Oldenburg: s. n.
- [23] Mrowinski, Dieter; Scholz, Günther. Audiometrie. Eine Anleitung für die praktische Hörprüfung. Stuttgart: G. Thieme, 2006.
- [24] Kießling, Jürgen; Kollmeier, Birger; Diller, Gottfried. Versorgung und Rehabilitation mit Hörgeräten. Stuttgart: G. Thieme, 1997.
- [25] Sukowski, H; Brand, T; Wagener, KC; Kollmeier, B. Untersuchung der Vergleichbarkeit des Freiburger Sprachtests mit dem Göttinger Satztest und dem Einsilber-Reimtest nach von Wallenberg und Kollmeier. Heidelberg: Springer, 2008.
- [26] Bedienungsanleitung. WAKO Einsilber-Reimtest. Oldenburg: HörTech GmbH, 2011.
- [27] Rohweder, Reimer. www.dhi-online.de/DhiNeu/Harten/doku/3.htm. [Online]
- [28] Bundesministerium für Gesundheit. Hilfsmittel Richtlinien/HilfsM-RL. 10. April 2012. S. 10.
- [29] Bangert, Hans. Probleme bei der Ermittlung des Diskriminationsverlustes nach dem Freiburger Sprachtest. *Audiologische Akustik* 4/1994, 1980, S. 166-170.
- [30] MatheGuru. <http://matheguru.com/stochastik/167-standardabweichung.html>. Standardabweichung. [Online]
- [31] Kollmeier, Birger. Messmethodik, Modellierung und Verbesserung der Sprachverständlichkeit von Sprache. Universität Göttingen: s. n., 1990.
- [32] HNO-Ärzte im Netz. <http://www.hno-aerzte-im-netz.de/krankheiten/schwerhoerigkeit/altersschwerhoerigkeit-presbyakusis.html>. [Online]
- [33] dhi. www.dhi-online.de. http://www.google.de/imgres?imgurl=http://www.dhi-online.de/DhiNeu/Harten/abb/A1.gif&imgrefurl=http://www.dhi-online.de/DhiNeu/Harten/doku/3.htm&h=250&w=319&tbnid=W-lq0c1gXFqhAM:&zoom=1&tbnh=96&tbnw=123&usg=__AEgJkVSWyeuPWeTY1UUFInnAcNc=&docid=M_0S1q4QKBG. [Online] [Zitat vom 15. Okt. 2014.]